تقرير

UN WATER

تقرير الأمم المتحدة العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017

المياه العادمة
مورد غير مستغَل

UNECE, UNECLAC, UNESCAP, UNESCWA

UNITED NATIONS

Empowered lives. Resilient nations.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة

برنامج الأمم المتحدة العالمي لتقييم الموارد المائية

UNEP

UN HABITAT FOR A BETTER URBAN FUTURE

UNIDO

تقرير الأمم المتحدة العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017

المياه العادمة
مورد غير مستغَل

صدر في عام 2018 عن منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو)
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP France

© اليونسكو 2018

تنشر اليونسكو هذا التقرير بالنيابة عن لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية. ويمكن الاطلاع على قائمة الأعضاء والشركاء في لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية في الموقع التالي: www.unwater.org

الفصول *الثاني والرابع والسابع* : قام بتأليف هذه الفصول أحد موظفي منظمة الصحة العالمية. ويتحمل المؤلف وحده المسؤولية عن الآراء الواردة في هذا المنشور، ولا تُمثل هذه الآراء بالضرورة وجهات نظر منظمة الصحة العالمية أو قراراتها أو سياساتها. ولا يجوز تفسير أي شيء يرد في هذه الوثيقة بأنه تنازل عن أيٍّ من الامتيازات والحصانات التي تتمتع بها منظمة الصحة العالمية تجاه أي ولاية قضائية للمحاكم الوطنية.

الفصل السابع: الآراء الواردة في هذا الفصل هي آراء المؤلف (المؤلفين) ولا تعبّر بالضرورة عن وجهات نظر أو سياسات منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة.

الفصل الثاني عشر: تأليف أنوكا ليبونين؛ *الفصل الثالث:* ساهمت فيه ناتاليا نيكيفوروفا © الأمم المتحدة.

الفصول الثاني عشر، والخامس عشر، والسادس عشر، والسابع عشر: الآراء الواردة والحجج المستخدمة في هذه الفصول هي آراء وحجج المؤلف (المؤلفين) فقط ولا تعبّر بالضرورة عن وجهات النظر الرسمية لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي أو البلدان الأعضاء فيها.

ISBN: 978-92-3-600072-5

الإشارة المقترحة إلى الاقتباس:

(البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية لعام 2017). *تقرير الأمم المتحدة العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017. المياه العادمة: مورد غير مستغل.* باريس، اليونسكو.

هذا المنشور متاح مجاناً بموجب ترخيص نسبة المصنف إلى مؤلفه - الترخيص بالمثل 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (الرابط: http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/).
ويوافق المستفيدون، عند استخدام محتوى هذا المنشور، على الالتزام بشروط الاستخدام الواردة في مستودع الانتفاع الحر لليونسكو (http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en).

ويقتصر هذا الترخيص على محتوى النص المنشور. ويجب على الراغبين في استخدام أي مواد لا يوجد ما يدل بوضوح على أنها مواد تملكها اليونسكو طلب إذن بذلك قبل استخدامها عن طريق مراسلتنا بالبريد الإلكتروني على العنوان publication.copyright@unesco.org؛ أو بالبريد العادي على العنوان: UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP France.

ولا تعبّر التسميات المستخدمة في هذا المنشور وطريقة عرض المواد فيه عن أي رأي لليونسكو بشأن الوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة، ولا بشأن سلطات هذه الأماكن أو بشأن رسم حدودها أو تخومها.

ولا تعبّر الأفكار والآراء الواردة في هذا المنشور إلا عن رأي كاتبها، ولا تمثل بالضرورة وجهات نظر اليونسكو ولا تلزم المنظمة بأي شيء. وقد وردت محتويات هذا المنشور من أعضاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية وشركائهم المذكورة أسماؤهم في صفحات عناوين الفصول في المنشور.
ولا تتحمل اليونسكو ولا البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية أية مسؤولية عن الأخطاء في المحتوى المقدم أو عن التناقضات في البيانات والمحتوى بين الفصول.

وأتاح برنامج الأمم المتحدة العالمي لتقييم الموارد المائية إدراج أسماء الأفراد في هذا المنشور بوصفهم مؤلفين ومساهمين، أو التعبير عن الشكر لهم في هذا المنشور. ولا يتحمل البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية أية مسؤولية عن أي خطأ أو نقص في هذا الصدد.

العنوان الأصلي: The United Nations World Water Development Report 2017 – WASTEWATER THE UNTAPPED RESOURCE
صدر في عام 2017 عن منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة

تصميم الغلاف: Phoenix Design Aid

الطباعة: مطابع اليونسكو

طُبِع هذا التقرير باستخدام أحبار نباتية على ورق مختلط المصادر يُشرف عليه مجلس رعاية الغابات، ويدعم الاستخدام المسؤول لاحتياطيات الغابات، وهو ورق معاد تدويره بشكل كامل، وخالٍ من الأحماض والكلور.

طُبِع في فرنسا

قائمة المحتويات

مقدمة v
بقلم إيرينا بوكوفا،
المديرة العامة لليونسكو

مقدمة vii
بقلم غاي رايدر،
رئيس لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية والمدير العام لمنظمة العمل الدولية

تمهيد viii
بقلم ستيفان يولينبروك،
منسق البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، وريتشارد كونور، رئيس التحرير

شكر وتقدير xi

الملخص التنفيذي 1

حالة موارد المياه: التوافر والنوعية 8

الجزء الأول: خط الأساس والسياق

الفصل الأول: مقدمة 16

1-1 تدفقات المياه العادمة 19
2-1 المياه العادمة كمورد: اغتنام الفرص 21

الفصل الثاني: المياه العادمة وخطة التنمية المستدامة 23

2-1 خطة التنمية المستدامة لعام 2030 24
2-2 أوجه التآزر والتنازع المحتملة 26

الفصل الثالث: الحوكمة 29

3-1 الجهات الفاعلة وأدوارها 30
3-2 السياسات والقوانين واللوائح 31
3-3 التمويل 35
3-4 الجوانب الاجتماعية والثقافية 37

الفصل الرابع: الجوانب التقنية للمياه العادمة 38

4-1 مصادر ومكونات المياه العادمة 39
4-2 آثار تصريف المياه العادمة بدون معالجة أو بدون معالجة وافية 41
4-3 جمع ومعالجة المياه العادمة 43
4-4 احتياجات البيانات والمعلومات 46

الجزء الثاني: التركيز المواضيعي

الفصل الخامس: المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية 50

5-1 التحضر وتأثيره على إنتاج المياه العادمة 51
5-2 الأشكال الحضرية 52

5-3 مصادر المياه العادمة في النظم البلدية والحضرية 53
5-4 تكوين المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية 54
5-5 الشكل الحضري وإمكانية استخدام المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية 56
5-6 إدارة الصرف السطحي في المناطق الحضرية 59

الفصل السادس: الصناعة 60

6-1 حجم توليد المياه العادمة المنصرفة من الصناعات 61
6-2 طبيعة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات 63
6-3 مواجهة تحدي الموارد 64
6-4 المياه العادمة والتنمية الصناعية المستدامة 70

الفصل السابع: الزراعة 71

7-1 الزراعة كمصدر لتلوث المياه 72
7-2 الزراعة كمستخدم للمياه العادمة 76

الفصل الثامن: النظم الإيكولوجية 80

8-1 دور النظم الإيكولوجية وحدودها في إدارة المياه العادمة 81
8-2 الاستخدام المخطط للمياه العادمة لخدمات النظام الإيكولوجي 82
8-3 الجوانب التشغيلية والسياسية 84

الجزء الثالث الجوانب الإقليمية

الفصل التاسع: أفريقيا 86

9-1 المياه والمياه العادمة في أفريقيا جنوب الصحراء 87
9-2 تحديات حرجة 87
9-3 سبيل المضيّ قدماً 90

الفصل العاشر: المنطقة العربية 92

10-1 السياق 93
10-2 التحديات 93
10-3 الاستجابات 95

الفصل الحادي عشر: آسيا والمحيط الهادئ 97

11-1 السياق والتحديات 98
11-2 بناء البنية التحتية المرنة 98
11-3 نهج نظم استرداد المنتجات الثانوية للمياه العادمة 100
11-4 الاحتياجات التنظيمية والقدرات 100

الفصل الثاني عشر: أوروبا وأمريكا الشمالية 101

12-1 السياق 102
12-2 التحديات 102
12-3 التدابير المتخذة 104

الفصل الثالث عشر: أمريكا اللاتينية والكاريبي 107

13-1 تحدي المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية 108
13-2 التوسع الأخير في معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية 109
13-3 الشواغل المستمرة والفرص المتزايدة 109
13-4 فوائد معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية 110
13-5 مصادر أخرى للمياه العادمة 110
13-6 الدروس المستخلصة 110

الجزء الرابع خيارات تدابير التصدي

الفصل الرابع عشر: منع وتقليل توليد المياه العادمة وكميات التلوث عند المصدر 112

14-1 آليات مراقبة التلوث ورصده 113
14-2 التدابير التكنولوجية 115
14-3 المنهجيات المالية والتغيير السلوكي 118

الفصل الخامس عشر: تعزيز جمع المياه العادمة ومعالجتها 119

15-1 مجاري الصرف الصحي والصرف الصحي المنقول بواسطة المياه 120
15-2 مجاري الصرف الصحي منخفضة التكلفة 120
15-3 مجاري الصرف الصحي المشتركة 121
15-4 نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة 121
15-5 الإدارة اللامركزية لمياه الأمطار 121
15-6 تطور تكنولوجيات المعالجة 122
15-7 استخراج المعادن من مجاري الصرف الصحي وفصل المكونات 123

الفصل السادس عشر: إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد 124

16-1 إعادة الاستخدام المفيد للمياه 125
16-2 استرداد الموارد من المياه العادمة والمركبات الصلبة الحيوية 130
16-3 نماذج الأعمال والمنهجيات الاقتصادية 132
16-4 التقليل من المخاطر على صحة الإنسان والبيئة 134
16-5 لوائح لإعادة استخدام المياه 135
16-6 التقبل الاجتماعي لاستخدام المياه العادمة 136

الفصل السابع عشر: المعرفة والابتكار والبحث وتنمية القدرات 137

17-1 اتجاهات البحوث والابتكار 138
17-2 ثغرات المعارف والبحوث والتكنولوجيا وبناء القدرات 138
17-3 الاتجاهات المستقبلية في إدارة المياه العادمة 140
17-4 بناء القدرات والتوعية العامة والتعاون بين أصحاب المصلحة 142

الفصل الثامن عشر: إنشاء بيئة مواتية 143

18-1 الخيارات التكنولوجية 145
18-2 الأطر القانونية والمؤسسية 146
18-3 فرص التمويل 147
18-4 تعزيز المعارف وبناء القدرات 148
18-5 التخفيف من المخاطر الصحية على الإنسان والبيئة 149
18-6 تعزيز التقبل الاجتماعي 149
18-7 الخاتمة 149

المراجع 150

الملحق 1 - مسرد المصطلحات 172

المختصرات والتسميات المختصرة 175

الأطر والأشكال والجداول 177

مراجع الصور 180

مقدمة

بقلم إيرينا بوكوفا
المديرة العامة لليونسكو

في عالم يتزايد فيه الطلب على المياه العذبة تزايداً متواصلاً، ويشتد فيه الضغط على الموارد المائية المحدودة بسبب الاستخراج المفرط والتلوث وتغيّر المناخ، يبدو إغفال الفرص التي يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة أمراً لا يمكن فعلاً تصوّره.

وهذا هو مضمون *التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017*، الذي يُبرز الأهمية البالغة لتحسين إدارة المياه العادمة من أجل مستقبلنا المشترك.

ويعني استمرار «العمل كالمعتاد» السماح بتفاقم الإهمال الجسيم. فالتقديرات تشير إلى أن أكثر من 80% من المياه العادمة في جميع أنحاء العالم (أكثر من 95% في بعض البلدان النامية) تُصرف إلى البيئة دون معالجة، وعواقب ذلك مقلقة، فتلوث المياه يزداد في معظم الأنهار في أنحاء أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. وفي عام 2012، وقعت أكثر من 800000 حالة وفاة حول العالم بسبب مياه الشرب الملوثة وعدم كفاية مرافق غسل اليدين وخدمات الصرف الصحي غير الملائمة. وفي البحار والمحيطات، تزداد بشكل سريع رقعة المناطق الميتة المنزوعة الأكسجين الناجمة عن تصريف المياه العادمة دون معالجة، مما يؤثر على ما يقدر بنحو 245000 كيلومتر مربع من النظم الإيكولوجية البحرية، ويضر هذا الأمر بمصائد الأسماك وسبل العيش وسلاسل الغذاء.

وفي حال عدم تجاهل المياه العادمة، فإنه يُنظر إليها عادة على أنها مجرد عبء يجب التخلص منه. ومع تزايد ندرة المياه في العديد من المناطق، يتغير الأمر ونرى اعترافاً متزايداً بأهمية جمع المياه العادمة ومعالجتها وإعادة استخدامها. وتشكل البنية التحتية قضية مركزية في جميع البلدان. ولا يزال توافر البيانات يشكل تحدياً مستمراً في هذا الصدد، ولا سيما في البلدان النامية. وتُظهر دراسة حديثة أنه من بين 181 بلداً، لم يكن هناك سوى 55 بلداً لديها معلومات عن إنتاج ومعالجة واستخدام المياه العادمة، أما بقية البلدان فلم تكن لديها بيانات أو كانت لديها بيانات جزئية. وفي معظم البلدان التي توافرت فيها البيانات، كانت تلك البيانات قديمة وعفا عليها الزمن. ومن شأن ندرة المعلومات هذه أن تعيق عملية البحث والتطوير اللازمة لاختراع تكنولوجيات مبتكَرة وتكييف التكنولوجيات الموجودة مع الخصوصيات والاحتياجات المحلية.

ويُظهر *التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017* أن تحسين إدارة المياه العادمة يتطلب الحد من التلوث في المصدر، وإزالة الملوثات من تدفقات المياه العادمة وإعادة استخدام المياه المنقّاة، واسترداد المنتجات الثانوية النافعة. وتؤدي هذه الإجراءات الأربعة معاً إلى منافع اجتماعية وبيئية واقتصادية للمجتمع كله، وتسهم في الرفاه العام والصحة والأمن المائي والغذائي، وكذلك في التنمية المستدامة. وتسلط خطة التنمية المستدامة لعام 2030 الضوء على الأهمية الشاملة للمياه العادمة من خلال الهدف 6 للتنمية المستدامة بشأن

المياه والصرف الصحي، ولا سيما الغاية 6-3 المتعلقة بتخفيض نسبة المياه العادمة غير المعالجة إلى النصف وتوسيع عملية إعادة التدوير وإعادة الاستخدام الآمن على الصعيد العالمي.

وتعتبر زيادة التقبل الاجتماعي لاستخدام المياه العادمة أمراً ضرورياً للمضي قدماً، وهنا تكمن أهمية التعليم والتدريب والأشكال الجديدة من التوعية في تغيير التصورات حول المخاطر الصحية ومعالجة المخاوف الاجتماعية والثقافية لتعزيز تقبل الجمهور.

وهذا أيضاً عمل جيد، فباعتبار استخدام المياه العادمة واسترداد المنتجات الثانوية عنصراً أساسياً في الاقتصاد الدائري، يمكن لذلك أن يتيح فرصاً تجارية جديدة ويساعد على استرداد تكاليف المنشآت الجديدة والمبتكرة والمكيفة، مما يسمح لنا باسترداد الطاقة والعناصر المغذية والمعادن وغيرها من المنتجات الثانوية.

وتعمل اليونسكو من جانبها، من خلال «أسرة اليونسكو المعنية بالمياه»، على دعم الدول الأعضاء في مواجهة التحديات المتعلقة بنوعية المياه، وتضم تلك الأسرة برنامج اليونسكو العالمي لتقييم الموارد المائية، والبرنامج الهيدرولوجي الدولي، ومعهد اليونسكو للتعليم في مجال المياه الموجود في ديلفت بهولندا، والعديد من مراكز الفئة 2 والكراسي الجامعية في جميع أنحاء العالم. ويشمل عملنا جميع المجالات، كتعزيز البحث العلمي، وجمع المعارف ونشرها، وتسهيل تبادل النهوج التكنولوجية والسياسية لبناء القدرات وزيادة الوعي بالمخاطر الناجمة عن الملوثات الناشئة في المياه والمياه العادمة.

وكما هو الحال دائماً، فإن تقرير عام 2017 هو نتيجة للشراكة داخل منظومة الأمم المتحدة بين 31 عضواً في لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، التي أشعر بالامتنان العميق تجاهها. وأود أن أشكر حكومة إيطاليا على دعمها لأمانة البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، من أجل ضمان استدامتها وإنتاجيتها على المدى الطويل. وبهذه الروح أدعو الجميع إلى تولي المسؤولية عن هذا التقرير واستنتاجاته للمناداة بنهوج جديدة وعادلة ومستدامة بشأن المياه بوصفها عاملاً من عوامل بناء مستقبل أفضل للجميع.

إيرينا بوكوفا

مقدمة

بقلم غاي رايدر،
رئيس لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية والمدير العام لمنظمة العمل الدولية

في القرن الخامس قبل الميلاد، نُقل عن هرقليطس قوله: إن «التغيير هو الشيء الوحيد الثابت في الحياة»، ويُعد هذا صحيحاً اليوم أكثر من أي وقت مضى، فمع نمو السكان والمستوطنات الحضرية، تزداد مطالبنا، وتتغير مجتمعاتنا وكوكبنا أمام أعيننا.

ويستكشف تقرير الأمم المتحدة العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017 مسألة المياه العادمة وإمكانياتها كمورد مستدام. ومع ذلك، تُظهر النتائج حجم العمل الهائل الذي يجب أن نقوم به: «إن معظم كميات المياه العادمة في أنحاء العالم لا يتم جمعها ولا معالجتها. وعلاوة على ذلك، فإن عملية جمع المياه العادمة في حد ذاتها لا تقترن بعملية المعالجة. ففي كثير من الحالات، يتم صرف المياه العادمة المجمعة مباشرة إلى البيئة دون أي معالجة. ولا يكاد يتم جمع مياه الصرف الزراعي أو حتى معالجتها، ولا توجد مقاييس عملية لهذه الأنواع من مياه الصرف.»

وبطبيعة الحال، فإن تصريف معظم المياه العادمة إلى البيئة دون معالجة له آثار كبيرة على صحة الإنسان والبيئة، فضلاً عن كون ذلك فرصة مهدرة.

ويبيّن التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017، وهو المنشور الرئيسي للجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، للقراء أن المياه العادمة ظلت مصدراً مهملاً لفترة طويلة – فإعادة استخدام هذه المياه ليست مجرد حل لندرة المياه المتزايدة، بل توفر أيضاً مصدراً غنياً للعناصر المغذية والمعادن والطاقة التي يمكن أن يكون استخراجها فعالاً من حيث التكلفة. واستناداً إلى الموجز التحليلي للجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية حول إدارة المياه العادمة لعام 2015، يتناول التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية أيضاً الاقتصاد الدائري، والابتكار، والعديد من الجوانب الإقليمية.

ويبيّن التقرير بوضوح توافق الآراء بين 31 عضواً و38 شريكاً في لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية على أن القضايا المتعلقة بالمياه العادمة تتجاوز الهدف 6 للتنمية المستدامة وغايته المتعلقة بالمياه العادمة، وترتبط بالكثير من غايات أهداف التنمية المستدامة الأخرى.

وأود أن أشكر جميع زملائي في لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية على مساهماتهم، بما في ذلك اليونسكو وبرنامجها العالمي لتقييم الموارد المائية، على التنسيق من أجل إعداد وإصدار هذا التقرير الرفيع المستوى الذي يمكن أن تكون له نتائج بعيدة المدى بخصوص التقدم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

Guy Ryder

غاي رايدر

تمهيد

بقلم **ستيفان يولينبروك**، منسق البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية،
وريتشارد كونور، رئيس التحرير

يتناول تقرير الأمم المتحدة العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017، وهو التقرير الرابع في سلسلة التقارير السنوية التي تتناول موضوعات محددة، مسألة كثيراً ما يتم التغاضي عنها رغم أنها مسألة بالغة الأهمية بالنسبة لإدارة الموارد المائية وتوفير الخدمات الأساسية المتصلة بالمياه، وهي المياه العادمة.

فالمياه العادمة ليست مجرد مسألة تتعلق بإدارة المياه – فهي تؤثر على البيئة وجميع الكائنات الحية، ويمكن أن تكون لها آثار مباشرة على الاقتصادات، سواء كانت متقدمة أو ناشئة. وعلاوة على ذلك، تحتوي تدفقات المياه العادمة على عدد من المواد المفيدة، مثل العناصر المغذية والمعادن والمواد العضوية التي يمكن استخراجها واستخدامها في أغراض إنتاجية أخرى، شأنها في ذلك شأن المياه نفسها. وعلى هذا النحو، تشكل المياه العادمة مورداً قيماً، وإذا ما تمت إدارتها على نحو مستدام ستصبح ركيزة أساسية من ركائز الاقتصاد الدائري. ويُعدّ الجانب الإيجابي لتحسين الطريقة التي ندير بها المياه العادمة كبيراً، ويمكن أن يعود بمنافع مشتركة على المجتمعات والبيئة.

وينطوي مفهوم المياه العادمة في حد ذاته على تناقض. فلا ينبغي أن يؤدي استخدام المياه لأي غرض من الأغراض، إلى اعتبارها «عادمة». ففي لغات أخرى تسمى المياه العادمة «المياه المستعملة» (في اللغة الفرنسية مثلاً)، أو «المياه المتبقية» (في اللغة الإسبانية) أو «مياه ما بعد الاستخدام» (في اللغة الألمانية). والواقع أن إبعاد القضية عن فكرة أن المياه المستعملة هي نفايات يتم التخلص منها – وصولاً إلى مفهوم المياه العادمة كمورد – هو الرسالة الأساسية لهذا التقرير.

وعند إعدادنا التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017، سرعان ما أدركنا مجموعة واسعة من التعاريف الخاصة بالمياه العادمة التي يمكن أن توجد لها معانٍ كثيرة مختلفة لدى العديد من الناس. وقد تناول المهندسون والمخططون المدنيون والمديرون البيئيون والأكاديميونَ، فضلاً عن العديد من وكالات الأمم المتحدة، جوانب مختلفة من قضية المياه العادمة في الكثير من التقارير، وفي كل منها وجهات نظر ثاقبة ومفردات خاصة بها. وقد سعينا إلى الاستفادة من العديد من هذه الوثائق – كما يتضح من طول قائمة المراجع – من أجل تقديم تقرير متوازن وقائم على الحقائق ومحايد عن الثروة المعرفية الحالية، وقمنا بتغطية أحدث التطورات المتعلقة بإدارة المياه العادمة، ومختلف الفوائد والفرص التي توفرها تلك الثروة المعرفية في سياق اقتصاد دائري.

ويُعد تحسين إدارة المياه العادمة أمراً بالغ الأهمية للنمو الأخضر، ولا سيما في سياق خطة التنمية المستدامة لعام 2030. وتُركز الغاية 6-3 للتنمية المستدامة بشكل واضح على الحد من التلوث وتحسين التخلص من المياه العادمة وإدارتها ومعالجتها وتأثيرها على نوعية المياه المحيطة. ويُعدّ بلوغ هذه الغاية عاملاً مهماً لتحقيق عدد من أهداف التنمية المستدامة الأخرى.

وتتطلب الاستفادة من إمكانيات المياه العادمة على أفضل وجه بوصفها مورداً قيِّماً ومستداماً تهيئة بيئة مواتية للتغيير، بما في ذلك الأطر القانونية والتنظيمية المناسبة، وآليات التمويل المناسبة، والتقبل الاجتماعي. وما زلنا على ثقة من أن توفر الإرادة السياسية اللازمة للقيام بذلك سيساعد على التغلب بسرعة وفعالية على العقبات الراهنة، مثل الافتقار إلى المعرفة والقدرات والبيانات والمعلومات المتعلقة بالمياه العادمة.

وعلى الرغم من أن التقرير موجه في المقام الأول إلى أصحاب القرار ومديري الموارد المائية على الصعيد الوطني، فإننا نأمل أن يحظى هذا التقرير أيضاً باهتمام سائر الأوساط المعنية بالتنمية والأكاديميين وأي شخص مهتم ببناء مستقبل عادل ومستدام للجميع.

وهذه الطبعة الأخيرة من التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية هي نتيجة جهود جماعية من كل من منظمة الأغذية والزراعة، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، ولجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ولجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، واليونسكو، واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا، وبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو)، والبرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية. وعلاوة على ذلك، استفاد التقرير من مساهمات العديد من أعضاء وشركاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، وأعضاء اللجنة الاستشارية التقنية لبرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، وكذلك من عشرات العلماء والمهنيين والمنظمات غير الحكومية الذين قدموا قدراً كبيراً من المواد اللازمة. وقد تم تعميم مراعاة المنظور الجنساني في التقرير على غرار الإصدارات السابقة.

وبالنيابة عن أمانة البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، نود أن نعرب عن عميق تقديرنا للوكالات المذكورة أعلاه، وأعضاء وشركاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، والكتّاب، والمحررين، وغيرهم من المساهمين في إعداد هذا التقرير الفريد والموثوق، الذي نأمل أن تكون له آثار متعددة في جميع أنحاء العالم.

ونعرب عن امتناننا العميق للحكومة الإيطالية لتمويلها البرنامج ولمنطقة أومبريا لاستضافة أمانة البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية في فيلا لا كولومبيلا في بيروجيا. فقد كانت مساهماتهما مفيدة في إعداد التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية.

ونتوجه بشكرنا الخاص إلى السيدة إيرينا بوكوفا، المديرة العامة لليونسكو، لما قدمته من دعم حيوي للبرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية وإعداد التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية. وقد أتاحت توجيهات السيد غاي رايدر، المدير العام لمنظمة العمل الدولية، بصفته رئيساً للجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، إصدار هذا التقرير.

وأخيراً وليس آخراً، نعرب عن خالص امتناننا لجميع زملائنا في أمانة البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية الذين وردت أسماؤهم في باب الشكر والتقدير. والذين لم يكن بالاستطاعة استكمال التقرير دون تفانيهم ومهنيتهم، وبخاصة في ضوء التحديات والصعوبات المتعلقة بزلازل عام 2016 في أومبريا والمناطق المحيطة بها في إيطاليا.

ستيفان يولينبروك

ريتشارد كونور

فريق التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017

مدير النشر:
ستيفان يولينبروك

رئيس التحرير:
ريتشارد كونور

منسق العمليات:
إنجين كونكاغول

مسؤول الأبحاث:
أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا

مسؤول المطبوعات:
ديواتا هونزيكر

مساعد المطبوعات:
فالنتينا أبيت

مصمم جرافيك:
ماركو تونسيني

محرر:
سيمون لوباخ

اللجنة الاستشارية التقنية للبرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية:
أوري شامير (الرئيس)، وديباك غياوالي (نائب الرئيس)، وفاطمة عبد الرحمن عطية، وأندرس برنتيل، وإلياس فيريرز، وموكوتيسوارا غوبالاكريشنان، ودانييل ب. لوكس، وهينك فان شيك، ويوي ليونغ شي، ولازلو سومليودي، ولوسيو أوبيرتيني، وألبرت رايت

أمانة برنامج الأمم المتحدة العالمي لتقييم الموارد المائية في عام 2016

المنسق:	ستيفان يولينبروك
نائب المنسق:	ميشيلا ميليتو
البرامج:	ريتشارد كونور، أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، فرانشيسكا غريكو، إنجين كونكاغول، ولوسيلا مينيلي
المطبوعات:	فالنتينا أبيت، ديواتا هونزيكر، وماركو تونسيني
الاتصالات:	سيمونا غاليسي ولورينز ثوي
الإدارة والدعم:	باربرا براكاجليا، لوسيا تشيوديني، أرتورو فراسكاني وليزا غاستالدين
تكنولوجيا المعلومات والأمن:	فابيو بيانكي، ميشيل برينساشي، وفرانشيسكو جيوفريدي

شكر وتقدير

يُقدّر برنامج الأمم المتحدة العالمي لتقييم الموارد المائية المساهمات القيّمة التي قدمتها الوكالات الرائدة الراعية للبرنامج منظمة الأغذية والزراعة، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، ولجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة ولجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، واليونسكو، واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا، وبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، والتي أتاحت إعداد محتويات هذا التقرير. ونود أيضاً أن نشكر أعضاء وشركاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية وجميع المنظمات والمؤسسات والأفراد الذين قدموا مساهمات وتعليقات مفيدة.

وقد استفاد التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017 من آراء وتعليقات وتوجيهات اللجنة الاستشارية التقنية للبرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية.

ونود أن نعرب عن شكرنا الجزيل لإيرينا بوكوفا، المديرة العامة لليونسكو، التي كان دعمها عاملاً حاسماً في إعداد هذا التقرير. كما نُعرب عن امتناننا الخاص لكل من فلافيا شليغل، مساعدة المديرة العامة لليونسكو للعلوم الطبيعية، وبلانكا خيمينيز -سيسنيروس، مديرة قسم علوم المياه وأمينة البرنامج الهيدرولوجي الدولي، والزملاء في البرنامج الهيدرولوجي الدولي، وذلك لتشجيعهم الكبير ومساعدتهم القيمة.

ونقدّر كثيراً أيضاً المساعدة القيّمة التي قدمتها لنا مكاتب اليونسكو الميدانية في ألماتي وبيجين، وبرازيليا، والقاهرة ونيودلهي لترجمة الملخص التنفيذي إلى اللغات الروسية والصينية والبرتغالية والعربية والهندية على التوالي. وأتاحت اللجنة الألمانية لليونسكو الترجمة أيضاً إلى اللغة الألمانية.

ويُعرب البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية عن امتنانه للمساهمة المالية السخية التي قدمتها الحكومة الإيطالية، وللتسهيلات التي قدمتها منطقة أومبريا. ويحظى التقرير أيضاً بدعم مالي من وزارة الخارجية النرويجية.

مؤسسة سلطان بن عبد العزيز آل سعود الخيرية
SULTAN BIN ABDULAZIZ AL-SAUD FOUNDATION

صدر هذا المنشور باللغة العربية بفضل المساهمة السخية التي قدمتها مؤسسة سلطان بن عبد العزيز آل سعود الخيرية - المملكة العربية السعودية.

محطة لمعالجة المياه العادمة

الملخص التنفيذي

تنتج عن معظم الأنشطة البشرية مياه عادمة. وكلما تنامى معدل الطلب الكلي على الموارد المائية، تزايدت كميات المياه العادمة وتفاقمت أعباء التلوث الناجمة عنها بشكل متواصل في شتى أنحاء العالم.

وفي كافة بلدان العالم، باستثناء أكثرها تقدماً، يتم تصريف معظم المياه العادمة مباشرة في البيئة دون معالجة وافية، ويعود هذا الأمر بعواقب وخيمة على صحة البشر ومعدلات الإنتاجية الاقتصادية ونوعية موارد المياه العذبة المتاحة في البيئة المحيطة وجودة النُظم الإيكولوجية.

وعلى الرغم من أن المياه العادمة هي مكون حيوي في دورة إدارة المياه، غالباً ما يتم التعامل مع المياه عقب استخدامها وكأنها عبء يجدر التخلص منه أو بوصفها مصدر إزعاج يجدر تجاهله. وتتجلى في الوقت الراهن النتائج المترتبة على هذا التجاهل. وتنجم عن العواقب المباشرة، بما في ذلك تدهور النُظم الإيكولوجية المائية والتعرض لأمراض تنتقل بواسطة المياه من جراء تلوث إمدادات المياه العذبة، تداعيات بعيدة المدى تؤثر على مستوى رفاهية المجتمعات وعلى سبل عيش الشعوب. وقد يتسبب استمرار الإخفاق في معالجة مسألة المياه العادمة باعتبارها مشكلة رئيسية على الصعيدين الاجتماعي والبيئي في تقويض الجهود الأخرى التي تُبذل لتحقيق أهداف التنمية المستدامة لعام 2030.

وفي ظل استمرار تنامي معدل الطلب على المياه، تزداد أهمية المياه العادمة كمصدر بديل وموثوق فيه للمياه، ويؤدي هذا الأمر إلى الانتقال في مجال إدارة المياه العادمة من نهج «المعالجة والتصريف» إلى نهج «إعادة الاستخدام وإعادة التدوير واسترداد الموارد». ومن هذا المنظور، لا يجدر التعامل مع المياه العادمة بعد الآن باعتبارها مشكلة تتطلب إيجاد حل لها، وإنما بوصفها جزءاً من الحل المطروح من أجل التصدي للتحديات التي تتعرض لها المجتمعات في الوقت الراهن.

ويمكن فضلاً عن ذلك التعامل مع المياه العادمة كمصدر مُستدام يتصف بفعالية التكلفة ويصلح لاستمداد الطاقة والعناصر المُغذية وغيرها من المنتجات الثانوية النافعة. وتتجاوز الفوائد المتوخاة من استخلاص مثل هذه الموارد من المياه العادمة نطاق الصحة البشرية والبيئية، إذ تترتب على ذلك آثار في مجالي أمن الغذاء وأمن الطاقة فضلاً عن الحد من تغير المناخ. وفي سياق الاقتصاد التدويري، الذي يقضي بالموازنة بين التنمية الاقتصادية من جهة وحماية الموارد الطبيعية والاستدامة البيئية من جهة أخرى، توفر المياه العادمة موارد ثمينة ومتاحة على نطاق واسع.

وتبعث الآفاق المنظورة بلا شك أو جدال على التفاؤل شريطة الشروع في العمل الآن.

الموارد المائية في العالم: التوافر والنوعية

على الصعيد العالمي، من المتوقع أن يزداد الطلب على المياه بمعدلات ملحوظة على مدار العقود المقبلة. وعلاوة على القطاع الزراعي، الذي يستأثر بنسبة 70% من معدلات سحب المياه في مجمل بقاع العالم، من المتوقع أن يشهد مجال الصناعة وإنتاج الطاقة زيادات كبيرة في الطلب على المياه. وبالإضافة إلى ذلك، يُسهم تسارع وتيرة التوسع الحضري واتساع نطاق نُظم الإمداد بالمياه وشبكات الصرف الصحي على مستوى البلديات في تزايد الطلب.

ومن المتوقع في التصورات المتعلقة بظاهرة تغير المناخ استفحال الاختلافات المكانية والزمانية المرتبطة بتفاعلات دورة المياه، وهو ما يؤدي إلى تفاقم التباين بين العرض والطلب على الموارد المائية بشكل متزايد. ومن المرجح أن يتغير تواتر حدوث الفيضانات

ومواسم الجفاف ومستوى حدتها في العديد من أحواض الأنهار في كافة أرجاء العالم. وقد تخلف حالات الجفاف تداعيات اجتماعية واقتصادية وبيئية شديدة للغاية. واندلعت الأزمة في سوريا من جراء تعرض البلاد لموسم جفاف تاريخي (ما بين عام 2007 وعام 2010) فضلاً عن العوامل الأخرى.

ويقطن ما يقدر بثلثي سكان العالم في الوقت الحاضر في مناطق تعاني من ندرة المياه لمدة شهر واحد على الأقل في العام. كما يقطن قرابة 500 مليون من سكان العالم في مناطق يتخطى فيها معدل استهلاك المياه معدل توفر المياه المتجددة على الصعيد المحلي بعامل قدره اثنين. ويرتفع بشكل مضطرد مستوى اعتماد المناطق التي تتصف بالهشاشة الشديدة، حيث تواصل الموارد المتجددة (أي المياه الجوفية الأحفورية) تراجعها، على نقل المياه من المناطق ذات المياه الوافرة، وتسعى هذه المناطق سعياً حثيثاً إلى العثور على مصادر بديلة ميسورة التكلفة.

وفضلاً عن ذلك، يرتبط توفر الموارد المائية ارتباطاً وثيقاً بنوعية المياه نظراً لإمكانية تسبب تلوث مصادر المياه في حظر أنماط مختلفة من الاستخدامات. وقد تسبب تزايد معدل تصريف مياه المجاري غير المعالجة، جنباً إلى جنب مع الصرف السطحي الزراعي والتخلص من المياه العادمة الصادرة عن قطاع الصناعة بدون معالجة وافية، في تدهور نوعية المياه في شتى بقاع العالم. وفي حالة استمرار الاتجاهات الراهنة، سوف تستمر نوعية المياه في التردي على مدار العقود المقبلة، ولا سيما في البلدان التي تفتقر إلى الموارد المائية والتي تقع في مناطق جافة، مما يؤدي إلى تفاقم تهديد صحة الإنسان وتعريض النُظم الإيكولوجية للخطر، ويساهم في تزايد ندرة المياه، ويُضعف التنمية الاقتصادية المستدامة.

المياه العادمة: اتجاهات عالمية

في المتوسط، تلتزم البلدان ذات الدخل المرتفع بمعالجة قرابة 70% من المياه العادمة البلدية والصناعية. وتنخفض هذه النسبة إلى 38% في البلدان التي تنتمي إلى الشريحة العليا من البلدان ذات الدخل المتوسط، وتتراجع إلى 28% في بلدان الشريحة الدنيا من البلدان ذات الدخل المتوسط. وفي البلدان ذات الدخل المنخفض، تبلغ نسبة المياه العادمة التي تخضع لمعالجات من أي نمط 8% فحسب. وتؤيد هذه التقديرات الحسابات التقريبية التي يتم الاستشهاد بها في كثير من الأحيان، والتي تُشير إلى تصريف نسبة تتجاوز 80% من إجمالي المياه العادمة بدون معالجة.

وفي البلدان ذات الدخل المرتفع، يكون الدافع وراء إخضاع المياه العادمة لمعالجة متقدمة هو إمّا الحفاظ على نوعية البيئة وإمّا توفير مصدر بديل للموارد المائية في إطار التصدي لمشكلة ندرة المياه. وعلى الرغم من ذلك، تشيع ممارسات تصريف المياه العادمة غير المعالجة، ولا سيما في البلدان النامية، من جراء الافتقار إلى البنية التحتية والقدرات التقنية والمؤسسية والتمويل.

المياه العادمة والصرف الصحي وخطة التنمية المستدامة

قد تُسهم إتاحة خدمات الصرف الصحي المحسَّنة إسهاماً كبيراً في تقليل المخاطر الصحية. وربما يتسنى إحراز المزيد من المكاسب الصحية عن طريق تحسين معالجة المياه العادمة. وعلى الرغم من تمكين 2.1 مليار نسمة من سكان العالم من الانتفاع بمرافق صرف صحي محسّنة اعتباراً من عام 1990، يفتقر 2.4 مليار نسمة إلى مرافق الصرف الصحي المحسّنة. ويواصل قرابة 1 مليار نسمة في كافة أنحاء العالم التغوط في العراء.

وعلى الرغم من ذلك، لا يعني تحسين مرافق الصرف الصحي بالضرورة تحسين إدارة المياه العادمة أو تعزيز السلامة العامة. فعلى امتداد سلسلة الصرف الصحي بكافة حلقاتها، تبلغ نسبة خدمات معالجة المياه العادمة وخدمات الصرف الصحي الفعالة التي تحول دون ملامسة الإنسان للفضلات البشرية، والتي يمكن بالتالي اعتبارها خاضعة لإدارة آمنة وسليمة، 26% فقط في المناطق الحضرية و34% فقط في المناطق الريفية من إجمالي خدمات معالجة المياه العادمة وخدمات الصرف الصحي.

وبناء على الخبرات المكتسبة من الأهداف الإنمائية للألفية، تنطوي خطة التنمية المستدامة لعام 2030 على هدف شامل خاص بالمياه لا يقتصر على قضايا الإمداد بالمياه وتوفير خدمات الصرف الصحي. وتنص الغاية 6-3 للتنمية المستدامة على ما يلي ... *«تحسين نوعية المياه عن طريق الحد من التلوث، ووقف إلقاء النفايات والمواد الكيميائية الخطرة وتقليل تسرّبها إلى أدنى حد، وخفض نسبة مياه المجاري غير المعالجة إلى النصف، وزيادة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام المأمونة بنسبة كبيرة على الصعيد العالمي، بحلول عام 2030.»* ويكشف التدني الحاد لمستوى معالجة المياه العادمة في البلدان ذات الدخل المنخفض وبلدان الشريحة الدنيا من البلدان ذات الدخل المتوسط النقاب عن الاحتياج العاجل إلى إدخال تحسينات تكنولوجية والأخذ بخيارات آمنة في مجال إعادة استخدام الموارد المائية للمساعدة على بلوغ الغاية 6-3 للتنمية المستدامة، وهو أمر حاسم لتحقيق جميع أهداف خطة التنمية المستدامة لعام 2030. وستؤدي الجهود التي يجب بذلها من أجل بلوغ هذه الغاية إلى زيادة الأعباء المالية الملقاة على كاهل البلدان المنخفضة الدخل وبلدان الشريحة الدنيا من البلدان المتوسطة الدخل، وستجعل هذه الأعباء وضعها الاقتصادي أكثر صعوبة من الوضع الاقتصادي للبلدان المرتفعة الدخل وبلدان الشريحة العليا من البلدان المتوسطة الدخل.

التحديات المرتبطة بالحوكمة

تعود إدارة الفضلات البشرية بمنافع كبيرة على المجتمع في مجال الصحة العامة ومجال البيئة. ومقابل كل دولار أمريكي يُنفق على خدمات الصرف الصحي، تُقدر العوائد التي يستردها المجتمع بما يعادل 5,5 دولار أمريكي.

وقد يكون التغلب على الصعوبات العملية التي تعترض تطبيق اللوائح التنظيمية المتعلقة بنوعية المياه أمراً عسيراً. وسعياً إلى تحقيق الأهداف الرامية إلى تحسين نوعية المياه وإلى حماية الموارد المائية، يتعين على الأطراف والمنظمات التي تضطلع بمسؤولية محددة تجاه مختلف جوانب إدارة المياه العادمة الامتثال والتصرف على نحو يصب في المصلحة الجماعية. ولن يتسنى تحقيق المنافع المنشودة إلا عندما تتقيد جميع الأطراف بالقواعد الرامية إلى حماية الموارد المائية من التلوث.

ويؤدي إشراك المواطنين والمواطنات في عملية اتخاذ القرارات على كافة المستويات إلى تعزيز الالتزام والشعور بالمسؤولية. ويشمل هذا الأمر القرارات التي تتعلق بتحديد أنواع مرافق الصرف الصحي التي تحظى بالاستحسان والقبول، وتحديد سُبل تمويلها وصيانتها على نحو فعال وطويل الأجل. ومن المهم للغاية التواصل مع الفئات المهمشة، والأقليات الإثنية، والفئات السكانية التي تعيش في فقر مدقع، سواء في مناطق ريفية نائية أو في تجمعات حضرية عشوائية وغير نظامية. ولا بد أيضاً من التواصل مع النساء، اللواتي يتحملن العبء الأكبر للعواقب الصحية الناجمة عن إدارة الفضلات البشرية بطريقة تنعدم فيها عوامل الأمن والسلامة.

الجوانب التقنية لدورة إدارة المياه العادمة

تتألف المياه العادمة تقريباً من مياه بنسبة 99%، ومن مركبات صلبة عالقة ورغوية وذائبة بنسبة 1%.

ويمكن تصنيف العواقب الناجمة عن تصريف المياه العادمة بدون معالجة أو بدون معالجة وافية في ثلاث فئات كما يلي: (1) آثار ضارة بصحة الإنسان؛ (2) تأثيرات سلبية على البيئة؛ (3) عواقب سلبية على الأنشطة الاقتصادية.

ويتمثل الغرض النهائي المتوخى من تحسين إدارة المياه العادمة في ضبط وتنظيم كافة مصادر تدفق المياه العادمة. ويمكن تقسيم دورة إدارة المياه العادمة إلى أربع مراحل أساسية مترابطة كما يلي:

1 – مرحلة درء أو خفض التلوث عند المصدر

ينبغي إيلاء الأولوية لنهوج مكافحة تلوث المياه التي تركّز على درء التلوث في المياه العادمة أو خفضه بدلاً من التركيز على معالجة الملوثات عند المصب كلما كان ذلك ممكناً. وتنطوي هذه النهوج على حظر أو مكافحة استخدام ملوثات محددة بغرض الحيلولة دون – أو الحد من – تسربها إلى مجاري المياه العادمة، وذلك بوسائل تنظيمية أو تقنية أو بوسائل أخرى أو بهذه الوسائل مجتمعة. وبوجه عام، تكون تكاليف الإجراءات العلاجية التصحيحية الرامية إلى تنظيف مواقع التصريف والمسطحات المائية التي تتعرض للتلوث أعلى بكثير من تكاليف التدابير الوقائية الرامية إلى الحيلولة دون حدوث التلوث.

وتُعد عمليات الرصد والإبلاغ عن حالات تصريف الملوثات في البيئة وعن نوعية المياه المحيطة عنصراً ضرورياً لإحراز تقدم في هذا المجال. وفي حالة التقاعس عن قياس وضع قائم، سيتعذر تحديد المشكلة وتقييم فعالية السياسات.

2 – عمليات تجميع ومعالجة المياه العادمة

تظل نُظم التصريف المركزي للفضلات المنقولة بواسطة المياه الطريقة السائدة للصرف الصحي والتخلص من المياه العادمة الناتجة عن مصادر منزلية وتجارية وصناعية. وعلى الصعيد العالمي، يتمتع قرابة 60% من البشر بنُظم الصرف الصحي (على الرغم من إخضاع نسبة ضئيلة فقط من المياه التي تتجمع في شبكات المجاري للمعالجة الفعلية). وتتناسب خيارات الصرف الصحي الأخرى، ومنها على سبيل المثال النُظم القائمة في الموقع، المناطق الريفية والأماكن ذات الكثافة السكانية المنخفضة، ولكن مع إمكانية ارتفاع التكاليف الناجمة عنها بالإضافة إلى صعوبة إدارتها في البيئات الحضرية ذات الكثافة السكانية المرتفعة.

وقد لا تظل النظم المركزية الواسعة النطاق لمعالجة المياه العادمة الخيار الأمثل لإدارة المياه في المناطق الحضرية في العديد من البلدان. ففي جميع أرجاء العالم، يتزايد الاعتماد على نُظم لامركزية لمعالجة المياه العادمة الناتجة عن عقار منفرد أو عن مجموعة محدودة من العقارات. وفضلاً عن ذلك، تُتيح هذه النُظم اللامركزية استرداد العناصر المُغذية واسترجاع الطاقة، وكذلك توفير المياه العذبة، وتساعد على التمكين من الحصول على المياه خلال فترات ندرة المياه. ووفقاً للتقديرات، تُمثل تكاليف الاستثمار في مرافق المعالجة المشار إليها نسبة تتراوح بين 20% و50% فقط من التكاليف المرتبطة بمحطات المعالجة التقليدية، إضافة إلى انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة إلى مستويات أدنى (في حدود نسبة تتراوح بين 5% و25% من التكاليف التي تترتب على تشغيل وصيانة محطات معالجة الحمأة المنشطة التقليدية).

وتُعد نُظم الصرف الصحي المنخفضة التكلفة في الوقت الحاضر الطريقة المثلى التي تلقى الإقبال في الأحياء ذات كافة مستويات الدخل. وتختلف هذه النظم عن النُظم المستخدمة في المنشآت التقليدية للصرف الصحي، وتركز على مفهوم تصريف مياه مجار تخلو من المركبات الصلبة عبر نظام الصرف الصحي. ويسهل إخضاع هذه النُظم لإدارة المجتمع المحلي، وتصلح إلى حد بعيد لتمديد النُظم القائمة أو لتوسيع نطاقها أو لربط التجمعات السكانية الفرعية بالنُظم المركزية. وبالإضافة إلى ذلك، جرى الاستعانة بهذه النُظم في مناطق استضافة اللاجئين. ويعد عدم توافق هذه النُظم مع أغراض تصريف مياه العواصف أحد النواقص التي تعيبها.

وقد تكون النُظم الإيكولوجية فعالة في توفير خدمات معالجة المياه العادمة بشكل اقتصادي التكلفة، شريطة أن تكون هذه النُظم سليمة، وشريطة أن تخضع كمية الملوثات (وكذلك أنواع الملوثات) الموجودة في النفايات السائلة للتنظيم والتقنين، وشريطة عدم تجاوزها لقدرة النظام الإيكولوجي على تحمّل التلوث.

3 – استخدام المياه العادمة كمصدر بديل للمياه

جرت العادة على استخدام المياه العادمة بدون معالجة أو بعد تخفيف محتواها لأغراض الري طوال قرون. وبالإضافة إلى ما ورد أعلاه، تُتيح المياه توفير سبل للإمداد بالمياه بطريقة مُستدامة وموثوق بها من أجل الأنشطة الصناعية واحتياجات البلديات، ولا سيما نظراً لتزايد أعداد المدن التي تعتمد على مصادر مائية نائية أو بديلة أو الأمرين معاً لتلبية الطلب المتزايد على المياه.

وبوجه عام، تصبح إعادة استخدام المياه أكثر جدوى وفعالية من المنظور الاقتصادي إذا اقتربت نقطة إعادة الاستخدام من نقطة الإنتاج. ومن الجدير بالذكر أن الالتزام بمعالجة المياه العادمة وفقاً لمعايير جودة المياه المقبولة من قبل المستخدم (أي معالجة «تتوافق مع الغرض المتوخى») يسهم في زيادة احتمالات استرداد التكاليف. وتزداد القدرة التنافسية لاستخدام المياه العادمة عندما تبيّن أسعار المياه العذبة أيضاً تكلفة الفرصة الضائعة الناجمة عن استخدام المياه العذبة، وعندما تبيّن الرسوم التي تُفرض على حالات التلوث تكلفة إزالة الملوثات من تدفقات المياه العادمة.

ويمكن أن يُسهم التخطيط لاستخدام المياه العادمة التي تخضع للمعالجة الكلية أو المعالجة الجزئية لدعم خدمات النُظم الإيكولوجية في تعزيز كفاءة الموارد، وأن يعود بمنافع على النُظم الإيكولوجية عن طريق خفض معدل سحب المياه العذبة، وإعادة تدوير العناصر المغذية وإعادة استخدامها، والعمل بالتالي على إتاحة ازدهار مصائد الأسماك وغيرها من النُظم الإيكولوجية المائية عبر الحد من تلوث المياه، وإعادة شحن طبقات المياه الجوفية التي تعرضت للاستنفاد والنضوب.

4 – استرداد منتجات ثانوية نافعة

لا يزال هناك قصور في استغلال الإمكانيات الهائلة للمياه العادمة كمصدر للموارد، بما في ذلك على سبيل المثال الطاقة والعناصر المغذية.

ويمكن استرداد الطاقة في صورة الغاز الحيوي، والتدفئة أو التبريد، وتوليد الكهرباء. وهناك تقنيات متوفرة يتم إدماجها في محطات معالجة المياه العادمة لاسترداد الطاقة في الموقع عن طريق معالجة الحمأة/المركبات الصلبة الحيوية مما يكفل لتلك المحطات الانتقال من شريحة الاستهلاك الأساسي للطاقة إلى شريحة الحياد في استهلاك الطاقة، أو ربما إلى شريحة الإنتاج الصافي للطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، يُسهم استرداد الطاقة في تمكين المرافق من خفض تكاليف التشغيل والحد من بصماتها الكربونية، مما يُتيح زيادة الإيرادات عبر برامج أرصدة انبعاثات الكربون ومبادلة الكربون. وفضلاً عن ذلك، توجد فرص لاسترداد الطاقة جنباً إلى جنب مع استرجاع العناصر المُغذية. ويتم استرداد الطاقة خارج الموقع عن طريق إحراق الحمأة في محطات مركزية من خلال عمليات المعالجة الحرارية.

وتتقدم عملية تطوير تقنيات استرداد النيتروجين والفوسفور من مياه الصرف الصحي أو من الحمأة بخطى مُطردة. ويمكن أن تكون عملية استرداد الفوسفور من محطات المعالجة في الموقع، ويشمل ذلك على سبيل المثال خزانات الصرف الصحي (خزانات التحلل) والمراحيض، بالجدوى وقابلية التطبيق من المنظورين التقني والمالي عن طريق تحويل فضلات الصرف الصحي إلى أسمدة عضوية أو أسمدة عضوية معدنية. وعلاوة على ما تقدم، تنخفض مخاطر التلوث الكيميائي التي قد تنجم عن حمأة الغائط انخفاضاً نسبياً مقارنة بالمخاطر التي قد تنجم عن وجود المركبات الصلبة في شبكات المجاري.

ويُحتمل أن تكتسب عملية تجميع واستخدام البول المزيد من الأهمية كمكون هام في سياق الإدارة البيئية للمياه العادمة، وذلك نظراً لاحتواء البول على 88% و66% على التوالي من كمية النيتروجين والفوسفور التي توجد في المخلفات البشرية – وهما من العناصر الأساسية لنمو النباتات. وبناءً على التوقعات التي تُشير إلى نُدرة أو ربما نضوب مورد الفوسفور المعدني القابل للاستخراج خلال العقود المقبلة، فإن استرداد هذا العنصر من المياه العادمة يُعد بديلاً واقعياً وقابلاً للتطبيق.

المياه العادمة البلدية والحضرية

قد يتباين تركيب المياه العادمة البلدية تبايناً كبيراً، مما يبيّن تنوع الملوثات الواردة من مختلف المصادر المنزلية والصناعية والتجارية والمؤسسية. وتخلو المياه العادمة الواردة من المصادر المنزلية عادة من المواد الخطرة نسبياً، وتتزايد مع ذلك المخاوف بشأن بعض الملوثات الجديدة، ومنها بعض الأدوية الشائعة الاستخدام، التي قد تعود بعواقب طويلة الأمد، حتى في حالة التعرض لها بمعدلات تركيز منخفضة.

وينطوي التوسع الحضري المتسارع على عدد من التحديات تضم تزايد في إنتاج المياه العادمة البلدية. وعلى الرغم من ذلك، يُتيح هذا التوسع فرصاً للتخلي عن ممارسات إدارة المياه القديمة (وغير الملائمة) واعتماد نهوج مبتكرة، وينطوي هذا الأمر على استخدام المياه العادمة المُعالجة والمنتجات الثانوية المستخلصة منها.

ويتمثل أحد أبرز التحديات الناجمة عن اتساع نطاق التجمعات السكانية غير النظامية (العشوائيات) في العالم النامي في إنتاج المياه العادمة. وزاد عدد سكان العشوائيات في عام 2012 عما كان عليه في عام 2000، علماً بأنه من المُرجح أن تواصل هذا الاتجاه في المستقبل. ويلجأ سكان المناطق العشوائية في الكثير من الأحيان إلى الاعتماد على دورات مياه جماعية ومشتركة غير موصولة بشبكات المجاري، أو إلى ممارسة التغوط في العراء، أو إلى التخلص من البراز في أكياس بلاستيكية من مادة البوليثين (أي «مراحيض طائرة»). ولا يشيع استخدام دورات المياه الجماعية المشتركة على نطاق واسع، بسبب نقص المياه، وتردي مستوى الصيانة، وارتفاع التكلفة التي يتكبدها المستخدم. وتواجه النساء إشكالية ذات طابع خاص فيما يتعلق بالعثور على المكان المناسب لقضاء الحاجة، إذ تنجم عن هذا الوضع مخاطر تُهدد الأمن الشخصي، وتتسبب في الحرج والارتباك، وتضر بالصحة العامة.

قطاع الصناعة

من المحتمل أن تخلف الملوثات الصناعية التي تتصف بالسُمية وقابلية التحرك وارتفاع تركيز التلوث عواقب وخيمة على الموارد المائية وصحة الإنسان والبيئة تفوق العواقب الناجمة عن كميات المياه العادمة الفعلية. وتتمثل الخطوة الأولى في تخفيض كميات التلوث والحد من سُمية الملوثات إلى الحد الأدنى عند نقطة المنشأ بدءاً من مرحلة التصور الأولي ومروراً بمرحلة التصميم والتشغيل وانتهاءً بمرحلة الصيانة. ويشتمل ذلك على استبدال المواد الخام بمواد أكثر ملاءمة للبيئة ومواد قابلة للتحلل العضوي، مع تثقيف وتدريب العمال للتمكن من معالجة القضايا المتعلقة بالتلوث. وتتمثل الخطوة الثانية في إعادة تدوير المياه العادمة بقدر الإمكان داخل المحطة، مما يؤدي إلى تقليل معدل تصريف الملوثات.

وعادة ما تلجأ المنشآت الصغيرة والمتوسطة الحجم والصناعات غير الرسمية إلى تصريف مياهها العادمة في نُظم الصرف الصحي البلدية أو بشكل مباشر في البيئة. ويتعين على الصناعات التي تعمد إلى تصريف مياهها العادمة في نُظم الصرف الصحي البلدية أو في مسطحات المياه الامتثال لقوانين التصريف كي تتجنب التعرض لغرامات، وهو ما يستلزم في الكثير من الحالات إجراء معالجة في نهاية سلسلة العمليات وقبل التصريف. ومع ذلك، قد تجد الصناعات أحياناً أن دفع الغرامات أقل تكلفة من الاستثمار في آليات المُعالجة بغرض الامتثال للقوانين.

وتتمثل إحدى الفرص الجديرة بالاعتبار، التي يتيحها استخدام وإعادة تدوير المياه العادمة الناتجة عن الأنشطة الصناعية في إمكانية توثيق علاقات التعاون بين محطات المعالجة في سياق التكافل الصناعي. ويتجلى هذا الأمر في المجمعات الصناعية البيئية حيث تكون الصناعات متجاورة على نحو يُسهم في الاستفادة من مختلف مصادر تدفق المياه العادمة والموارد المائية وفرص إعادة تدوير المياه واسترداد المنتجات الثانوية. ويمكن لذلك أن يكون وسيلة هامة لتوفير تكاليف معالجة المياه العادمة بالنسبة للمنشآت الصغيرة والمتوسطة الحجم.

قطاع الزراعة

خلال نصف القرن المنصرم، اتسعت الرقعة المؤهلة للري بما يتجاوز الضعفين، وزاد عدد الماشية إلى أكثر من ثلاثة أضعاف، وتنامت تربية الأحياء المائية في مسطحات داخلية بما يزيد على عشرين ضعفاً.

وتتعرض المياه للتلوث من قطاع الزراعة عندما تُضاف الأسمدة وغيرها من المواد الكيميائية الزراعية الأخرى بمقادير تتجاوز قدرة المحاصيل الزراعية على امتصاصها أو في حالة تعرضها للانجراف. وقد تُسهم مخططات الري الفعالة في تخفيض معدل إهدار الموارد المائية وفقدان الأسمدة تخفيضاً كبيراً. وفضلاً عن ذلك، يمكن أن تؤدي تربية الماشية والأحياء المائية إلى تلوث المياه بالعناصر المغذية.

ويمكن أن يكون قطاع الزراعة مصدراً للعديد من أنواع الملوثات الأخرى، بما في ذلك المواد العضوية، والكائنات المسببة للأمراض (مسببات الأمراض)، والمعادن، والملوثات الحديثة. وخلال السنوات العشرين الماضية، ظهرت ملوثات زراعية جديدة تضم على سبيل المثال المضادات الحيوية، واللقاحات، ومحفزات (منشطات) النمو، والهرمونات، التي يمكن أن تنتقل إلى البيئة من مزارع الماشية ومزارع تربية الأحياء المائية.

وتُعد المياه العادمة مصدراً هاماً وثميناً لاستخلاص الموارد المائية والعناصر المُغذية على حد سواء، وذلك في حالة معالجتها على النحو الملائم واستخدامها بشكل آمن. وفضلاً عن تعزيز مستوى الأمن الغذائي، يمكن أن تعود عملية إعادة استخدام المياه في قطاع الزراعة بفوائد هامة على الصحة البشرية والبيئية على حد سواء، بما في ذلك تحسين مستوى التغذية السليمة. وتشيع ممارسات استخدام المياه العادمة البلدية كنموذج مشترك في بلدان الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، وأستراليا، وبلدان البحر الأبيض المتوسط، والصين، والمكسيك، والولايات المتحدة الأمريكية. وتبلغ هذه الممارسات ذروة النجاح في المناطق الحضرية وشبه الحضرية، حيث يسهل الحصول على المياه العادمة مجاناً عادة، وحيث يتوفر سوق قريب في الجوار لتداول المنتجات الزراعية.

وجهات النظر الإقليمية

يتمثل أحد التحديات الرئيسية المتعلقة بالمياه العادمة في قارة أفريقيا في الافتقار بوجه عام إلى البنية التحتية اللازمة لتجميع ومعالجة المياه. ويتسبب ذلك في تلوث موارد المياه السطحية والجوفية المحدودة في الكثير من الأحيان. وتتنامى المدن الأفريقية بوتيرة سريعة، وتعجز نُظمها القائمة لإدارة المياه عن مواكبة الطلب المتزايد. وعلى الرغم من ذلك، يتيح هذا الوضع فرصاً بفضل تحسين إدارة المياه العادمة في المناطق الحضرية عن طريق استخدام تكنولوجيات متعددة الأغراض من أجل إعادة استخدام المياه واسترداد المنتجات الثانوية النافعة. ولا بد من بذل جهود كبيرة على صعيد الدعوة والمناصرة لإقناع واضعي السياسات بأن «تكلفة التقاعس عن العمل» باهظة في مجالات التنمية الاجتماعية والاقتصادية، والجودة البيئية، والصحة البشرية.

وقد أضحت عملية استخدام المياه العادمة المعالجة بطريقة آمنة وسيلة لزيادة توفير المياه في عدد من البلدان العربية، وأُدرجت كعنصر أساسي في خطط إدارة الموارد المائية. وفي عام 2013، خضع 71% من الموارد المائية التي تم تجميعها في الدول العربية للمعالجة بطريقة آمنة، علماً بأنه يجري استغلال 21% منها لأغراض الري وإعادة تغذية طبقات المياه الجوفية في المقام الأول. وتوفر الإدارة المتكاملة للموارد المائية والأخذ بنهوج تراعي الروابط بين المياه والطاقة والغذاء وتغير المناخ إطاراً عاماً للنظر في سُبل دعم وتحسين عمليات تجميع ونقل ومعالجة واستخدام المياه العادمة في منطقة الدول العربية من منظور الأمن المائي.

وتنطوي المنتجات الثانوية المستخلصة من المياه العادمة المنزلية، ومنها على سبيل المثال الملح والنيتروجين والفوسفور، على قيمة اقتصادية محتملة يمكن استغلالها في تحسين سُبل العيش في منطقة آسيا والمحيط الهادئ. وقد أزاحت دراسات الحالة التي أُجريت في منطقة جنوب شرق آسيا الستار عن ارتفاع الإيرادات التي تتحقق من استخلاص المنتجات الثانوية من المياه العادمة، ومنها على سبيل المثال الأسمدة، وذلك بمعدلات كبيرة تتجاوز تكاليف تشغيل نُظم استخلاص المنتجات الثانوية من المياه العادمة، وهو ما يوفر أدلة تؤكد قيمة نموذج استرداد الموارد من المياه العادمة باعتباره نموذجاً تجارياً مجدياً يدرّ أرباحاً. وينبغي بذل المزيد من الجهود في كافة أنحاء المنطقة لمساعدة البلديات والسلطات الحكومية المحلية على إدارة المياه العادمة في المناطق الحضرية والاستفادة من فوائد استرداد الموارد التي تحتوي عليها.

ويعدّ مستوى إتاحة خدمات الصرف الصحي المحسنة في جميع أرجاء قارة أوروبا ومنطقة أمريكا الشمالية مرتفعاً نسبياً (95%). وتحسنت هناك أيضاً مستويات معالجة المياه العادمة خلال السنوات الخمس عشرة أو العشرين الماضية. وعلى الرغم من تزايد خدمات المعالجة الثالثة تدريجياً، يجري تجميع كميات كبيرة من المياه العادمة وتصريفها بدون معالجة، ولا سيما في منطقة أوروبا الشرقية. وقد تسببت التغيرات السكانية والاقتصادية في تخفيض فعالية بعض النُظم المركزية الواسعة النطاق إلى ما دون المستوى الأمثل، وهو ما يتبين في العديد من النُظم التي تعاني من فرط حجمها وتواضع قدرتها على التكيف والتي تقع في بعض أجزاء الاتحاد السوفياتي السابق. وتواجه المدن الواقعة في مختلف أنحاء المنطقة أعباءً مالية ناجمة عن إصلاح أو استبدال البنية التحتية المتقادمة.

واتسع نطاق توفير خدمات معالجة المياه العادمة في المناطق الحضرية في أمريكا اللاتينية والكاريبي بمقدار الضعفين تقريباً منذ أواخر تسعينات القرن الماضي، وتتراوح نسبة المعالجة في الوقت الحاضر بين 20% و30% من إجمالي كميات المياه العادمة التي يتم تجميعها في نُظم المجاري بالمناطق الحضرية وفقاً للتقديرات. ويُعزى هذا التحسن في المقام الأول إلى تزايد مستويات توفير المياه وخدمات الصرف الصحي، وتحسن الوضع المالي للعديد من جهات تقديم الخدمات (التي حققت في السنوات الماضية تقدماً هاماً في استرداد التكاليف)، وارتفاع مستوى النمو الاقتصادي والاجتماعي في المنطقة خلال العقد الماضي. وساهم إدماج الاقتصادات الإقليمية في الأسواق العالمية في هذا التحسن. ويمكن أن تكون المياه العادمة المُعالجة مصدراً هاماً للإمداد بالمياه في بعض المدن، ولا سيما تلك التي تقع في مناطق قاحلة (على سبيل المثال «ليما») أو في مناطق تعتمد على نقل المياه لمسافات طويلة لتلبية الطلب المتزايد، وبخاصة خلال فترات الجفاف (على سبيل المثال «ساو باولو»).

تهيئة بيئة مواتية للتغيير

يساعد تحسين نُظم معالجة المياه العادمة، وزيادة معدل إعادة استخدام المياه، واسترداد المنتجات الثانوية النافعة، على الانتقال إلى الاقتصاد التدويري عن طريق المساهمة في خفض معدلات سحب المياه والحد من إهدار الموارد في نُظم الإنتاج والأنشطة الاقتصادية.

الأُطر القانونية والتنظيمية المناسبة

يتطلب إيجاد أُطر تنظيمية فعالة امتلاك السلطات التنفيذية للقدرات التقنية والإدارية الضرورية، واضطلاعها بعملها بطريقة مستقلة، وتمتعها بالصلاحيات الكافية لتطبيق القواعد والمبادئ التوجيهية. وتُسهم الشفافية وإتاحة المعلومات في التشجيع على الامتثال عن طريق تعزيز الثقة لدى المستخدمين بإجراءات التنفيذ والإنفاذ. وسيتطلب إحراز التقدم المنشود في هذا الصدد اعتماد نهج تراكمي يتصف بالمرونة.

ويجري تطبيق السياسات واللوائح التنظيمية على الصعيد المحلي، ولا بدّ من تطويعها بما يتوافق مع مختلف الظروف. ومن المهم بالتالي تقديم الدعم السياسي والمؤسسي والمالي للمبادرات التي تنطلق من «القاعدة إلى القمة» مع توفير خدمات إدارة المياه العادمة على النطاق المحلي الضيق (أي على المستوى اللامركزي).

وبالإضافة إلى ما تقدم، لا بدّ من وضع لوائح تنظيمية جديدة بشأن إعادة استخدام المياه واسترداد المنتجات الثانوية من المياه العادمة. فلا يوجد في الكثير من الأحيان سوى القليل من التشريعات التي تنص على معايير الجودة المتعلقة بهذه المنتجات أو لا توجد أية تشريعات تنص عليها مما يؤدي إلى تعرض السوق لانعدام اليقين الذي يمكن أن يتسبب في تثبيط همم المستثمرين والحد من الاستثمارات. ويمكن تحفيز أسواق هذه المنتجات عن طريق الحوافز المالية أو القانونية (على سبيل المثال الإلزام بخلط الفوسفات المسترد بالأسمدة الاصطناعية).

استرداد التكاليف وإيجاد آليات التمويل المناسبة

تُعتبر خدمات إدارة المياه العادمة والصرف الصحي بوجه عام باهظة التكلفة وتتطلب رأس مال كبير. وينطبق هذا بالتحديد على النُظم المركزية الواسعة، والتي تستأثر بقسم كبير من النفقات الرأسمالية المباشرة مع ارتفاع تكاليف تشغيلها وصيانتها نسبياً في الأجلين المتوسط والطويل من أجل تلافي تعرضها لتدهور سريع. وتتفاقم المشكلة من جراء النقص المزمن في الاستثمار في تنمية القدرات المؤسسية والبشرية. وعلى الرغم من ذلك، تفوق التكاليف الناجمة عن قصور الاستثمار في إدارة المياه العادمة تكاليف خدمات الصرف الصحي بمقدار كبير، ولا سيما عند أخذ الأضرار المباشرة وغير المباشرة التي تلحق بالصحة والتنمية الاجتماعية والاقتصادية والبيئة في الحسبان.

ويمكن استخدام نُظم معالجة المياه العادمة اللامركزية للتغلب على بعض المشكلات المالية المرتبطة بالنُظم المركزية. وفي حالة تصميمها وتطبيقها على النحو الملائم، يمكن أن تُحقق هذه التقنيات المنخفضة التكلفة نتائج مُرضية من حيث نوعية النفايات السائلة على الرغم من ضرورة تشغيلها وصيانتها أيضاً بمستويات مناسبة لتلافي تعرضها لأعطال.

ويمكن أن يؤدي استخدام المياه العادمة إلى إيجاد مصادر جديدة للإيرادات اللازمة لمعالجة المياه العادمة، لا سيما في الظروف الناجمة عن شح المياه المتكرر أو المزمن. وقد جرى تطبيق عدد من النماذج التجارية المختلفة حيث يتيح استرداد التكاليف والقيمة الحصول على منافع مالية كبيرة. وعلى الرغم من ذلك، لا تكفي الإيرادات التي يدرّها بيع المياه العادمة المعالجة فقط لتغطية تكاليف تشغيل وصيانة المحطات بوجه عام. ويمكن أن يُسهم استرداد العناصر المُغذية (ولا سيما الفوسفور والنيتروجين) واسترجاع الطاقة في إيجاد مصادر قيّمة جديدة تتيح تعزيز إمكانية استرداد التكاليف.

وقد لا تكون عوائد استخدام المياه العادمة واسترداد الموارد كافية دائماً لتغطية تكاليفها الإضافية، بيد أن فوائد الاستثمار في إعادة استخدام المياه يمكن أن تضاهي فوائد تكاليف إنشاء السدود وتحلية المياه ونقل المياه بين الأحواض المائية، وغيرها من الخيارات المتاحة لزيادة توافر المياه.

ولا تعبّر أسعار المياه الصالحة للشرب بوجه عام، وحتى في حال إيصالها إلى المستهلكين عبر شبكات المياه، عن التكلفة الإجمالية لهذه الخدمة. ويجب بيع المياه العادمة المُعالجة ذاتها بأسعار تقل عن أسعار المياه الصالحة للشرب لكي يقبلها الناس. ويتيح تسعير المياه المستمدة من كافة المصادر تسعيراً يعبّر عن تكلفتها الفعلية القيام بعمليات استثمارية قد تفضي إلى تقديم خدمات بأسعار معقولة لجميع أفراد المجتمع، ومنهم الفقراء.

الحد قدر المستطاع من المخاطر التي تُهدد الإنسان وتضر البيئة

يمكن أن يعود تصريف المياه العادمة بدون معالجة بعواقب وخيمة على الصحة البشرية والسلامة البيئية على حد سواء، ومنها على سبيل المثال تفشي الأمراض التي تنتقل عبر المواد الغذائية والمياه وناقلات الأمراض، وكذلك التلوث وفقدان التنوع البيولوجي وخدمات النُظم الإيكولوجية. وينبغي إيلاء اهتمام خاص لمسألة تعرض الفئات المُستضعفة، ولا سيما النساء والأطفال، للمياه العادمة غير المعالجة أو المعالجة جزئياً، إذ يؤدي تدني مستوى الوعي بالمخاطر الصحية لاستخدام المياه العادمة بسبب الفقر وتدني مستوى التعليم إلى تفاقم هذه المخاطر، ولا سيما في البلدان النامية. وكلما ازداد احتمال تعرض الناس للمياه العادمة (عبر المواد الغذائية أو الملامسة المباشرة) تطلب الوضع اتخاذ إجراءات أكثر صرامة في مجال إدارة المخاطر.

بناء المعارف والقدرات

يُعدّ توفير البيانات والمعلومات اللازمة بشأن إنتاج ومعالجة واستخدام المياه العادمة أمراً ضرورياً لتمكين واضعي السياسات والباحثين والباحثات والمؤسسات العامة من وضع خطط عمل على الصعيدين الوطني والمحلي لحماية البيئة واستخدام المياه العادمة استخداماً آمناً ومثمراً. وتُعد المعارف المتعلقة بكميات المياه العادمة، وربما الأهم من ذلك المتعلقة بمكونات المياه العادمة، أدوات ضرورية لحماية الصحة البشرية والسلامة البيئية على حد سواء. ويوجد مع ذلك نقص عام في البينات المتعلقة تقريباً بجميع جوانب نوعية المياه وجوانب إدارة المياه العادمة، ولا سيما في البلدان النامية.

وينبغي نقل تكنولوجيات ملائمة وميسورة التكلفة، ومنها التكنولوجيات الجديدة والراسخة على حد سواء، من البدان المتقدمة إلى البلدان النامية. ولا بدّ من إجراء بحوث لتحسين فهم التفاعلات المرتبطة بالملوثات الناشئة، وتحسين أساليب إزالة هذه الملوثات من المياه العادمة. ولا بدّ أيضاً من فهم كيفية تأثير العوامل الخارجية، مثل تغير المناخ، على إدارة المياه العادمة.

ويقتضي تحسين إدارة المياه العادمة ضمان وجود قدرات بشرية مناسبة. وكثيراً ما يفتقر قطاع إدارة المياه العادمة إلى القدرات التنظيمية والمؤسسية، مما يتسبب في المجازفة بكافة أنماط الاستثمار – بما في ذلك في النُظم المركزية الواسعة النطاق لإدارة المياه العادمة، أو النُظم الأصغر حجماً، أو نُظم إدارة المياه العادمة في مواقع إنتاجها – ويهدد بضياعها.

الوعي العام والقبول الاجتماعي

يمكن أن تفشل خطط إعادة استخدام المياه إذا لم يأخذ القائمون على التخطيط عامل القبول الاجتماعي بعين الاعتبار كما ينبغي، حتى وإن كانت مشاريع استخدام المياه العادمة مصممة تصميماً جيداً من المنظور التقني، وممكنة من المنظور المالي، ومقترنة بتدابير السلامة المناسبة. ويواجه استخدام المياه العادمة عادة مقاومة شديدة من الناس بسبب تدني مستوى الوعي والافتقار إلى الثقة فيما يخص المخاطر على صحة الإنسان. وتُعد التوعية والتثقيف الوسيلتين الرئيسيتين للتغلب على العوائق الاجتماعية والثقافية والاستهلاكية. وينبغي إعداد حملات التوعية بطريقة ملائمة للمستهلكين على اختلاف مشاربهم الثقافية والدينية.

وينبغي أن تخضع المخاطر الصحية المرتبطة بإعادة استخدام المياه للتقييم والإدارة والرصد والإبلاغ بصورة منتظمة لكي يحظى إعادة استخدام المياه بقبول الناس، وللاستفادة من استخدام المياه العادمة على أفضل وجه ممكن، مع تقليل العواقب السلبية إلى أقل قدر ممكن. وفيما يتعلق بمياه الشرب (أي إعادة استخدام المياه الصالحة للشرب)، يتطلب الأمر تنظيم حملات إعلامية واسعة النطاق بغرض بناء الثقة بنظام إعادة استخدامها والتصدي لما يُسمى بعامل «الاشمئزاز».

الخاتمة

في عالم يتزايد فيه الطلب على المياه العذبة تزايداً متواصلاً، ويشتد فيه الضغط على الموارد المائية المحدودة بسبب الاستخراج المفرط والتلوث وتغيّر المناخ، يبدو إغفال الفرص التي يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة أمراً لا يمكن فعلاً تصوّره في سياق الاقتصاد التدويري.

المقدمة

البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية: ستيفان أولينبروك، وأنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، وريتشارد كونور

بمساهمات من: سارة مرجاني زاده (منظمة الأغذية والزراعة)

حالة موارد المياه:

التوافر والنوعية

جمع المياه من نهر في بور (جنوب السودان)

تعرض هذه المقدمة لمحة موجزة عن جانبين أساسيين لحالة الموارد المائية في العالم التي ترتبط مباشرة بالمياه العادمة: توافر المياه ونوعية المياه المحيطة. وبينما تُعد المياه العادمة المعالجة بشكل مناسب مورداً يمكن استخدامه لمعالجة النقص في إمدادات المياه، فإن مستوى معالجة المياه العادمة يؤثر بشكل مباشر على نوعية المياه المحيطة، مع ما يترتب على ذلك من آثار على توافر المياه. كما تعرض المقدمة الدوافع الخارجية التي ترسم الاتجاهات المستقبلية فيما يخص توافر المياه ونوعيتها، مع التركيز بشكل خاص على التفاعلات الديمغرافية وتغير المناخ.

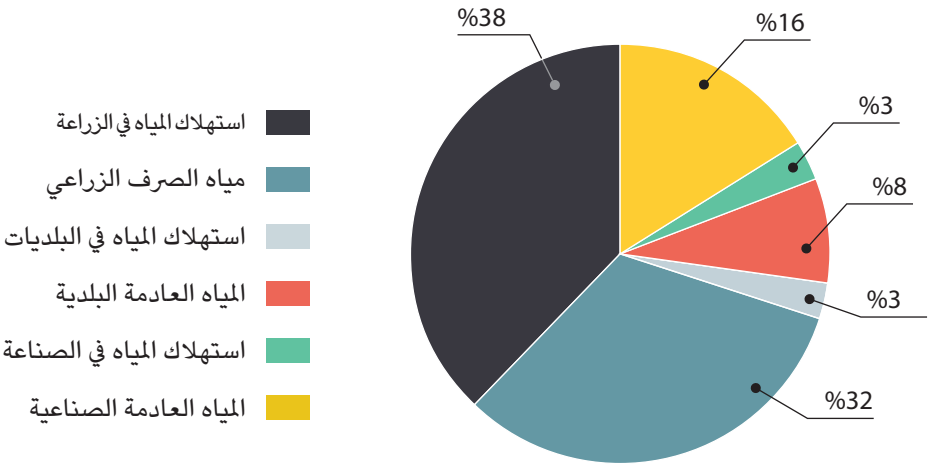
إنتاج ومعالجة المياه العادمة في العالم

على الرغم من عدم توافر الكثير من البيانات حول توليد المياه العادمة وجمعها ومعالجتها، فمن الواضح أنه لا يتم جمع أو معالجة غالبية المياه العادمة في جميع أنحاء العالم. وعلاوة على ذلك، فإن عملية جمع المياه العادمة في حد ذاتها لا تقترن بعملية المعالجة. ففي كثير من الحالات، يتم صرف المياه العادمة المجمعة مباشرة إلى البيئة دون أي معالجة. ولا يكاد يتم جمع مياه الصرف الزراعي أو حتى معالجتها، ولا توجد مقاييس عملية لهذه الأنواع من مياه الصرف المستعملة.

ويقدر النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة التابع لمنظمة الأغذية والزراعة (الفاو) عمليات سحب المياه العذبة عالمياً بمعدل 3928 كيلومتراً مكعباً في السنة. ويتم استهلاك ما يقدر بنحو 44% (أي 1716 كيلومتراً مكعباً في السنة) من هذه المياه في الزراعة من خلال التبخر في الأراضي الزراعية المروية. أما النسبة المتبقية البالغة 56% (2212 كيلومتراً مكعباً في السنة) فيتم تصريفها في البيئة كمياه عادمة على شكل مياه صرف صحي وصناعي وزراعي (انظر الشكل 1).

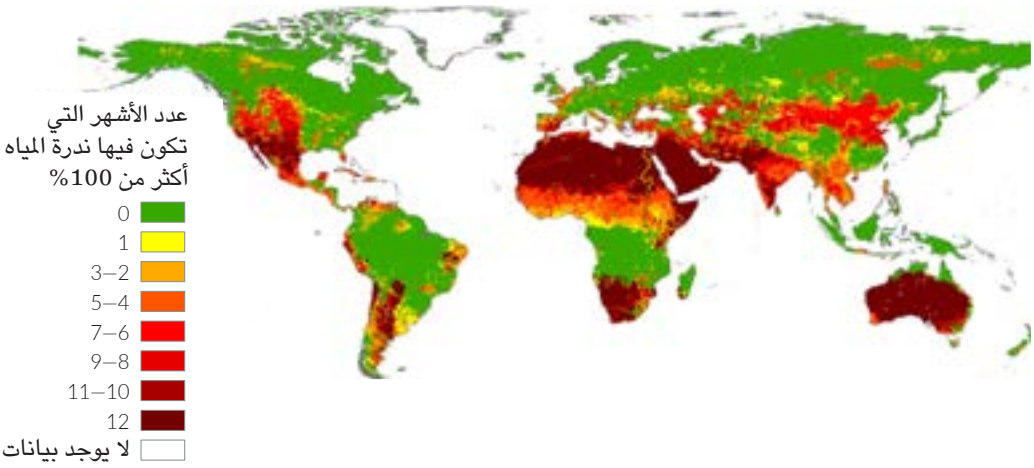
ويبيّن مستوى معالجة المياه العادمة الصناعية والبلدية في بلد ما مستوى دخلها. ففي المتوسط، تقوم البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع بمعالجة حوالي 70% من مياه صرفها الصحي، في حين أن هذه النسبة تنخفض إلى 38% في بلدان الشريحة العليا من الدخل المتوسط، و28% في بلدان الشريحة الدنيا من الدخل المتوسط، أما في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض، فإن 8% فقط من مياه الصرف الصحي والصناعي تخضع لمعالجة من أي نوع (Sato et al., 2013). ويؤدي ذلك إلى تفاقم حالة الفقراء، لا سيما في الأحياء الفقيرة، الذين غالبا ما يتعرضون مباشرة للمياه العادمة بسبب نقص المياه وخدمات الصرف الصحي.

الشكل 1 **سحب المياه العذبة: الاستهلاك العالمي وإنتاج المياه العادمة حسب القطاع الرئيسي لاستخدام المياه (حوالي عام 2010)**



المصدر: يعتمد على البيانات الواردة من النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة (بدون تاريخ أ)، Shiklomanov, (1999) و Mateo -Sagasta et al. (2015)، وبمساهمة من سارة مرجاني زاده (منظمة الأغذية والزراعة).

الشكل 2 **عدد الأشهر في السنة التي يتجاوز فيها حجم المياه السطحية والمياه الجوفية المسحوبة وغير المرتجعة 1.0 درجة على 30 × 30 دقيقة قوسية (1996-2005)***



*متوسط ربع سنوي لندرة المياه الزرقاء في كل شهر 30 × 30 دقيقة قوسية. يتم تعريف ندرة المياه على مستوى خلية الشبكة على أنها نسبة بصمة المياه الزرقاء داخل خلية الشبكة إلى مجموع المياه الزرقاء المتولدة داخل الخلية وتدفق المياه الزرقاء من خلايا المنبع. الفترة: 1996–2005.

المصدر: (Mekonnen and Hoekstra, 2016)، (الشكل 3، ص 3).

وتدعم هذه التقديرات التقريب الذي كثيراً ما يُستشهد به عالميّاً وهو أن أكثر من 80% من المياه العادمة يتم تصريفها إلى البيئة دون معالجة وافية (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية 2012؛ لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)).

ويبدو أيضاً أن هناك تبايناً كبيراً في مختلف المناطق. ففي أوروبا، يتم معالجة 71% من مياه الصرف الصحي ومياه الصرف الصناعي، بينما تتم معالجة 20% فقط في بلدان أمريكا اللاتينية. وفي منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، تتم معالجة ما يقدر بـ51% من مياه الصرف الصحي والصرف الصناعي. وفي البلدان الأفريقية، يشكل الافتقار إلى الموارد المالية اللازمة لتطوير مرافق مياه الصرف الصحي عائقاً رئيسياً في إدارة مياه الصرف الصحي، في حين أن 32 بلداً من أصل 48 من بلدان أفريقيا جنوب الصحراء لا تتوافر لديها بيانات عن توليد مياه الصرف الصحي (Sato et al., 2013).

إن معالجة المياه العادمة واستخدامها و/أو التخلص منها في المناطق الرطبة في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع (مثل أمريكا الشمالية، وأوروبا الشمالية، واليابان) تحكمها قواعد صارمة خاصة بتفريغ النفايات السائلة وكذلك الوعي العام بالجودة البيئية. ويختلف الوضع في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع في المناطق الأكثر جفافاً (مثل أجزاء من أمريكا الشمالية وأستراليا والشرق الأوسط وجنوب أوروبا)، حيث غالباً ما تستخدم المياه العادمة المعالجة لأغراض الري نظراً للتنافس المتزايد على المياه بين الزراعة والقطاعات الأخرى.

ويؤدي التوسع المستمر في الصرف الصحي وما يترتب على ذلك من زيادة في حجم المياه العادمة إلى الضغط على مرافق المعالجة القائمة، كما يمكن أن يؤدي في بعض الحالات إلى أداء دون المستوى الأمثل.

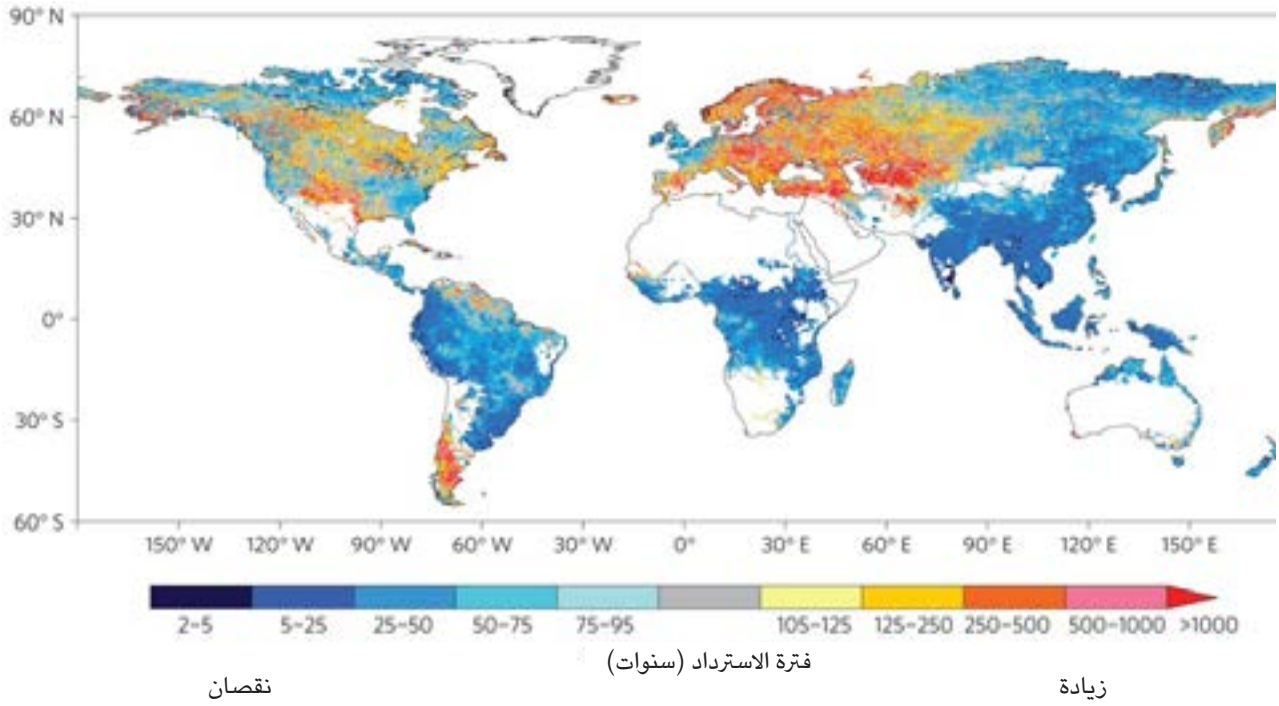
وحتى عندما يتم جمع ومعالجة المياه العادمة، قد تتأثر الجودة النهائية للمياه العادمة المنصرفة بسبب سوء التشغيل والصيانة، فضلاً عن طفح المياه خلال العواصف، عندما تتجاوز المياه العادمة محطات المعالجة. وبالتالي، فإن معظم المياه العادمة لا تعالج (أو لا تعالج بشكل وافٍ) ويتم تصريفها في مسطحات مائية، وبالتالي تؤثر على نوعية المياه (وتوافرها) للمستخدمين في المراحل النهائية.

توافر المياه في العالم - ندرة المياه تزداد بشدة عاماً بعد عام

تتجدد موارد المياه (السطحية والجوفية) من خلال دورة التبخر المستمرة وهطول الأمطار والصرف السطحي. وتكون دورة المياه مدفوعة بعوامل عالمية ومناخية تحدث تبايناً في هطول الأمطار وعملية التبخر، وهو ما يحدد بدوره أنماط الصرف السطحي وتوافر المياه على مدى المكان والزمان (الذي يشكله التخزين الطبيعي والاصطناعي). وتشير الملاحظات على مدار العقود الماضية والتوقعات من سيناريوهات تغير المناخ إلى تفاقم التغيرات المكانية والزمانية الخاصة بتفاعلات دورة المياه راجع (الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، 2013). ونتيجة لذلك، تزداد حدة التباينات في إمدادات المياه والطلب عليها.

وقد أظهرت الأبحاث الحديثة أن ثلثي سكان العالم يعيشون حالياً في مناطق تعاني من ندرة المياه لمدة شهر على الأقل في السنة

الشكل 3 **التغيرات المتوقعة في وتيرة الفيضانات ***



*يعني تغير فترة عودة الفيضانات المحتمل حدوثها مرة واحدة كل 100 عام. وتبين عمليات المحاكاة متوسط مخرجات 11 نموذجاً للحركة العامة في الغلاف الجوي في إطار السيناريو المستقبلي RCP 8.5 ويتم مقارنة الفرق بين الفترات 2071 -2100 و1971 -2000.

المصدر: (Hirabayashi et al.2013,). (الشكل 1 أ).

أعيد طباعته بإذن من ماكميلان للنشر المحدودة: تغير مناخ الطبيعة، 2013 ©.

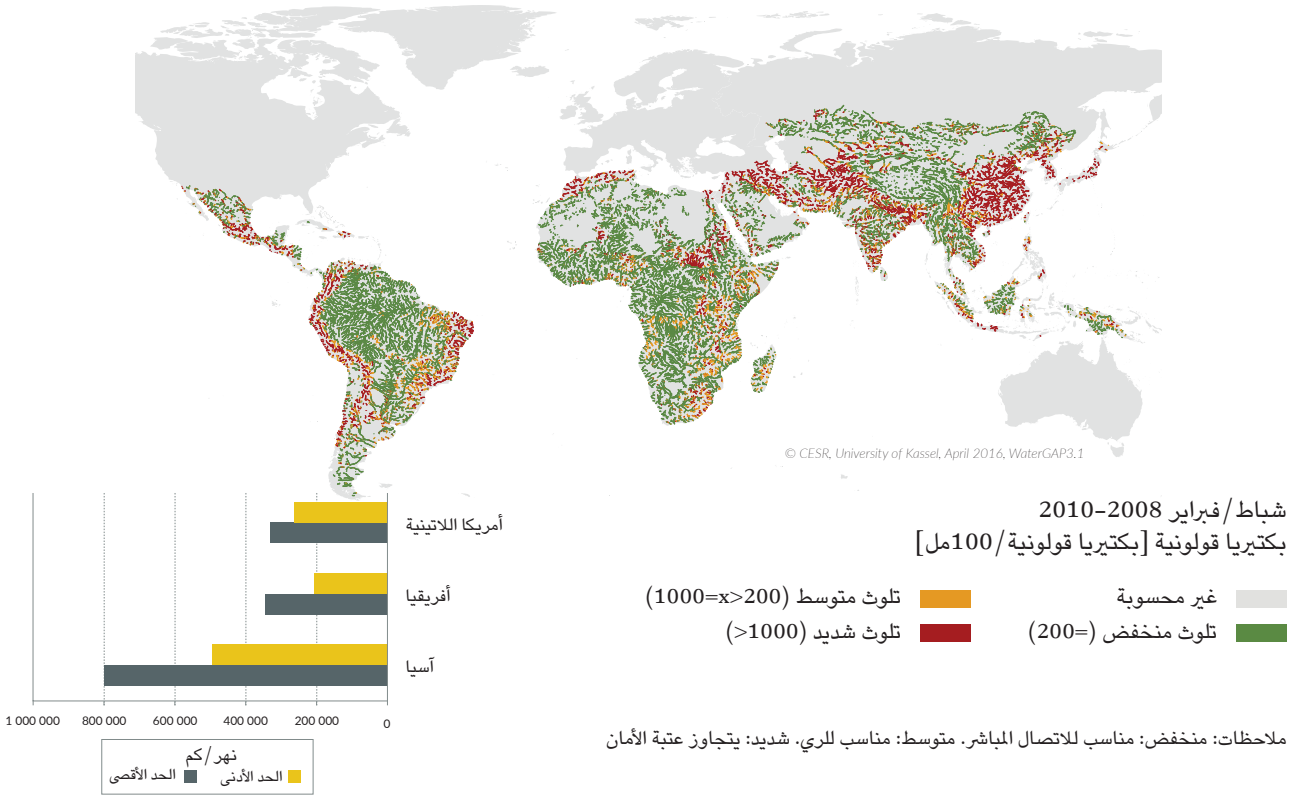
(انظر الشكل 2). ومن الجدير بالذكر أن حوالي 50% من أولئك الذين يواجهون هذا المستوى من ندرة المياه يعيشون في الصين والهند. ومن الضروري إجراء تقييم شهري لندرة المياه، نظراً لأن الإجهاد المائي الناجم عن فترات الجفاف يمكن إغفاله بالمتوسط السنوي لتوافر المياه. ويمكن تجميع التقييمات الشبكية، كما هو مبين في الشكل 2، بسهولة على نطاق البلد، وتوفير المزيد من المعلومات عن التباين داخل البلد. ويمكن أن يكون متوسط الأرقام مضللاً، لا سيما في البلدان ذات التنوع المكاني المميز لموارد المياه واستخداماتها، مثل أستراليا، والبرازيل، وشيلي، وروسيا، والولايات المتحدة الأمريكية.

يعيش نحو 500 مليون شخص في مناطق يتجاوز فيها استهلاك المياه موارد المياه المتجددة محليّاً (Mekonnen and Hoekstra, 2016). وهذا يشمل أجزاء من الهند والصين ومنطقة البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط وآسيا الوسطى وأجزاء من أفريقيا جنوب الصحراء وأستراليا ووسط وغرب أمريكا الجنوبية ووسط وغرب أمريكا الشمالية. أما المناطق التي لا تزال الموارد غير المتجددة (أي المياه الجوفية، والمياه التي لا يمكن أن تكون مصدراً مستداماً) تتناقص فيها، فقد أصبحت شديدة التأثر وتعتمد على نقل المياه من المناطق ذات المياه الوفيرة.

وعلى الرغم من أن الفيضانات وحالات الجفاف هي ظواهر طبيعية وجزء من التفاعلات المكانية والزمانية المتغيرة لدورة المياه، فقد تغيرت وتيرة وشدة الفيضانات وحالات الجفاف في كثير من أحواض الأنهار في جميع أنحاء العالم، وغالباً ما يرجع ذلك إلى مزيج من تغير المناخ والأنشطة البشرية. إن التغير في استخدام الأراضي، بما في ذلك التنمية العمرانية، وتوسيع أو تعميق مجرى الأنهار، وكذلك الأنشطة البشرية الأخرى، كل ذلك يؤدي إلى تعديل السعة التخزينية لمستجمعات المياه ويؤثر كذلك على التدفقات الكبيرة للمياه، فضلاً عن تغذية المياه الجوفية وتدفقاتها المنخفضة. ويمكن أن تؤدي عمليات تغيير سعة التخزين وتوليد مياه الصرف السطحي إلى زيادة حدوث الكوارث المتعلقة بالمياه. ومن المرجح أن تتغير وتيرة الفيضانات (Hirabayashi et al., 2013) وحالات الجفاف (الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، 2013) مع ارتفاع درجات الحرارة. وتظهر نتائجُ مجموعةٍ من التوقعات (انظر الشكل 3) زيادة كبيرة في وتيرة الفيضانات (ممثلة في المناطق الزرقاء، حيث يزداد تواتر الفيضانات المحتمل حدوثها مرة واحدة كل 100 عام) في العديد من المناطق، بما في ذلك الهند وجنوب شرق آسيا ووسط وشرق أفريقيا، بينما في مناطق أخرى ينخفض معدل الفيضانات المتوقع (ممثلة بالمناطق الصفراء/الحمراء).

إن وجود كميات كبيرة جداً من المياه (في حال الفيضانات) أو القليل جداً منها (في حال الجفاف)، والتي غالباً ما تكون مصحوبة بمياه قذرة (حيث تكون هناك تركيزات أعلى للتلوث

الشكل 4 التركيزات التقديرية للبكتيريا القولونية البرازية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (شباط/فبراير 2008-2010)*



ملاحظات: منخفض: مناسب للاتصال المباشر. متوسط: مناسب للري. شديد: يتجاوز عتبة الأمان

* تظهر الرسوم البيانية الحد الأدنى والحد الأقصى للتقديرات الشهرية لمساحات الأنهار في فئة التلوث الشديد في كل قارة في الفترة من 2008 إلى 2010.

المصدر: برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2016، الشكل 3.3، الصفحة 20).

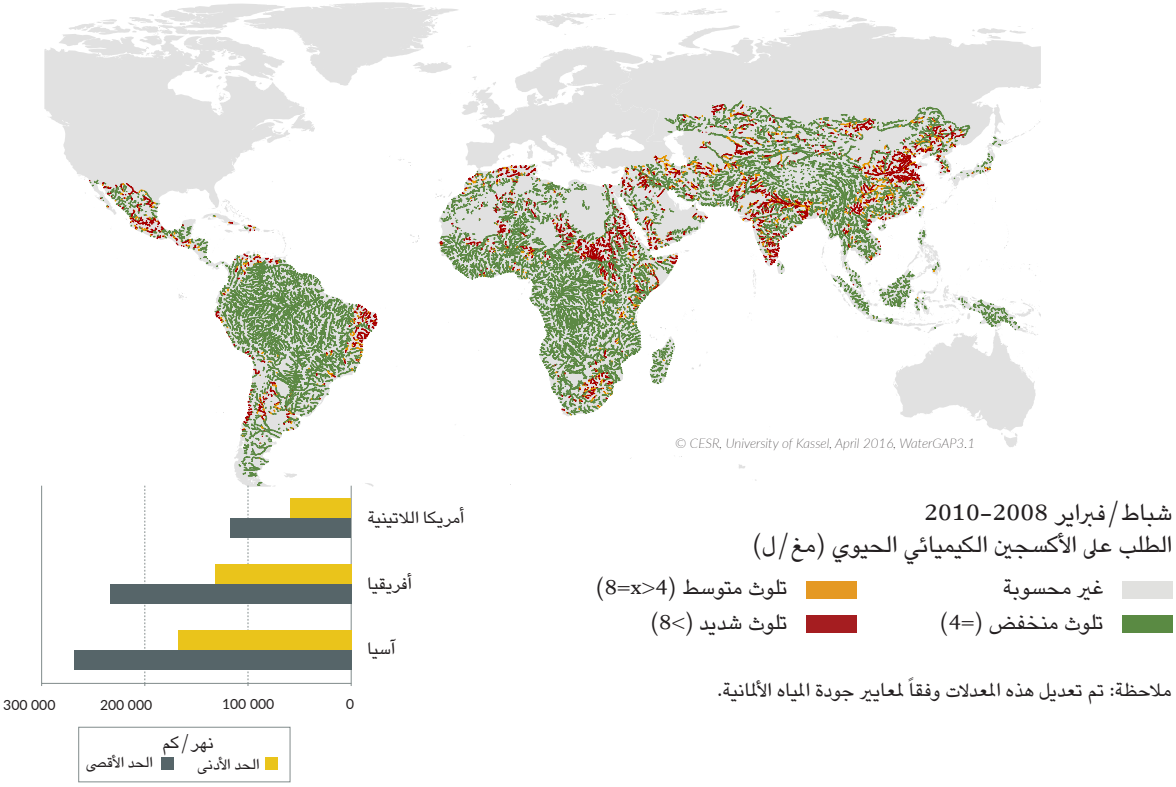
في كلتا الحالتين)، يجعل من الضروري التوسع في استخدام مياه الصرف الصحي.

ويمكن أن تزداد التكاليف الاقتصادية الناجمة عن فيضانات الأنهار في جميع أنحاء العالم بمقدار عشرين ضعفاً بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين وذلك إذا لم تتخذ إجراءات أخرى بشأن الحد من مخاطر الفيضانات. ويمكن أن يُعزَى أكثر من 70% من هذه الزيادة إلى النمو الاقتصادي في المناطق المعرضة للفيضانات، بالإضافة إلى تغير المناخ (Winsemius et al., 2016). وتستشهد منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (2015 (أ)) بسيناريوهات مناخية استناداً إلى نماذج (Winsemius and Ward, 2015)، مما يدل على أن الأضرار الناجمة عن الفيضانات في المناطق الحضرية قد تصل إلى 0.7 -1.8 تريليون دولار في السنة بحلول عام 2080.

وعلى الصعيد العالمي، يمكن القول بأن الجفاف هو أكبر تهديد ينجم عن تغير المناخ، ولكن على الصعيد المحلي يعتبر ارتفاع مستوى سطح البحر (الذي يؤثر على المناطق الساحلية) أو التهديدات الأخرى أكثر خطورة (على سبيل المثال المناطق المعرضة بشدة للفيضانات أو الانهيارات الأرضية). يمكن أن تكون آثار الجفاف كبيرة جداً من منظور اجتماعي – اقتصادي وبيئي. وتتراوح آثاره بين انخفاض الإنتاجية الزراعية وتعطل أداء النظام الإيكولوجي، فضلاً عن زيادة أسعار المواد الغذائية، في حين أن انعدام الأمن والمجاعة قد يؤديان إلى حدوث هجرات جماعية. وقد اندلعت الأزمة في سوريا بسبب عوامل من بينها حدوث جفاف تاريخي في الفترة 2007–2010، حيث شهدت البلاد سقوط أمطار قليلة في فصل الشتاء (جزئياً بسبب تغير المناخ)، مما جعل الزراعة مستحيلة على نحو 60% من الأراضي الزراعية، على الرغم من مستوى المعرفة والتكنولوجيا التي كانت متاحة وقتها. وقد تأثر الآلاف من المزارعين في معيشتهم بسبب ذلك، مما أدى إلى موجات نزوح من الريف إلى الحضر مصحوبة بزيادة الاعتماد على الواردات الغذائية وارتفاع أسعار المواد الغذائية وإنشاء مستوطنات عشوائية وانتشار البطالة والاضطرابات الاجتماعية. ونتيجة لذلك، بدأت حركة هجرة واسعة النطاق بسبب اندلاع الحرب الأهلية وأسباب أخرى (Kelley et al., 2015). وتشمل بعض التدابير الرامية إلى زيادة القدرة على الصمود أمام أحداث الجفاف قبول المياه العادمة كمصدر مائي موثوق من أجل الزراعة والعديد من الاستخدامات الأخرى.

ومن المتوقع أن يزداد الطلب العالمي على المياه بشكل كبير على مدار العقود المقبلة. وبالإضافة إلى الطلب من قبل القطاع الزراعي، وهو المسؤول حالياً عن 70% من عمليات استخلاص

الشكل 5 التركيزات التقديرية للطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (شباط/فبراير 2008 –2010)*



ملاحظة: تم تعديل هذه المعدلات وفقاً لمعايير جودة المياه الألمانية.

* تظهر الرسوم البيانية الحد الأدنى والحد الأقصى للتقديرات الشهرية لمساحات الأنهار في فئة التلوث الشديد في كل قارة في الفترة من 2008 إلى 2010.

المصدر: برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2016، الشكل 3-13، الصفحة 33).

المياه في جميع أنحاء العالم، يتوقع حدوث زيادة كبيرة في طلب المياه من قبل قطاع الصناعة وإنتاج الطاقة (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2015). وسوف يزداد الأمر سوءاً إذا ما تم تغيير أنماط الاستهلاك، بما في ذلك توجيه النظم الغذائية إلى الاعتماد على الأغذية التي تُستخدم معها المياه بشكل كبير مثل اللحوم (أي استخدام 15000 لتر من الماء لكل كيلوغرام واحد من لحم البقر). ولذلك، ليس من المستغرب أن يقوم المنتدى الاقتصادي العالمي بتقييم أزمة المياه على نحو متواصل باعتبارها أحد المخاطر العالمية الرئيسية على مدار السنوات الخمس الماضية. ففي عام 2016، تم تحديد أزمة المياه على أنها الخطر العالمي الذي يثير أكبر قدر من القلق لدى الناس والاقتصادات على مدار العشرة أعوام القادمة (المنتدى الاقتصادي العالمي، 2016).

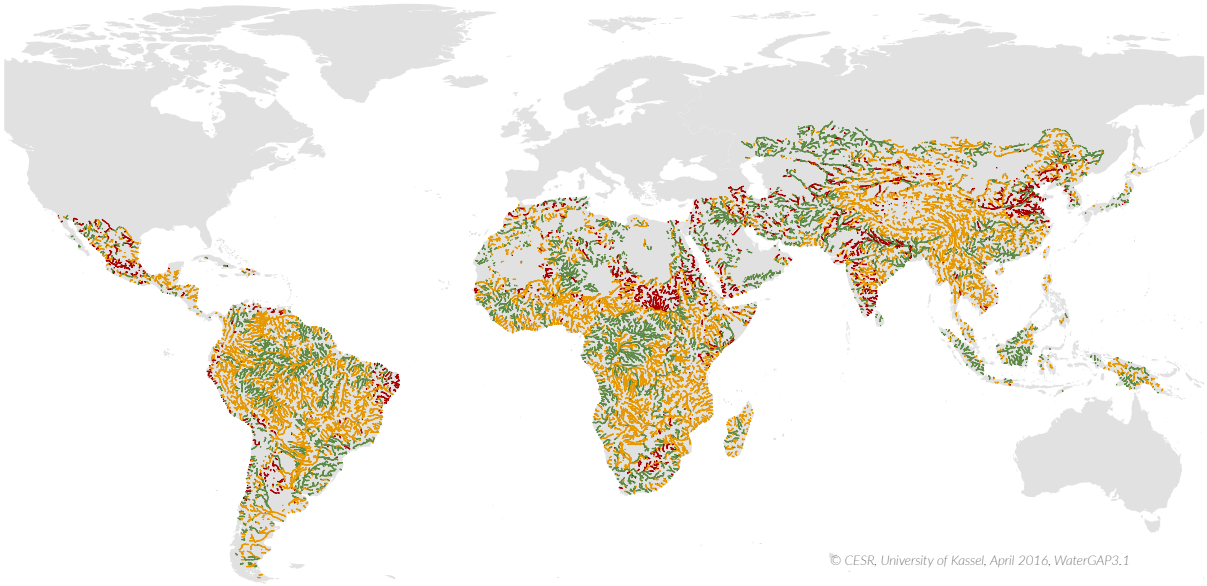
نوعية المياه المحيطة[1]

يرتبط توافر الموارد المائية ارتباطاً جوهرياً بنوعية المياه. وقد يؤدي تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية إلى حظر استخداماتها المختلفة في غياب المعالجة المسبقة ذات التكلفة العالية. ومن المتوقع أن يزداد التدهور في نوعية المياه في العقود المقبلة، وخاصة في البلدان فقيرة الموارد في المناطق الجافة، مما سيعرض الصحة البشرية والبيئة للخطر، ويقيد التنمية الاقتصادية المستدامة (فيوليا/المعهد الدولي لبحوث سياسات الأغذية، 2015). ويؤدي صرف المياه العادمة غير المعالجة من المستوطنات البشرية المتزايدة وزيادة الإنتاج الصناعي إلى إحداث تلوث مادي وكيميائي وبيولوجي يؤثر على صحة الإنسان والبيئة.

وتستخدم القولونيات البرازية، التي تنشأ من الفضلات البشرية والحيوانية، كمؤشر على وجود جميع مسببات الأمراض المحتملة في المياه السطحية. وتبين النتائج المبكرة للبرنامج العالمي لرصد جودة المياه أن التلوث الشديد بمسببات المرض يؤثر على حوالي ثلث مساحات الأنهار في كلّ من أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (انظر الشكل 4)، مما يعرض صحة الملايين من البشر للخطر (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2016). وعلى الرغم من زيادة تغطية الصرف الصحي وتحسن مستويات المعالجة في بعض البلدان (اليونيسف ومنظمة الصحة العالمية، 2015)، فإن مثل هذه التحسينات يجب أن تحدث بشكل متزامن من أجل تجنب زيادة الحمولات الملوثة. وقد يفسر ذلك زيادة حمولات البكتيريا

1 يستند هذا القسم بشكل كبير على تقرير الـSnapshot (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2016) ، الذي يقدم لمحة شاملة عن نوعية المياه الحالية.

الشكل 6 **الاتجاه إلى تركيزات الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي في الأنهار في الفترة بين 1990-1992 و2008-2010***



*مساحات الأنهار ذات اللون البرتقالي أو الأحمر بها تركيزات متزايدة بين هاتين الفترتين. ومساحات الأنهار ذات اللون الأحمر بها «اتجاه متزايد يحظى باهتمام خاص» مما يعني أنه في هذه المساحات ارتفع مستوى التلوث إلى فئة التلوث الشديد في الفترة 2008–2010، أو أنها كانت بالفعل في فئة التلوث الشديد في الفترة 1990–1992، وزاد تركيزها في الفترة 2008–2010.

المصدر: برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2016، الشكل 3-15، الصفحة 34).

> على الصعيد العالمي، من المرجح أن أكثر من 80% من المياه العادمة يتم صرفها إلى البيئة دون معالجة وافية

القولونية البرازية التي لوحظت في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية خلال العقدين الماضيين.

ويمكن أن يكون للتلوث العضوي (الذي يقاس من حيث الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي) آثار كبيرة على مصايد الأسماك الداخلية والأمن الغذائي وسبل العيش، مما يؤثر بشدة على المجتمعات الريفية الفقيرة التي تعتمد على مصايد المياه العذبة. ويؤثر التلوث العضوي الشديد بالفعل على حوالي سُبع مساحات الأنهار في كل من أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (انظر الشكل 5)، وقد تزايد هذا التلوث بشكل مطرد على مدار السنوات الماضية (انظر الشكل 6) (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2016).

ويمكن أن يؤدي صرف العناصر المغذية (النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم) والمواد الكيماوية الزراعية من الزراعة المكثفة والنفايات الحيوانية إلى تسريع إغناء المياه العذبة والنظم الإيكولوجية الساحلية وزيادة تلوث المياه الجوفية. لقد شهدت معظم البحيرات الكبيرة في أمريكا اللاتينية وأفريقيا زيادة في كميات الفسفور الناشئة عن أنشطة بشرية، والتي يمكن أن تسرع من عمليات الإغناء بالعناصر المغذية.

ومن شأن زيادة تصريف المياه العادمة غير المعالجة على نحو واف، والناجمة عن التنمية الاقتصادية والصناعية، وتكثيف الزراعة وتوسيع نطاقها، وتزايد أحجام مياه المجارير في المناطق سريعة التحضر، أن تسهم في زيادة تدهور نوعية المياه السطحية والجوفية في جميع أنحاء العالم. وبما أن تلوث المياه يؤثر تأثيراً حاداً على توافرها، فإنه يلزم إدارة المياه على نحو سليم من أجل التخفيف من آثار زيادة ندرة المياه.

الجزء الأول

خط الأساس والسياق

الفصل الأول: مقدمة

الفصل الثاني: المياه العادمة وخطة التنمية المستدامة

الفصل الثالث: الحوكمة

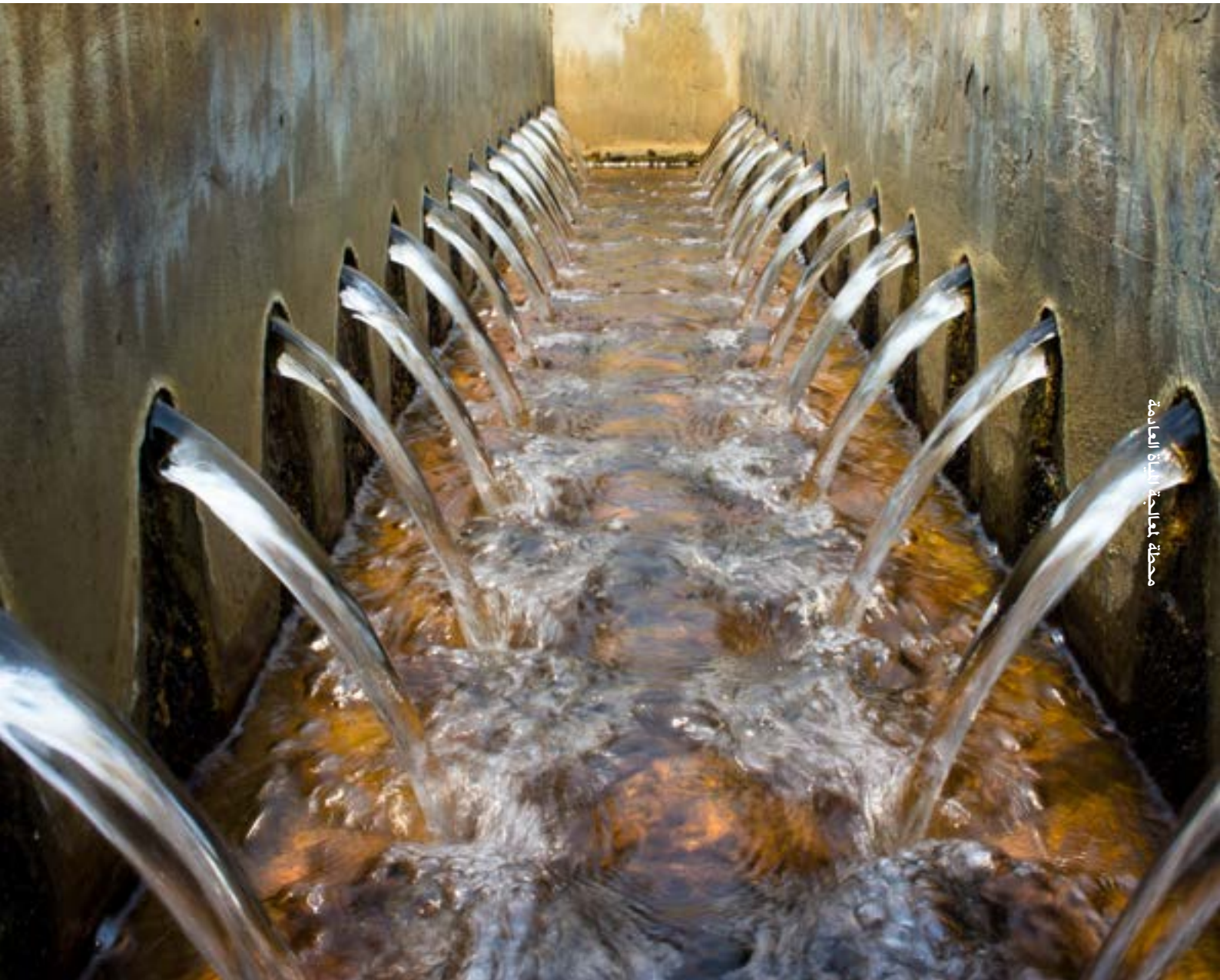
الفصل الرابع: الجوانب التقنية للمياه العادمة

الفصل الأول

البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية: ريتشارد كونور، أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، إنجين كونكاغول، وستيفان يولينبروك

بمساهمات من: بيرغوي م. لاميزانا – ديالو (برنامج الأمم المتحدة للبيئة)؛ سارة مرجاني زاده (منظمة الأغذية والزراعة)؛ ومنظور قادر (معهد المياه والبيئة والصحة التابع لجامعة الأمم المتحدة)

مقدمة



محطة لمعالجة المياه العادمة

يعرض هذا الفصل التمهيدي من التقرير القضايا والتحديات الرئيسية المتعلقة بإدارة المياه العادمة في السياق الأوسع لإدارة الموارد المائية، حيث تكمن أهمية المياه العادمة في كونها مورداً مهملاً ولكنه قيّم، خاصة في ظل ظروف ندرة المياه.

تشكل المياه العادمة عنصراً مهماً في دورة المياه، وهي تحتاج إلى أن تُدار خلال جميع مراحل دورة المياه: بدءاً من استخراج المياه العذبة، ومروراً بمراحل المعالجة والتوزيع والاستخدام والتجميع ومرحلة ما بعد المعالجة لإعادة استخدامها، ثم عودتها للبيئة في النهاية، حيث تشكل مصدراً جديداً لاستخراج المياه مرة أخرى (انظر الشكل 1-1). غير أن الاهتمام بإدارة المياه بعد استخدامها كثيراً ما كان أمراً مهملاً في دورة إدارة المياه. ولا تلقى إدارة المياه العادمة عموماً اهتماماً اجتماعياً وسياسياً يُذكر بالمقارنة مع تحديات إمدادات المياه، ولا سيما في ظل ندرة المياه. ومع ذلك، فإن كلا الأمرين يرتبطان ارتباطاً جوهرياً ببعضهما - إذ إن إهمال المياه العادمة يمكن أن تكون له آثار ضارة للغاية على استدامة إمدادات المياه وصحة الإنسان والاقتصاد والبيئة.

ولا تزال المياه العادمة مورداً لا يُقدر حق قدره وكثيراً ما يُنظر إليها على أنها عبء يتعين التخلص منه أو مصدر إزعاج ينبغي تجاهله. ويحتاج هذا التصور لأن يتغير كي يعكس قيمة المياه العادمة بشكل صحيح - فالمياه العادمة تُشكل مصدراً مُحتملاً ميسور التكلفة ومستداماً للمياه والطاقة والعناصر المغذية والمواد العضوية وغيرها من المنتجات الثانوية المفيدة. إن تحسين إدارة المياه العادمة، بما في ذلك استرداد المياه وإعادة استخدامها بشكل آمن وغيرها من المكونات الرئيسية، يوفر قدراً كبيراً من الفرص، وهذا أمر حقيقي خصوصاً في سياق اقتصاد دائري[2]، حيث تتوازن التنمية الاقتصادية مع حماية الموارد والاستدامة البيئية، وحيث يكون للاقتصاد الأنظف والأكثر استدامة تأثير إيجابي على نوعية المياه.

ويمكن تعريف المياه العادمة، التي يُشار إليها أيضاً بـ«المياه المستعملة» أو «النفايات السائلة»، بعدة طرق مختلفة. وبهذا، لا يوجد تعريف أوحد مقبول عالمياً لهذا المصطلح. على سبيل المثال، تم تعريف المياه العادمة بأنها «المياه التي تم استخدامها وتحتوي على نفايات ذائبة أو عالقة» (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، بدون تاريخ أ)، أو «المياه التي تأثرت نوعيتها سلباً بسبب الأنشطة البشرية» (Culp and Culp, 1971 ص 614). كما أن مصطلح المياه العادمة يُعادل مصطلح مياه المجارير، مما يعني أن التعريف يقتصر على المياه المستعملة (من مصادر منزلية أو صناعية أو منشآت) التي تحملها المجاري، وبالتالي يُستبعد الصرف السطحي غير المجمع من المستوطنات الحضرية والنظم الزراعية. ومع ذلك، وبما أن الصرف السطحي الحضري والزراعي يمكن أن يكون ملوثاً بشكل كبير (ويُحتمل أن يختلط بمجاري مياه عادمة أخرى)، فهو أيضاً أحد العناصر المهمة في دورة إدارة المياه العادمة.

يتبنى هذا التقرير تعريفاً واسعاً وشاملاً للمياه العادمة، تم اقتباسه من(Raschid -Sally and Jayakody, 2008) والذي يُستخدم بشكل ملحوظ في وثيقة «المياه المريضة» التي أعدها برنامج الأمم المتحدة للبيئة، وبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، (Corcoran et al., 2010). والموجز التحليلي الذي أعدته لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية بشأن إدارة المياه العادمة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)).

> *تعتبر **المياه العادمة** خليطاً يضم واحداً أو أكثر مما يلي: النفايات المنزلية السائلة المكوّنة من العادم المائي الأسود (الإفرازات والبول وحمأة الغائط)، والعادم المائي الرمادي (مياه الصرف من المطابخ والمراحيض)؛ ومياه الصرف من المنشآت والمؤسسات التجارية بما فيها المستشفيات؛ والنفايات الصناعية السائلة؛ ومياه الأمطار وسواها من مياه صرف المناطق الحضرية؛ والنفايات السائلة من الزراعة والبَسْتَنَة وتربية الأحياء المائية؛ (Raschid -Sally and Jayakody, 2008, p. 1).*

2 التعريف الوارد في مسرد المصطلحات – (الملحق 1).

ومن الصعب أيضاً تعريف عدة مصطلحات أخرى ذات صلة. على سبيل المثال، استُخدمت مصطلحات «المعاد استخدامها» و«المعاد تدويرها» و«المنقّاة» في بعض الحالات كمترادفات، بينما في حالات أخرى كان لكلٍّ منها تعريفه المحدد – وإن كان بطرق مختلفة.

وتعبّر المصطلحات المستخدمة في هذا التقرير عن التعاريف المعتمدة في سياق خطة التنمية المستدامة لعام 2030 (انظر الفصل الثاني) والعديد من «المعايير» الدولية الأخرى. ويرد وصف هذه المصطلحات في المعجم (انظر الملحق 1). ولسوء الحظ، فإن هذه المصطلحات لا تميز دائماً بين المياه العادمة المعالجة أو المعالجة جزئياً أو غير المعالجة، وهي معلومات أساسية في سياقات عدة. ولذلك، بُذلت محاولات في هذا التقرير من أجل تحديد «المستوى» الحالي أو المطلوب من المعالجة عند الاقتضاء. غير أنه من المهم الاعتراف بالمعضلة القائمة التي تتعلق بمصطلحات متعددة وكذلك الاعتراف بأنه لا بد من بذل الجهود لوضع مجموعة واضحة من التعاريف من أجل ضمان الاتساق في الرصد والإبلاغ فيما يتعلق بالمياه العادمة. وهذا أمر بالغ الأهمية في اختيار المؤشرات المناسبة (انظر، على سبيل المثال، الإطار 1-1: المصطلحات «آمنة» و«مُحسّنة» في سياق الأهداف الإنمائية للألفية (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2015، ص 15).

الإطار 1-1 النُظم التاريخية للمياه العادمة: حالة روما القديمة

لقد مورست إدارة المياه العادمة منذ عدة آلاف من السنين، وتطورت وتحسنت عبر تاريخ البشرية. فعلى سبيل المثال، قام الإتروسكانيون بإنشاء قنوات لجمع التدفقات المائية المختلفة، وقام الرومان بتطبيق هذه الأساليب في وقت لاحق، وقاموا بتحسينها وتكييفها مع احتياجاتهم.

تم بناء أول نظام صرف مجاري في روما القديمة من قبل «تاركينيوس سوبيربوس» في حوالي القرن السابع قبل الميلاد. وتألف هذا النظام من قناة مكشوفة لسحب المياه من الأهوار في الجزء السفلي من وديان التلال السبعة (وهي الأراضي الصالحة للسكن في ذلك الوقت) ونقلها إلى نهر التيبر. ثم تطورت أنظمة الصرف هذه ببطء، وبنى الرومان في نهاية المطاف نظاماً معقداً من المجاري التي تغطيها الحجارة، على غرار المصارف الحديثة. وكان يتم صرف فضلات المراحيض إلى نظام مياه المجارير الرئيسي، ثم تمر عبر قناة مركزية حتى تصل إلى أقرب نهر أو جدول ماء.

وكان الجزء الأكثر تطوراً من نظام مياه المجارير الروماني هو نظام كلوكا ماكسيما المُغطى، وهو الأكبر بين مختلف مستجمعات المياه العادمة. وقد بُني هذا النظام لأول مرة كقناة مفتوحة للمياه العذبة، ثم تحولت تلك القناة في حوالي القرنين الأول والثاني قبل الميلاد إلى نفق ضخم تحت الأرض له جدران ذات أحجار مسامية وأقبية.

ويعتبر نظام «كلوكا ماكسيما»، الذي عُرف باسم «أكبر المجاري» (وهي الترجمة الحرفية لاسمه) في روما، تحفة من الهندسة الهيدروليكية والمعمارية. وهو واحد من أكثر أعمال الصرف الصحي إبهاراً في العالم القديم، حيث قام بتوفير الصرف اللازم لإنشاء المنتدى الروماني وأصبح جزءاً أساسياً من شبكة الصرف الصحي التي قدمت خدمات صحية إلى التلال حول روما. ويُظهر نقش لبيرانيسي هذا النظام الشبكي كما بدا في عام 1778، حيث كان يتم صرف المياه العادمة إلى نهر التيبر بالقرب من بونتي بالاتينو.

ومع ذلك، أصبح نهر التيبر في نهاية المطاف ملوثاً للغاية، مما خلق مشكلة حادة للرومان الذين كانوا يستخدمون مياه النهر لأغراض الشرب والطهي والغسيل وغيرها من الأغراض. ولم يكن صرف المجاري في مصب المدينة كافياً لضمان جودة المياه في المنبع. وعلاوة على ذلك، ولأن نظام الصرف الصحي كان ينقل مياه المجارير ومياه الصرف السطحي الحضرية (أي «نظام صرف صحي مشترك»)، فقد كان ذلك يُسبب حدوث ارتداد من الفتحات الكبيرة على طول الشوارع في كثير من الأحيان أثناء هطول الأمطار بكثافة، مما يعرض الرومان إلى مياه المجارير الخام.

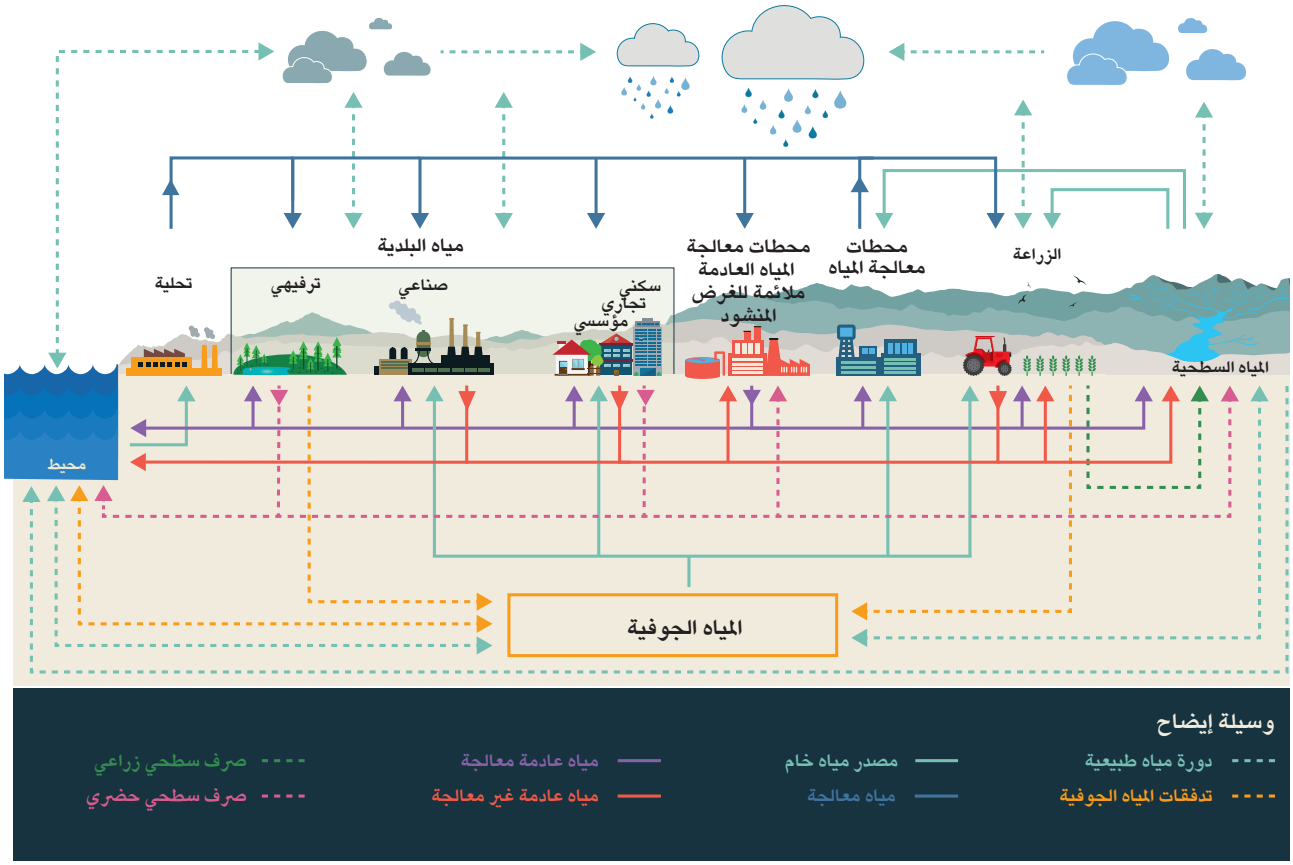
ولتصريف مياه الأمطار من الشوارع إلى نظام «كلوكا»، قام الرومان ببناء مصارف دائرية خاصة على شكل أقنعة كبيرة، تمثل آلهة النهر وهي تبتلع الماء (ربما كان تمثال «فم الحقيقة» الشهير واحداً من هذه الآلهة). ومن السمات المميزة الأخرى لنظام المجارير الروماني تلك الرسوم التي كانت تُطلب لاستخدام المراحيض العامة أو استئجار الغرف، مما يجعلها واحدة من أولى الأمثلة في التاريخ على نظام يدفع فيه المستخدم رسوماً مقابل خدمات الصرف الصحي.

وقد أدت دراسة عام 1889 حول «كلوكا ماكسيما» وبعض المجاري الأخرى إلى ترميم أجزاء تم ربطها بنظام الصرف الصحي «الحديث» واستخدامها في مشروع لا يزال يفيد روما حتى يومنا هذا.

المصادر: Ammerman (1990); Bauer (1993); Narducci (1889); Lanciani (1890); and Bianchi (2014).

بمساهمة من كيارا بيسكاريني ولوسيو أوبرتيني (اليونسكو – البرنامج المائي الدولي – إيطاليا).

الشكل 1-1 المياه العادمة في دورة المياه



المصدر: البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية.

ومن الناحية التاريخية، استُخدمت المياه السطحية كوسيلة للتخلص المباشر من المياه العادمة وغيرها من أشكال النفايات، وتلوث المسطحات المائية في اتجاه التيار من المدن والبلدات والقرى (انظر الإطار 1-1). وقد تقلصت هذه العادة في معظم البلدان المتقدمة منذ أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين مع تطوير نظم جمع ومعالجة المياه العادمة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (أ)) والتقدم المحرز في إدارة النفايات الصلبة، مما أدى إلى فوائد صحية عامة كبيرة. ومع ذلك، لا يزال تصريف المياه العادمة غير المعالجة إلى البيئة أمراً شائعاً، لا سيما في البلدان النامية، مما يترك آثاراً مباشرة على صحة الإنسان (مع وجود مخاطر أكبر على النساء بشكل خاص)، والبيئة والإنتاجية الاقتصادية (انظر الجدول 1-1).

ومع وجود القليل من المياه العادمة التي تخضع للمعالجة، وحتى المياه الأقل استخداماً بعد المعالجة، لا تزال هناك فرصة هائلة لإعادة استخدام المياه المعالجة بطريقة مستدامة، واستخراج بعض المنتجات الثانوية القابلة للاسترداد والتي تحتوي عليها تلك المياه. وفي ظل ظروف تتوفر فيها السيطرة المناسبة، يوفر استخدام المياه العادمة غير المعالجة أيضاً إمكانات كبيرة لتخفيف العبء على إمدادات المياه العذبة السطحية والجوفية، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، والمناطق الأخرى التي تعاني من ندرة المياه المزمنة أو المتكررة.

1-1 تدفقات المياه العادمة

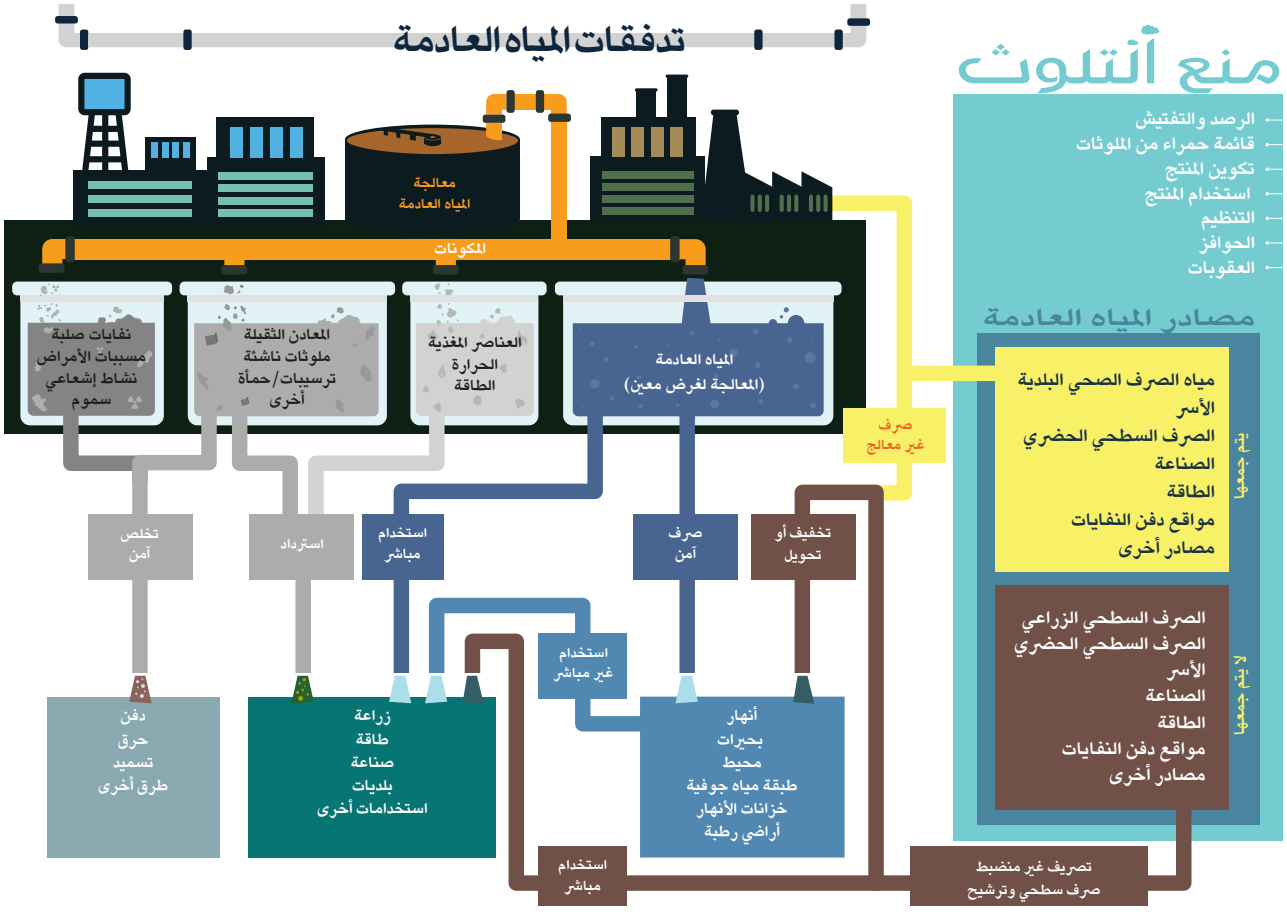
تتنوع المياه العادمة كتنوع مصادرها وأنواع المكونات التي تحتويها. وتعتبر هذه المكونات جزءاً من وظائف المياه العادمة. ويقدم الشكل 1-2 نظرة عامة على التدفقات الرئيسية للمياه العادمة، بدءاً من توليدها عند المصدر وحتى وجهتها النهائية. وتنتهي المياه العادمة غير المجمعة (وجميع مكوناتها) إلى البيئة المائية في نهاية المطاف. وهذا هو الحال أيضاً بالنسبة للمياه العادمة التي يتم جمعها والتخلص منها دون معالجة، والتي يمكن أن تكون نسبتها كبيرة في بعض الحالات (انظر الشكلين 4-4 و4-5). وتسمح معالجة المياه العادمة بفصل المياه عن المكونات الأخرى، والتي يمكن بعد ذلك إعادة استخدامها أو التخلص منها.

الجدول 1-1 أمثلة على الآثار السلبية للمياه العادمة غير المعالجة على صحة الإنسان والبيئة والأنشطة الإنتاجية

الآثار على	أمثلة على الآثار
الصحة	• زيادة عبء المرض بسبب انخفاض جودة مياه الشرب • زيادة عبء المرض بسبب انخفاض جودة مياه الاستحمام • زيادة عبء المرض بسبب الأغذية غير الآمنة (الأسماك والخضراوات الملوثة والمنتجات الأخرى المروية) • زيادة مخاطر الأمراض عند العمل أو اللعب في المناطق المروية بمياه عادمة
البيئة	• تناقص التنوع البيولوجي • تدهور النظم الإيكولوجية المائية (مثل الإغناء بالعناصر المغذية والمناطق الميتة) • الروائح الكريهة • تقلص الفرص الترفيهية • زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري • ارتفاع درجة حرارة المياه • التراكم البيولوجي للسموم
الاقتصاد	• انخفاض الإنتاجية الصناعية • انخفاض الإنتاجية الزراعية • انخفاض القيمة السوقية للمحاصيل في حالة استخدام مياه عادمة غير آمنة في الري • تقليل فرص الأنشطة الترفيهية المائية (انخفاض عدد السياح أو انخفاض الرغبة في الدفع مقابل الخدمات الترفيهية) • انخفاض مصايد الأسماك والمَحّار، أو انخفاض القيمة السوقية للأسماك والمَحّار • زيادة العبء المالي على الرعاية الصحية • زيادة العقبات أمام التجارة الدولية (الصادرات) • ارتفاع تكاليف معالجة المياه (للإمدادات البشرية والاستخدامات الأخرى) • انخفاض أسعار العقارات القريبة من المسطحات المائية الملوثة

المصدر: مقتبس من برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2015 (ب)، الجدول 1، الصفحة 15).

الشكل 1-2 تدفقات المياه العادمة



المصدر: البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية.

1-1-1 دورة إدارة المياه العادمة

إن التحكم في تدفقات المياه العادمة المختلفة وتنظيمها هو الغرض النهائي من إدارة المياه العادمة. ويمكن تقسيم دورة إدارة المياه العادمة إلى أربع مراحل أو خطوات أساسية مترابطة:

(أ) **منع التلوث عند المصدر أو الحد منه، من حيث عبء التلوث وحجم المياه العادمة المُنتَجة.** حظر استخدام بعض الملوثات أو التحكم فيها لمنع أو تقليل دخولها في مجاري المياه العادمة من خلال الوسائل التنظيمية والتكنولوجية و/أو غيرها. وتشمل هذه الخطوة أيضاً تدابير للحد من كميات المياه العادمة التي يتم توليدها (مثل إدارة الطلب وزيادة كفاءة استخدام المياه).

(ب) **إزالة الملوثات من مجاري المياه العادمة.** أنظمة التشغيل (بما في ذلك البنية التحتية الخاصة بعملية التجميع) وعمليات المعالجة التي تزيل مختلف مكّونات المياه العادمة (أي الملوثات) بحيث يمكن استخدامها بأمان أو إعادتها إلى دورة المياه بالحد الأدنى من الآثار البيئية. وهناك عدة أنواع ومستويات من معالجة المياه العادمة، ويعتمد اختيارها على طبيعة الملوثات، وعبء التلوث، والاستخدام النهائي المرتقب للنفايات السائلة.

(ج) **استخدام المياه العادمة (أي إعادة استخدام المياه).** الاستخدام الآمن للمياه العادمة المعالجة أو غير المعالجة في ظروف تخضع للرقابة لأغراض مفيدة. وكانت تكنولوجيات معالجة المياه العادمة تُستخدم في السابق لأغراض الري، لكنها في الوقت الحاضر تسمح باستخدام المياه العادمة في أغراض أخرى، شريطة أن يكون مستوى المعالجة ونوعية النفايات السائلة «ملائماً للغرض المنشود».

(د) **استرداد المنتجات الثانوية النافعة:** يمكن استخراج مكونات مختلفة من المياه العادمة إما بشكل مباشر (مثل الحرارة والعناصر المغذية والمواد العضوية والمعادن) أو عن طريق عمليات تحويل تكميلية (مثل استخراج الغاز الحيوي من الحمأة أو الوقود الحيوي من الطحالب الدقيقة). وهناك عدد متزايد من الفرص التي يُحتمل أن تكون فعّالة من حيث التكلفة لاستخراج مواد نافعة من المياه العادمة، مثل النيتروجين والفسفور، التي يمكن تحويلها إلى سماد.

وهناك دور إضافي لدورة إدارة المياه العادمة وهو التخفيف من أي آثار سلبية على صحة الإنسان والاقتصاد والبيئة.

وعند مراعاة الفوائد المتعددة لتحسين إدارة المياه العادمة، يمكن اعتبار العديد من هذه العمليات فعالاً من حيث التكلفة، مما يضيف قيمة خلال دورة إدارة المياه العادمة مع مواصلة تطوير أنظمة إمدادات المياه والصرف الصحي.

واستناداً إلى الافتراض القائل بأنه من الممكن التوفيق بين متطلبات جودة المياه ومواقع استخدامها، فإن نُظم الاستخدام المتعدد وإعادة الاستخدام المتعاقب للمياه من مستوى عالٍ إلى مستوى منخفض من حيث جودة المياه يمكن أن يجعل إعادة استخدام المياه أكثر تكلفة من توفير معالجة المياه على نطاق واسع في كل نقطة من نقاط سحب المياه على طول حوض النهر (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 ج).

1-2 المياه العادمة كمورد: اغتنام الفرص

إن الهدف في الواقع هو تجاوز مجرد الحد من التلوث والسعي للحصول على قيمة من المياه العادمة، إذا لم يكن هناك سبب آخر، كوسيلة إضافية لدفع تكاليف إدارة المياه العادمة وتعزيز الاستدامة الاقتصادية للنظام.

وتُشكل إدارة المياه العادمة بالفعل جزءاً هاماً من عدة دورات موارد مختلفة، وهي في وضع جيد يُمَكّنُها من القيام بدور مركزي في الاقتصاد الدائري. ومن شأن استخدام المياه المعالجة بشكل مناسب في أغراض الزراعة وتوليد الطاقة أن يُعزز فرص الأمن الغذائي وأمن الطاقة، كما يمكن أن يساعد في تخفيف الضغوط الناجمة عن زيادة الطلب على المياه. وستكون لذلك انعكاسات إيجابية على إمدادات المياه العذبة والصحة البشرية والبيئية وتوفير الدخل (سبل العيش)، وكذلك التخفيف من وطأة الفقر. وعلاوة على ذلك، يمكن لإعادة استخدام المياه أن تخلق فرصاً تجارية جديدة وأن تدعم النهوض بالاقتصاد الأخضر.

وتوفر النظم الإيكولوجية المائية (مثل الأحواض والأراضي الرطبة والبحيرات) حلولاً إضافية منخفضة التكلفة لتعزيز إدارة المياه العادمة، شريطة أن تتم إدارتها على نحو مستدام. وعلى الرغم من أن الاستخدام المخطط للمياه العادمة وأسواقها النشطة لأغراض خدمات النظم الإيكولوجية يُعد ظاهرة حديثة نسبياً، فإن تقييم استخدام المياه العادمة لخدمات النظم الإيكولوجية يكشف عن فوائد بيئية واقتصادية مواتية.

إن الاستخدام غير الرسمي للمياه العادمة غير المعالجة يحدث بالفعل على نطاق واسع، وذلك من باب الملاءمة البسيطة أو محض الحاجة، وكثيراً ما يحدث ذلك في ظل غياب التدابير المناسبة لمراقبة السلامة. وفي حين أن التدابير التي تعزز الاستخدام المباشر لأنواع معينة من المياه العادمة غير المعالجة قد تكون سهلة نسبيّاً، فإن تكلفة تطوير نظم معالجة استرداد المياه العادمة من بعض الأنشطة البشرية قد تكون باهظة في بعض الحالات. كما قد يكون هناك عدم تطابق بين موقع وتوقيت مصدر المياه العادمة واستخدامها في نهاية المطاف. ولذلك، فإن نظم إدارة المياه العادمة تحتاج إلى أن تُصمَم وفقاً لخصائصها (مثل المنشأ والمكونات ومستوى الملوثات) والاستخدام النهائي المقصود لتدفقات النفايات السائلة، بما في ذلك أي منتجات ثانوية نافعة، حيث إن ذلك سيحدد المصدر الأنسب والأكثر عملية للمياه العادمة.

الشكل 3-1 تأطير إدارة المياه العادمة من منظور الموارد

المصدر: Andersson et al, 2016، الشكل 1-3، ص 27).

هناك آراء اقتصادية قوية بشأن تحسين كفاءة استخدام المياه العذبة وإدارة المياه العادمة كمورد والقضاء على التلوث (أو على الأقل الحد منه) عند نقطة الاستخدام. ويؤدي استخدام المياه العادمة عند مصدرها أو في أقرب مكان ممكن للمصدر إلى زيادة الكفاءة من حيث التكلفة عموماً بسبب انخفاض تكاليف النقل. ولا توجد إدارة للمياه العادمة إلا بشكل ضئيل جداً في الوقت الراهن، لا سيما في البلدان النامية، مما يعني أن هناك فرصاً واسعة لإعادة استخدام المياه ولانتعاش المنتجات الثانوية النافعة، شريطة توفير الحوافز المناسبة ونماذج الأعمال التجارية للمساعدة في تغطية التكاليف الباهظة. وتُظهر دراسات السوق الحديثة أن هناك اتجاهاً إيجابياً في استثمارات المياه ومعالجة المياه العادمة في البلدان النامية. وفي جميع أنحاء العالم، قُدّرت النفقات الرأسمالية السنوية على البنية التحتية للمياه والمياه العادمة بمبلغ 100 مليار دولار و104 مليارات دولار أمريكي على التوالي (Heymann et al., 2010).

وحيث تتم إدارة المياه العادمة على المستوى المحلي، فإن الاستجابات والحلول التكنولوجية تحتاج إلى أن تكون خاصة بالموقع (انظر الفصل الثالث). وفي هذا الصدد، هناك فرص لزيادة إدماج إدارة المياه العادمة، بما في ذلك إدارة الصرف الصحي وإدارة حمأة الغائط، مع إدارة الموارد المائية والنفايات الصلبة. ويتطلب ذلك وجود هياكل حوكمة تعزز التعاون عبر الحدود المؤسسية، وكذلك المساءلة والامتثال للوائح الخاصة باستخدام المياه العادمة واستخراج/استخدام المنتجات الثانوية المستردة. وقبل كل شيء، يجب التخطيط لإدارة المياه العادمة من «المنبع»، أي المصدر، وذلك لتتكامل مع حلول معالجة النفايات عند المصب.

هناك عدد من الضغوط على الموارد المائية تدفع الحاجة إلى تعزيز استخدام المياه العادمة. ويؤثر النمو السكاني والتحضر وتغير أنماط الاستهلاك وتغير المناخ وفقدان التنوع البيولوجي والنمو الاقتصادي والتصنيع على موارد المياه وتدفقات المياه العادمة، مع ما يترتب على ذلك من تلوث في الغلاف الجوي والأراضي والمياه. ومن شأن اعتماد أسلوب مُحسّن لإدارة المياه العادمة المساعدة في التخفيف من آثار بعض هذه الضغوط.

من منظور المَورد (انظر الشكل 1-3)، تتطلب الإدارة المستدامة للمياه العادمة ما يلي: (1) سياسات داعمة تقلل من عبء التلوث مقدماً؛ (2) تكنولوجيات مُصمَمة خصيصاً تتيح معالجة ملائمة للغرض المنشود لتحسين استخدام الموارد؛ (3) مراعاة فوائد استرداد الموارد. ويعزز هذا المنظور تنفيذ الآليات المالية الابتكارية، مع الأخذ بأسلوب وقائي وتطبيق مبدأ تغريم المُلَوّث. وتقع على عاتق الحكومات الوطنية مسؤولية توفير بيئة السياسات الخاصة بهياكل تعريفة عادلة تساعد على ضمان تشغيل وصيانة البنية التحتية القائمة وجذب استثمارات جديدة خلال دورة إدارة المياه العادمة.

الفصل الثاني

البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية: أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، وريتشارد كونور

بمساهمات من: بيرغوي م. لاميزانا - ديالو (برنامج الأمم المتحدة للبيئة)؛ ماريان كيلين (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي)؛ كارلوس كاريون -كريسبو وماريا تيريزا غوتييريز (منظمة العمل الدولية)؛ باي دريشسيل (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ منظور قادر (معهد المياه والبيئة والصحة التابع لجامعة الأمم المتحدة)؛ كيت ميدليكوت (منظمة الصحة العالمية)؛ وشيجينوري أساي (منتدى المياه الياباني)

المياه العادمة وخطة التنمية المستدامة

حديقة على السطح بجامعة وارسو (بولندا)

يتناول هذا الفصل إدارة المياه العادمة في سياق خطة التنمية المستدامة لعام 2030، مع إيلاء اهتمام خاص للجهود المطلوبة لتعزيز أوجه التآزر والتصدي للصراعات المحتملة بين هدف المياه وغيره من أهداف التنمية المستدامة.

1-2 خطة التنمية المستدامة لعام 2030

في 25 أيلول/سبتمبر 2015، اعتمدت 193 دولة عضواً في الجمعية العامة للأمم المتحدة خطة التنمية المستدامة لعام 2030 مع مجموعة من الأهداف للقضاء على الفقر وحماية البيئة وضمان الرخاء للجميع. وتتضمن الخطة 17 هدفاً من أهداف التنمية المستدامة (انظر الشكل 2-1)، ولكل منها غايات محددة يتعين تحقيقها على مدار 15 سنة (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ)). إن أهداف التنمية المستدامة مترابطة وغير قابلة للتجزئة، وتستفيد من التقدم المحرز في تنفيذ الأهداف الإنمائية للألفية والدروس المستخلصة من ذلك (الأهداف الإنمائية للألفية، 2000 - 2015).

الشكل 2-1 أهداف التنمية المستدامة

المصدر: الأمم المتحدة (التاريخ غير متاح).

في إطار الأهداف الإنمائية للألفية، دعا الهدف 7 (ج) الدول الأعضاء إلى خفض نسبة الأشخاص الذين لا يحصلون بشكل مستدام على مياه شرب آمنة وخدمات صرف صحي أساسية إلى النصف بحلول عام 2015. وبينما تم تحقيق الهدف المتعلق بمياه الشرب قبل ثلاث سنوات (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2012)، لم يتم تحقيق الهدف الخاص بالصرف الصحي. وفي حين أن 2.1 مليار شخص قد تمكنوا من الانتفاع بمرافق الصرف الصحي المحسنة منذ عام 1990، فإن 2.4 مليار شخص ما زالوا غير قادرين على الانتفاع بمرافق صرف صحي محسنة، وما زال حوالي مليار شخص حول العالم يتغوّطون في العراء (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015).

وقد أظهرت تجربة الأهداف الإنمائية للألفية أن هناك حاجة إلى هدف أوسع نطاقاً وأكثر تفصيلاً وله سياق محدد خاص بالمياه، بحيث يتجاوز قضايا الإمدادات والصرف الصحي التي تناولها الهدف السادس من خطة عام 2030 بالدعوة إلى تحسين إدارة موارد المياه بطريقة واسعة وشاملة ومتكاملة. وعلى هذا النحو، فإن الهدف يركز بشكل خاص على: مياه الشرب والمرافق الصحية والنظافة الصحية، ونوعية المياه والصرف الصحي، وكفاءة استخدام المياه وندرتها، والإدارة المتكاملة لها، وحماية النظم الإيكولوجية، والتعاون الدولي وبناء القدرات، ومشاركة أصحاب المصلحة (انظر الجدول 2-1).

وسيتم رصد الأهداف والغايات ومراجعتها باستخدام مجموعة من المؤشرات العالمية، ولكن الأمر متروك لكل بلد لتحديد أهدافه الوطنية المتعلقة بمعالجة المياه العادمة ونوعية المياه (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ)).

ويتوقف قياس التقدم المحرز في خطة عام 2030 على كيفية وضع مؤشرات محددة وقابلة للقياس والتحقيق وذات صلة ومحددة زمنياً لهذه المهمة. وقد تم تكوين فريق الخبراء المشترك بين الوكالات والمعني بمؤشرات أهداف التنمية المستدامة لوضع إطار للمؤشرات لقياس التقدم المحرز نحو رصد أهداف وغايات خطة التنمية المستدامة لعام 2030 على الصعيد العالمي، ودعم تنفيذها. ومن المرجح أيضاً أن تضع الدول الأعضاء مؤشراتها الوطنية والإقليمية لتكمل المؤشرات العالمية المقترحة كي توافق عليها الجمعية العامة للأمم المتحدة.

وقد تم اقتراح مؤشرين عالميين لتتبع التقدم المحرز للهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة وهو الأكثر صلة بإدارة المياه العادمة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2016 (أ)).

6-3-1 نسبة المياه العادمة المعالجة بطريقة آمنة: المياه العادمة المعالجة بطريقة آمنة والناتجة عن الاستخدام المنزلي (مياه المجارير وحمأة الغائط) والأنشطة الاقتصادية (مثل الصناعات) بما يتناسب مع مجموع المياه العادمة الناتجة عن الاستخدام المنزلي والأنشطة الاقتصادية.

6-3-2 نسبة المسطحات المائية ذات المياه المحيطة جيدة النوعية: نسبة المسطحات المائية (في منطقة ما) في بلد ذي نوعية مياه محيطة جيدة مقارنة بكافة المسطحات المائية في هذا البلد. وتشير كلمة «جيد» إلى نوعية المياه المحيطة التي لا تضر بوظائف النظام الإيكولوجي وصحة الإنسان وفقاً للمؤشرات الأساسية لنوعية المياه المحيطة.

سيساعد تحسين معالجة المياه العادمة وزيادة إعادة استخدام المياه، على النحو المطلوب في الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة، على الانتقال إلى اقتصاد دائري

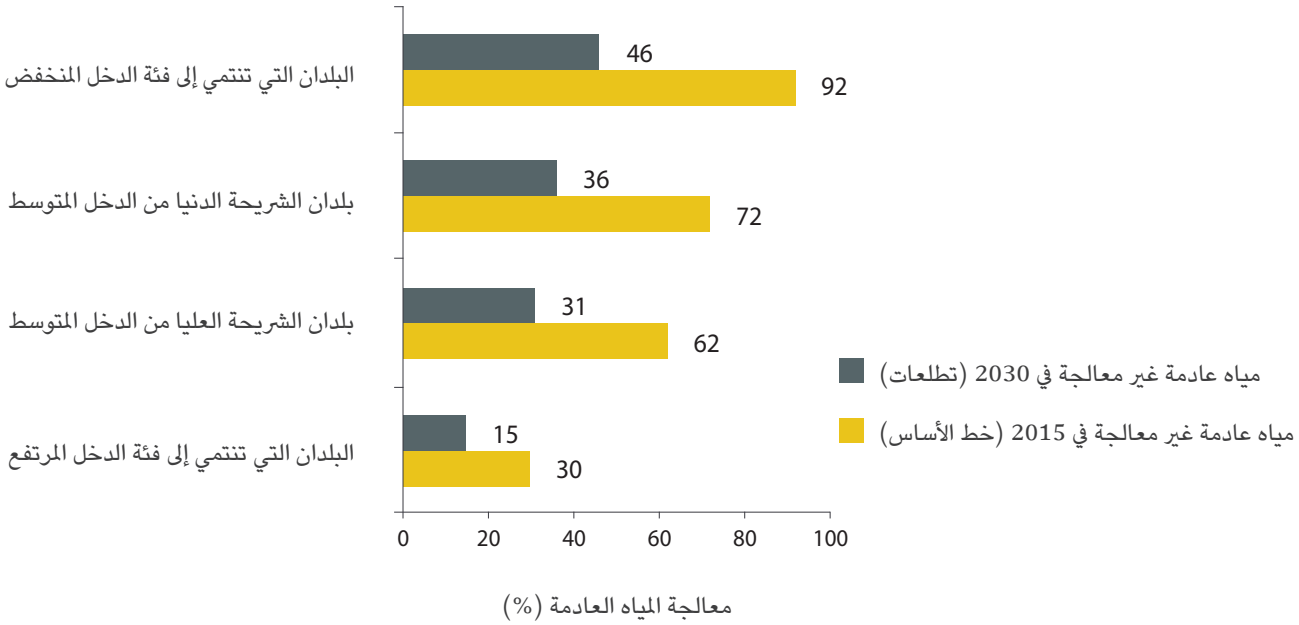
الجدول 2-1 غايات ومؤشرات الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة

الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة ضمان توافر المياه وخدمات الصرف الصحي وإدارتها على نحو مستدام للجميع	
الغاية	المؤشرات
6-1 تحقيق هدف حصول الجميع بشكل منصف على مياه الشرب المأمونة والميسورة التكلفة، بحلول عام 2030	6-1-1 نسبة السكان الذين يستعملون خدمات مياه الشرب المأمونة
6-2 تحقيق هدف حصول الجميع بشكل ملائم ومنصف على خدمات الصرف الصحي والنظافة الصحية ووضع حد للتغوط في العراء، وإيلاء اهتمام خاص لاحتياجات النساء والفتيات ومن يعيشون في ظل أوضاع هشة، بحلول عام 2030	6-2-1 نسبة السكان الذين يستعملون خدمات الصرف الصحي السليمة الإدارة، بما يشمل مرافق لغسل اليدين بالماء والصابون
6-3 تحسين نوعية المياه عن طريق الحد من التلوث، ووقف إلقاء النفايات والمواد الكيميائية الخطرة والحد من تسربها إلى أدنى حد، وخفض نسبة مياه المجاري غير المعالجة إلى النصف، وزيادة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام الآمن بمعدل كبير على الصعيد العالمي، بحلول عام 2030	6-3-1 نسبة المياه العادمة المعالجة بطريقة آمنة 6-3-2 نسبة المسطحات المائية ذات المياه المحيطة جيدة النوعية
6-4 زيادة كفاءة استخدام المياه في جميع القطاعات زيادة كبيرة وضمان سحب المياه العذبة وإمداداتها على نحو مستدام من أجل معالجة شح المياه، والحد بدرجة كبيرة من عدد الأشخاص الذين يعانون من ندرة المياه، بحلول عام 2030	6-4-1 التغير في كفاءة استخدام المياه بمرور الوقت 6-4-2 مستوى الضغط على المياه: سحب المياه العذبة كنسبة من موارد المياه العذبة المتاحة
6-5 تنفيذ الإدارة المتكاملة لموارد المياه على جميع المستويات، بما في ذلك من خلال التعاون العابر للحدود حسب الاقتضاء، بحلول عام 2030	6-5-1 درجة تنفيذ الإدارة المتكاملة لموارد المياه (0-100) 6-5-2 نسبة مساحة الحوض العابر للحدود مع ترتيبات تشغيلية للتعاون المائي
6-6 حماية وترميم النظم الإيكولوجية المتصلة بالمياه، بما في ذلك الجبال والغابات والأراضي الرطبة والأنهار ومستودعات المياه الجوفية والبحيرات، بحلول عام 2020	6-6-1 التغير في امتداد النظم الإيكولوجية المتصلة بالمياه بمرور الوقت
6-أ تعزيز نطاق التعاون الدولي ودعم بناء القدرات في البلدان النامية في مجال الأنشطة والبرامج المتعلقة بالمياه والصرف الصحي، بما في ذلك جمع المياه، وإزالة ملوحتها، وكفاءة استخدامها، ومعالجة المياه العادمة، وتكنولوجيات إعادة التدوير وإعادة الاستخدام، بحلول عام 2030	6-أ-1 مقدار المساعدة الإنمائية الرسمية المتصل بالمياه والصرف الصحي الذي يشكل جزءاً من خطة الإنفاق المنسقة حكومياً
6-ب دعم وتعزيز مشاركة المجتمعات المحلية في تحسين إدارة المياه والصرف الصحي	6-ب-1 نسبة الوحدات الإدارية المحلية ذات السياسات الموضوعة والتشغيلية وإجراءات مشاركة المجتمعات المحلية في إدارة إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي

مصدر المؤشرات: (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2016 (أ)).

المصدر: الجمعية العامة للأمم المتحدة (2015 (أ)).

الشكل 2-2 النسبة المئوية للمياه العادمة غير المعالجة في عام 2015 في البلدان ذات مستويات الدخل المختلفة والتطلعات لعام 2030 (انخفاض بنسبة 50% عن خط الأساس لعام 2015)



المصدر: استناداً إلى بيانات من (Sato et al.2013)

ومن التحديات التي تواجه رصد الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة عدم وجود بيانات تتعلق بجميع جوانب نوعية المياه وإدارة المياه العادمة، لا سيما في البلدان النامية. وللبيانات الموثوقة منافع اجتماعية واقتصادية وبيئية في القطاعين العام والخاص على السواء، حيث يمكن أن تعزز هذه البيانات الدعم وتحفز الالتزام السياسي والاستثمارات، كما ستساعد عملية صنع القرار على جميع المستويات (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2016 (أ)).

ومن أجل تحقيق الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة، هناك حاجة إلى استثمارات كبيرة في البنية التحتية الجديدة (الرمادية والخضراء، في مجموعات مناسبة محلياً) والتكنولوجيات الملائمة لزيادة معالجة واستخدام المياه العادمة. وهناك أيضاً حاجة إلى استثمارات لتطوير البنية التحتية الحالية وتشغيل وصيانة البنية التحتية القائمة والجديدة وتطوير القدرات في مجال إدارة الموارد المائية ورصد ومراقبة نوعية المياه والمياه العادمة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)).
ونظراً للفروق في المستويات الحالية لمعالجة المياه العادمة عموماً، فإن الجهود المطلوبة لتحقيق الهدف 6-3 ستضع عبئاً مالياً أكبر على البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض وبلدان الشريحة الدنيا من الدخل المتوسط (انظر الشكل 2-2)، مما يضع تلك البلدان في وضع اقتصادي غير مؤات مقارنة بالبلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع وبلدان الشريحة العليا من الدخل المتوسط (Sato et al., 2013).

2-2 أوجه التآزر والتنازع المحتملة

إن تحقيق خطة التنمية المستدامة لعام 2030 يتطلب جهوداً متضافرة لإدارة أوجه التنازع وأوجه التآزر المحتملة بين الهدف السادس وغيره من أهداف التنمية المستدامة. وقد يسلط التحليل الدقيق للأهداف والغايات الضوء على الظروف، حيث قد يؤدي تحقيق هدف واحد إلى تحقيق هدف آخر. وعلى العكس من ذلك، فإن الحالات التي قد يؤدي فيها تحقيق هدف واحد إلى عرقلة تحقيق هدف آخر تتطلب تحديد مفاضلات مقبولة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2016 (ب)).

2-2-1 أوجه التآزر المحتملة

لا يمكن تحقيق الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة بشكل كامل من خلال معالجة كل غاية بشكل مستقل. فعلى سبيل المثال، «يجب مواءمة زيادة الحصول على خدمات الصرف الصحي (6-2) مع زيادة معالجة المياه العادمة (6-3) من أجل دعم مياه محيطة جيدة النوعية (6-3) وضمان نظم إيكولوجية صحية متصلة بالمياه (6-6). وبالمثل، فإن وجود مياه محيطة جيدة النوعية (6-3) يُسهّل إلى حد كبير توفير مياه شرب مأمونة (6-1)، والتي يجب توفيرها على نحو مستدام (6-4)، دون عواقب سلبية على النظم الإيكولوجية المتصلة بالمياه (6-6). إن زيادة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام الآمن (6-3) وكفاءة استخدام المياه (6-4) توفر المزيد من المياه لغرض الشرب (6-1) والاستخدامات الأخرى (6-4)، ويمكن أن تقلل من الآثار على النظم الإيكولوجية المتصلة بالمياه (6-6). إن الإمداد المستدام للمياه واستخدامها

الإطار 1-2 الفقر وإدارة المياه العادمة والتنمية المستدامة – روابط متعددة

تعترف خطة التنمية المستدامة لعام 2030 (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ)) بأن القضاء على الفقر هو أكبر التحديات العالمية. ويشمل الفقر متعدد الأبعاد الحرمان، مثل سوء الصحة والتغذية، وعدم الحصول على الخدمات، ونقص التعليم، والصدمات النفسية التي يضطر فيها الإنسان لمواجهة الفظاظة والإذلال (Narayan et al., 2000; UNDP, 2010). ويُعد السكان الذين يعيشون في أفقر مناطق العالم هم الأكثر تأثراً بالقضايا الصحية المتعلقة بالبيئة (منظمة الصحة العالمية، 2016 (أ)).

ويرتبط انتشار مرض الإسهال بالمشاكل المتصلة بالمياه والصرف الصحي والنظافة الصحية (Prüss -Üstün et al., 2014). أما الحصول على مصادر محسنة للمياه والصرف الصحي فهو أقل بشكل ملحوظ بين المجتمعات الفقيرة في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015؛ اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2014).

ويتحمل الأطفال في المقام الأول العبء الصحي الناجم عن سوء الصرف الصحي وإدارة المياه العادمة: فمن بين الأطفال دون الخامسة من العمر، كان من الممكن الحيلولة دون وقوع 361,000 حالة وفاة في عام 2012 من خلال الحد من المخاطر المتعلقة بعدم كفاية نظافة اليدين والمرافق الصحية والمياه (Prüss -Üstün et al., 2014)، في حين تقع مسؤولية الجمع اليومي للمياه على عاتق الفتيات والنساء (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2011). وتكون المهام المنزلية أكثر صعوبة في ظل ظروف الفقر، مما يعني أن الحفاظ على صحة الأسرة يقع بشكل غير متناسب على المرأة.

وتمثل الفئات الأكثر ضعفاً والأشد فقراً في المجتمع المستفيد الأول من تحسين خدمات الصرف الصحي وإدارة المياه العادمة. ومن ثم فإن الاستثمارات في مرافق الصرف الصحي في المناطق الريفية والحضرية، فضلاً عن جمع المياه العادمة ومعالجتها، يمكن أن تحقق عائدات عالية من حيث التنمية الاجتماعية والاقتصادية. ويبلغ متوسط العائد من الاستثمارات في الصرف الصحي 5.5 دولار أمريكي لكل دولار يتم استثماره (Hutton and Haller, 2004). ويمكن أن تسهم بعض الحلول لمشكلة المياه العادمة، مثل إعادة تدوير العناصر المغذية أو استخراج الطاقة، في خلق فرص جديدة لإدرار الدخل وتوسيع قاعدة الموارد المتاحة للأسر الفقيرة (Winblad and Simpson -Hébert, 2004). ومن الأمثلة على ذلك المراحيض السمادية التي يمكن أن توفر حلاً منخفض التكلفة لتحسين الإنتاجية الزراعية مع زيادة التغذية والحد من الآثار الصحية والبيئية الناجمة عن التغوط في العراء (Kvarnström et al., 2014).

بمساهمة من كل من ماريان كيلين (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي) وجوهانا سجودين (مرفق إدارة المياه التابع لبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي بمعهد ستوكهولم الدولي للمياه).

(6-4) ووجود مياه محيطة جيدة النوعية (6-3) والنظم الإيكولوجية الصحية المتصلة بالمياه (6-6) كلها تعتمد على بعضها البعض (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2016 ب).

إن تحقيق الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة هو أيضاً شرط مسبق لتحقيق أهداف التنمية المستدامة الأخرى وكذلك الهدف الشامل المتمثل في القضاء على الفقر (انظر الإطار 2-1). ويساعد جمع ومعالجة المياه العادمة بشكل ملائم على حماية نوعية المياه في أحواض الأنهار والسلع والخدمات التي توفرها، مع الحد بشكل كبير من عدد الأشخاص الذين يتعرضون لأمراض متعلقة بالمياه (الهدفان 3-3 و3-9 من أهداف التنمية المستدامة)، وتوفير المنافع الصحية والاقتصادية ذات الصلة وكذلك المساهمة في التخفيف من وطأة الفقر (الهدفان 1-1 و1-2 من أهداف التنمية المستدامة).

تمنع الأمراض ذات الصلة بالمياه وسوء التغذية الناس من العمل والذهاب إلى المدرسة، مما يعزز دورة الفقر (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2006). وسيؤدي الاستثمار في إدارة المياه العادمة والصرف الصحي إلى تحقيق عوائد مرتفعة بشكل خاص عن طريق قطع الصلة بين المياه غير المأمونة والأمراض التي تسبب الإسهال، لا سيما في البلدان النامية. وتزيد الإصابة بالإسهال لفترة طويلة من سوء الصحة والتغذية لدى الأطفال، وغالباً ما يؤدي ذلك إلى عرقلة النمو بسبب ضعف امتصاص العناصر المغذية وفقدان الشهية (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2009). ولذلك، فإن تحسين الظروف الصحية وإدارة المياه العادمة يسهم في نجاح استراتيجيات تعزيز التغذية (الهدف 2.2 من أهداف التنمية المستدامة)، كما يقلل

الإطار 2-2 الأدوار الجنسانية وإدخال الاستخدام الآمن للمياه العادمة

وحيث إن معالجة المياه العادمة غير كافية واستخدامها في الري أمر شائع، فإنه يمكن تنفيذ تدابير السلامة في نقاط التحكم الحرجة على طول السلسلة الغذائية (من المزرعة إلى الشوكة) كما وصفتها منظمة الصحة العالمية (منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ))، وقام بتوضيحها (Amoah et al. (2011)). ويجب توخي الحذر فيما يتعلق بأدوار الجنسين التي يمكن أن تتغير من مستوى المزرعة إلى مستوى البيع بالجملة وتجارة التجزئة (Drechsel et al., 2013). وحيثما يكون الوعي بالمخاطر منخفضا وليس من السهل تطويره، فمن المهم تحديد أفضل السبل لتحفيز وتغيير السلوك، وتشجيع اعتماد تدابير التقليل من المخاطر المتعلقة بالفوارق بين الجنسين (Drechsel and Karg, 2013). وفي العديد من الثقافات، لا تتحمل المرأة المسؤولية الرئيسية عن النظافة والصحة فحسب، بل تكون مسؤولة أيضاً عن استخدام المياه الرمادية أو المياه العادمة، كما هو الحال في الأردن (Boufaroua et al., 2013) وتونس (Mahjoub, 2013) وفيتنام (Knudsen et al., 2008). ويوفر هذا الربط إمكانيات كبيرة لاعتماد منهجيات تدريب مبتكرة لتحسين تقبل المجتمع لاستخدام آمن للمياه العادمة (Boufaroua et al., 2013).

بمساهمة من (Carlos Carrión-Crespo and María Teresa Gutiérrez) (منظمة العمل الدولية).

من عدد حالات الوفاة التي يمكن تجنبها بين الأطفال (الهدف 3-2 من أهداف التنمية المستدامة) ويعزز كذلك من ذهاب الأطفال لمدارسهم وأدائهم فيها (الهدف 4-7 من أهداف التنمية المستدامة).

ومن شأن تخفيف عبء المرض أيضاً أن يقلل من الوقت الذي يُقضى في رعاية أفراد الأسرة المرضى، مما يتيح مزيداً من الوقت للمشاركة في الاقتصاد الرسمي (الهدف الثامن من أهداف التنمية المستدامة) وكذلك في عملية اتخاذ القرارات الاجتماعية والسياسية. وستستفيد النساء، اللواتي غالباً ما يكنّ المسؤولات الرئيسيات عن توفير الرعاية والمياه داخل الأسر، من تحسين خدمات الصرف الصحي وإدارة المياه العادمة، حيث إنهن كثيراً ما يتحملن مسؤولية إدارة واستخدام العادم المائي الرمادي أو المياه العادمة في الزراعة (انظر الإطار 2-2). وتدعم سياسات إدارة المياه الشاملة والمراعِية للفوارق بين الجنسين أيضاً تحقيق المساواة بين الجنسين (الهدف الخامس من أهداف التنمية المستدامة).

وسيساعد تحسين معالجة المياه العادمة والتوسع في إعادة استخدام المياه على النحو المطلوب في الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة في التحول إلى اقتصاد دائري من خلال المساعدة على الحد من سحب المياه وفقدان الموارد في نظم الإنتاج والأنشطة الاقتصادية. ويمكن أن تسمح تبادلات الطاقة والمياه والتدفقات المادية في المنتجات الثانوية للمياه العادمة للشركات بتعزيز أدائها البيئي وقدرتها التنافسية. وكثيراً ما تكون هذه التبادلات مفيدة للطرفين، وتسهم في خفض تكاليف الإنتاج واستهلاك المياه و/أو تكاليف معالجة المياه العادمة (الهدفان 8-2 و8-4 من أهداف التنمية المستدامة).

ومن شأن بناء شبكات بنية تحتية قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية التقليل من الخسائر الاقتصادية المباشرة الناجمة عن الكوارث (الهدف 11-5 من أهداف التنمية المستدامة)، مع تعزيز قدرة المستوطنات البشرية على التعافي من المخاطر الطبيعية مثل الفيضانات والجفاف (الهدف 13-1 من أهداف التنمية المستدامة). كما أن لتحسين إدارة المياه العادمة دور كبير في الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة (الهدف 13-2 من أهداف التنمية المستدامة). ويمكن اعتبار المياه العادمة مصدراً موثوقاً للمياه في تخطيط وتطوير المستوطنات الجديدة ومشاريع الموارد المائية (الهدف 11-6 من أهداف التنمية المستدامة).

ويساهم تحقيق الهدف 6-3 من أهداف التنمية المستدامة أيضاً في الحد من التلوث البري في النظم الإيكولوجية البرية والبحرية (الهدفان 14 و15 من أهداف التنمية المستدامة).

2-2-2 النزاعات المحتملة

في الحالات التي لا تكون فيها أوجه الترابط بين الهدف 6-3 وأهداف التنمية المستدامة الأخرى مفيدة للطرفين، سيكون من المهم تحقيق التوازن بين الاحتياجات المتضاربة وإدارة المفاضلات.

ويعد القضاء على الجوع وزيادة الكفاية الغذائية (الهدف 2-1 من أهداف التنمية المستدامة) ومضاعفة الإنتاجية الزراعية ودخل صغار منتجي الأغذية (الهدف 2-3 من أهداف التنمية المستدامة) أموراً ضرورية للمساعدة في القضاء على الفقر (الهدف 1 من أهداف التنمية المستدامة). غير أن تحقيق الهدف الثاني من أهداف التنمية المستدامة ينطوي أيضاً على زيادة الإنتاجية الزراعية، مما قد يؤدي إلى زيادة الطلب على المياه واستخدام مبيدات الأعشاب ومبيدات الآفات والأسمدة، مما يترتب عليه انخفاض نوعية المياه وكميتها إذا لم تتم إدارة الموارد على نحو سليم. ويلزم تعزيز استخدام أفضل للممارسات الزراعية بالتوازي مع الحد من هدر الأغذية (انظر الإطار 2-3).

ويعتبر تحسين تلبية الاحتياجات من مياه الشرب في المستوطنات المنظمة وغيرالمنظمة (الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة) مسألة ذات أهمية كبرى لإعمال حق الإنسان في المياه وخدمات الصرف الصحي. ويجب أن يقترن ذلك بالتوسع في جمع ومعالجة المياه العادمة من أجل تفادي الآثار السلبية على نوعية المياه وصحة الإنسان والبيئة.

كما أن زيادة النمو الاقتصادي (الهدف الثامن من أهداف التنمية المستدامة) وتطوير الصناعات الصغيرة (الهدف 9-3 من أهداف التنمية المستدامة) تنطوي أيضاً على تضارب محتمل مع تحقيق الهدف 6-3 حيث يتعلق الأمر بالتلوث وصرف المياه العادمة غير المعالجة. إن التنمية الاقتصادية أو تحسين «وصول الصناعات الصغيرة في البلدان النامية إلى الخدمات المالية» يجب أن تتم وفقاً للوائح الصحة والسلامة البيئية. ومن شأن خلق بيئة مواتية تتطلب من الصناعات الصغيرة احترام الأنظمة البيئية من أجل الحصول على الخدمات المالية أن يكون حافزاً إيجابياً.

وأخيراً، فإن الحد من عدم المساواة داخل البلدان وفيما بينها (الهدف 10-1 من أهداف التنمية المستدامة) يعني ضمان حصول الجميع على خدمات وافية من إدارة المياه العادمة. وهذا هو أحد مفاتيح تحقيق التنمية المستدامة وضمان توافر ما يكفي من المياه

الإطار 3-2 «خسارة» المياه من النفايات الغذائية

تُعد الزراعة أكبر مستهلك للمياه في العالم. وهناك عدة أنواع من المواد الغذائية، مثل الخضراوات، تحتوي على نسبة عالية من المياه (في بعض الحالات تزيد كثيرا عن 90%). ففي أوروبا، على سبيل المثال، يستهلك تصنيع المنتجات الغذائية في المتوسط حوالي 5 مترات مكعبة من المياه للشخص الواحد في اليوم (Förster, 2014). ومع إهدار ما يصل إلى 1.3 مليار طن من الأغذية سنوياً (الصندوق العالمي للطبيعة، 2015)، فإن 250 كيلومتراً مكعباً من المياه «تُفقد» سنوياً بسبب النفايات الغذائية في جميع أنحاء العالم (منظمة الأغذية والزراعة، 2013 (أ)). ويمكن تعريف النفايات الغذائية على أنها الأغذية التي كانت ملائمة للاستهلاك البشري وتم التخلص منها بسبب أنها فسدت أو انتهت صلاحيتها أو أصبحت غير مرغوب فيها (منظمة الأغذية والزراعة، 2015). ويمكن أن تشمل هذه النفايات أيضاً المحاصيل التي لم تُحصَد (بسبب انخفاض أسعار السوق، على سبيل المثال).
وعلى الصعيد العالمي، تحتل اللحوم والحبوب مرتبة عالية ضمن النفايات الغذائية العالمية إذ تبلغ نسبتها 21.7% و13.4% على التوالي (Lipinski et al., 2013).

بمساهمة من جامعة كاسل.

الفصل الثالث

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي: ماريان كيلين وجوهانا سجودين

مركز القانون والسياسات والعلوم في مجال المياه (تحت رعاية اليونسكو)، جامعة دندي: سارة هندري

بمساهمات من: إيريك بروكويل وآنا فورسلوند (معهد ستوكهولم الدولي للمياه)؛ وفلوريان ثيفينون ولينكا كروكوفا (منظمة واترليكس)؛ وناتاليا نيكيفوروفا (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا)

الحوكمة

اجتماع إقليمي عن التنمية المستدامة في أوغندا

يصف هذا الفصل أطر الحوكمة التي تدار من خلالها المياه العادمة، بما في ذلك العديد من الجهات الفاعلة وأدوارها المختلفة، والأدوات القانونية والتنظيمية، والتحديات المالية وفرص التمويل والجوانب الاجتماعية والثقافية.

تواجه إدارة المياه العادمة تحديات عديدة، ففي الحالات التي يتم فيها التخلص من المياه العادمة دون معالجة، قد يكون المتضررون بعيدون عن الملوّث مكانياً أو زمنياً. ولهذه الأسباب وغيرها، يجب على المجتمع أن يعمل بشكل جماعي لتعزيز صحة الإنسان وحماية موارد المياه من التلوث. وتشمل التحديات المتعلقة بالحوكمة مسائل قانونية ومؤسسية ومالية واقتصادية وثقافية.

ويتناول هذا الفصل عمليات صنع السياسات والتنظيم والتمويل وما يرتبط بذلك من تحديات اجتماعية – ثقافية تتعلق بالامتثال وتنفيذ السياسات.

3-1 الجهات الفاعلة وأدوارها

من أجل تحقيق أهداف تحسين نوعية المياه وحماية الموارد المائية، يجب على الأفراد والمنظمات أن يمتثلوا ويعملوا من أجل المصلحة الجماعية. وتُترجم نوايا السياسة أو أهداف إدارة المياه العادمة إلى قوانين ولوائح، مع تحديد مسؤوليات لمختلف الجهات الفاعلة. وتعتمد نتائج السياسات بشكل كبير على طريقة تنفيذ هذه المسؤوليات على جميع المستويات، مع مراعاة التكاليف. ويقدم الجدول 3-1 لمحة عامة عن وظائف الحوكمة المتعلقة بإدارة المياه العادمة. وتتراوح هذه العملية بين وضع السياسات والتشريعات وبين البحوث وتنمية القدرات، وتحدد الأدوار الرئيسية والثانوية وأشكال التعاون اللازمة من أجل تنفيذ السياسات بشكل منسق. وتتعلق معظم الأدوار بالحلول الأكثر مركزية لإدارة المياه العادمة، حيث قد تضم مرافق الصرف الصحي البديلة والمحلية العديد من الجهات الفاعلة الإضافية. وعلاوة على ذلك، وفيما يتعلق بالمناطق ذات الدخل المنخفض أو النائية، قد يكون هناك افتقار إلى الجهات الفاعلة المسؤولة أو القادرة على قيادة عملية وضع السياسات وتنفيذها، مما يتطلب دعماً واهتماماً خاصاً من جانب واضعي السياسات. وفي كل مكان، يجب صياغة اللوائح بشكل جيد ويجب أن تكون الموارد متاحة لتنفيذها. إن التغلب على الصعوبات العملية في تطبيق اللوائح الخاصة بنوعية المياه يمكن أن يشكل تحدياً خاصاً لمنظمات القطاع العام، حتى في البلدان المتقدمة جداً.

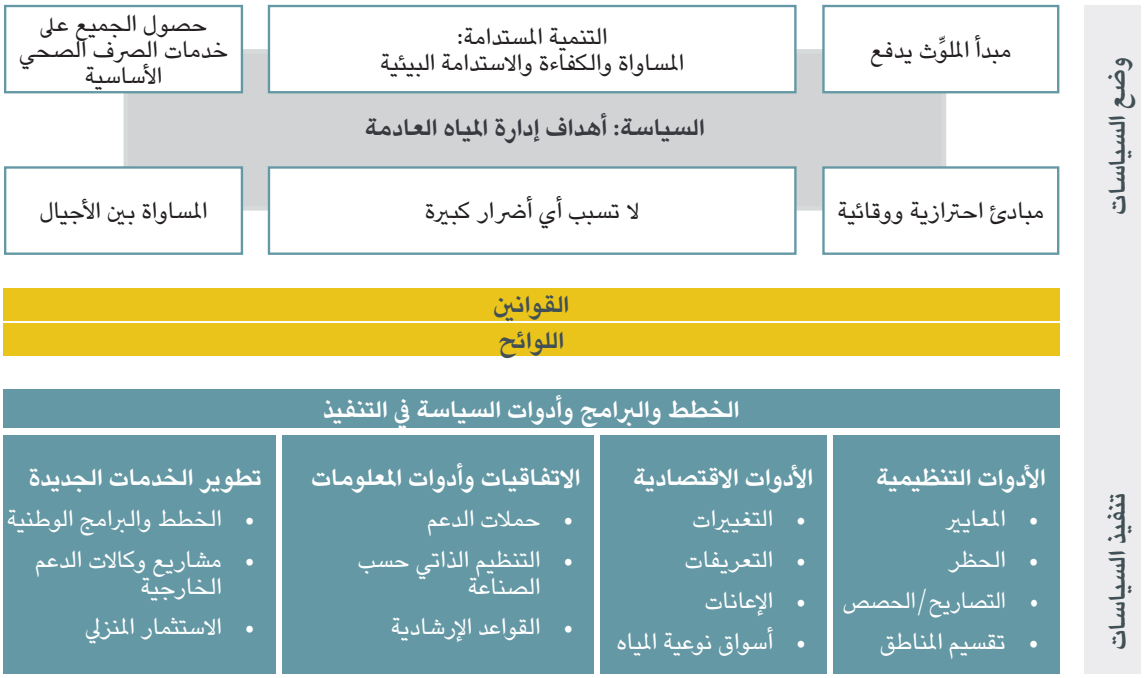
ويمثل التنسيق بين الجهات الفاعلة عبر القطاعات تحدياً يتجاوز إدارة المياه العادمة. وهناك العديد من المنهجيات المتكاملة والمشتركة بين القطاعات تجاه إدارة المياه والأراضي (تفاعلات المنبع والمصب، والموارد المائية في المناطق الحضرية، وما إلى ذلك) والتي تساعد في التغلب على التفكير «الانعزالي»، الذي بدونه قد تسعى الجهات الفاعلة إلى تحقيق مصالح ضيقة أو متضاربة (راجع إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة 2004؛ واحتمالية الاحترار العالمي، 2013). ويمثل تنسيق النظم ذات التكنولوجيات المتعددة أو التغطية غير المستقرة تحدياً خاصاً يمكن التغلب عليه إما عن طريق ضمان تمديد وصلات المجاري إلى جميع أنحاء منطقة الخدمة أو عن طريق دمج الحلول الفعلية على أرض الواقع (على سبيل المثال، إدارة حمأة الغائط بواسطة المَرْكبات أو المراحيض المنزلية ودمجها في نظام يعمل بشكل متسق).

وقد أدت الشراكات بين القطاعين العام والخاص في مجال توفير خدمات الصرف الصحي إلى إعادة النظر في اللوائح، لا سيما خلال التسعينيات. ومن أجل التعاقد مع شركات محلية أو دولية خاصة لتوفير خدمات سبق أن اضطلعت بها الإدارات الحكومية أو المؤسسات شبه الحكومية، وُضعت طرق جديدة للترخيص والإشراف على العمليات في العديد من البلدان (Finger and Allouche, 2002). ومن المسلّم به أن تحسين الرقابة التنظيمية هو أمر مطلوب لمقدمي الخدمات من القطاعين العام والخاص (Kjellén, 2006; Gerlach and Franceys, 2010).

وهناك اختلافات هامة في نطاق العمليات، فالبنية التحتية الضخمة المنتشرة في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع تستفيد من وفورات الحجم، ولكنها تتطلب إدارة مركزية قوية وقدرات تكنولوجية. وفي البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض، تميل النظم المركزية واسعة النطاق إلى تجاوز المستوطنات العشوائية أو ذات الدخل المنخفض. ويمكن أن تكون اللامركزية استراتيجية للتغلب على التغطية غير المتجانسة للخدمة التي توفرها النظم المركزية، وتأتي اللامركزية أيضاً كاستجابة مجتمعية للتغطية غير المكتملة للخدمة (انظر الفصل الخامس عشر).

يحصل حوالي ثلثي سكان العالم على خدمات صرف صحي محسَّنة (اليونيسف/منظمة الصحة

الشكل 3-1 المستويات المؤسسية لوضع السياسات والتنفيذ



المصدر: قام بوضعه المؤلفون، وقامت بتصميمه جوهانا سجودين.

العالمية، 2015). وتعتبر شبكات الصرف الصحي في النظم المركزية الكبيرة الأكثر شيوعاً في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع، وفي المناطق الحضرية في الصين والبلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المتوسط في أمريكا اللاتينية (Kjellén et al., 2012). وتعتمد أغلبية الناس على شكل من أشكال الخدمات اللامركزية أو الخدمات الذاتية، وأحياناً على دعم من المنظمات غير الحكومية ولكن عادة بدون مساعدة من السلطات المركزية (انظر الشكل 5-1). ويحدد الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة (انظر الفصل الثاني) غاية «حصول الجميع على خدمات صرف صحي ونظافة صحية وافية ومنصفة» بحلول عام 2030 (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ))، مع التسليم بأنه من غير المرجح أن يعمم الانتفاع بالنظم بواسطة المياه على الصعيد العالمي.

وينبغي أن ينخرط السكان أنفسهم في تخطيط وبناء وتمويل وتشغيل النظم البديلة، مما يساعد على تطوير القيادة المحلية، وتنظيم المشاريع والهندسة العملية. ويمكن لأصحاب العقارات أن يتخذوا إجراءات وأن تكون لديهم مسؤوليات للحد من حجم مياه الصرف السطحي وآثارها، ولكن ليس من السهل إدارة قضايا مثل قضايا الصرف الصحي على المستوى المحلي. وتميل السلطات البلدية أو إدارات الأشغال العامة إلى تحمل المسؤولية الرئيسية عن الصرف السطحي الحضري. ومع ذلك، ولتجنب التلوث والتخلص من النفايات، فإن تعاون جميع السكان والشركات أمر بالغ الأهمية – وهذا يتطلب مزيجاً من الدعم والتحفيز والتنظيم. ويُعد مشروع أورانجي التجريبي في كراتشي بباكستان مثالاً تقليدياً تَمكَّن فيه المجتمع بمساعدة من المحسنين من بناء نظام مياه مجارير بأسعار معقولة تكفَّل بها المجتمع المحلي (Hasan, 1988).

2-3 السياسات والقوانين واللوائح

تشمل أطر السياسات العالمية للمياه العادمة خطة عام 2030 (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ))، التي تعتمد بشكل كبير على أدوات السياسات العالمية الأخرى المتعلقة بالمياه والبيئة والتنمية، فضلاً عن المبادئ البيئية، مثل المبادئ الاحترازية والوقائية ومبدأ الملوِّث يدفع (مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية، 1992). كما أن الاعتراف العالمي بحق الإنسان في المياه والصرف الصحي (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2010؛ الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (ب)) له أيضاً آثار على سياسة المياه العادمة، من خلال دعوة الدول الأعضاء إلى اعتماد سياسات لزيادة فرص الحصول على خدمات الصرف الصحي لضمان حماية موارد المياه من التلوث (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2014).

وتعكس الهيئات الإقليمية والحكومات الوطنية هذه الخطط العالمية في سياساتها المتعلقة بإدارة الموارد المائية وتوفير خدمات المياه وإدارة المياه العادمة والنفايات الصلبة. ويضع صانعو السياسات الأهداف ويتبنون أو يتعاطفون مع المبادئ الأكثر عمومية (انظر الدوائر في الشكل 3-1) والتي يمكن تكريسها في القانون العام واللوائح التفصيلية (انظر الطبقات في الشكل 3-1).

الجدول 3-1 الجهات الفاعلة والأدوار والوظائف التي تحكم المياه العادمة

الجهات الفاعلة / الوظائف	المشرّع/السياسي/صانع السياسات	الجهات التنظيمية (البيئية، الصحية، الاقتصادية)	مالك النظام (المدينة، الوزارة، وكالة الأحواض)
وضع القوانين	تعريف واعتماد القوانين من خلال عملية تشاورية شاملة	تبادل التوقعات فيما يتعلق بدور الحوكمة	تبادل التوقعات فيما يتعلق بدور الحوكمة
صنع السياسات	تحديد واعتماد سياسات لتنفيذ القانون من خلال عمليات تشاورية شاملة	تبادل المعلومات حول الوضع الحالي وتفضيلات السياسات	تبادل المعلومات حول الوضع الحالي وتفضيلات السياسات
التخطيط والتنسيق ووضع الميزانية	تحديد طرق للتخطيط والتنسيق ووضع الميزانية	تبادل التفضيلات من خلال المشاركة البناءة	مشاورات رئيسية، وتحديد معايير لتقديم الخدمات؛ وتخصيص وصرف الميزانية
تمويل إدارة المياه العادمة	تحديد الإعانات وطرق التمويل	تنظيم التعريفات وجودة الخدمة	التخطيط المالي الاستراتيجي وقرار التعريفات
تطوير البنية التحتية للمياه العادمة وتشغيل الخدمات والمرافق الخاصة بها	دليل المعايير/اللوائح الخاصة بتشييد البنية التحتية وتشغيلها	تنظيم التعريفات وجودة الخدمة	تنسيق التخطيط المكاني، وقرارات تحديد المواقع/تقسيم المناطق؛ إعداد المناقصات، حسب نوع الخدمات/السلع
التنظيم – المراقبة والإنفاذ	تحديد الإطار التنظيمي	تنفيذ الإطار التنظيمي (بما في ذلك جمع المعلومات من مقدمي الخدمات وحاملي التصاريح، وضمان الامتثال، والتفتيش، وما إلى ذلك)	الإبلاغ عن الإجراءات المشبوهة
آليات الانتصاف (بما في ذلك السلطة القضائية)	تحديد السلطات المختصة بالانتصاف	مسؤول أو طرف في الشكوى	مسؤول أو طرف في الشكوى
الامتثال ومنع التلوث	وضع حوافز لمنع التلوث ومثبطات للتلوث	تنفيذ الحوافز (بما في ذلك الرصد والدعوة لمنع التلوث وكفاءة استخدام المياه)	دعم التنفيذ
الدعوة والاتصالات	تحديد أهداف السياسة وصيانة حيز الاتصال	الدعوة لمنع التلوث وكفاءة استخدام المياه	رفع مستوى الوعي والمعلومات لدى الجمهور، والتِماس السلوكيات المتوافقة من الصناعة والمنازل
تنمية القدرات	تحديد أهداف السياسة للقطاع؛ وتطوير القدرات	رصد القدرات وتحفيز التنمية	دعم التنمية
البحث والابتكار	تسليط الضوء على الاحتياجات البحثية، وضمان الدعم للبحث والتطوير	تسليط الضوء على الاحتياجات البحثية؛ تحفيز البحث والتطوير	تسليط الضوء على الاحتياجات البحثية؛ الإرشاد والانخراط في البحث والتطوير

*يتعلق التظليل بالمستوى النموذجي للمسؤولية: الأغمق = الرائد، الأفتح = الأقل انخراطاً

المصدر: وضعه المؤلفون والمساهمون.

	المشغل/مقدم الخدمة	المؤسسات الأكاديمية/ معاهد السياسات/مراكز الأبحاث	المنتج/المستهلك (الزراعة والصناعة والمنازل)	المجتمع المدني والمنظمات غير الحكومية
	تبادل التوقعات بشأن دور الحوكمة	تقديم مساهمات لتصميم القوانين	تبادل التوقعات بشأن دور الحوكمة من خلال المشاركة	مشاركة آراء المجتمع المدني فيما يتعلق بعمليات الحوكمة لتقديم المساهمات في تصميم القوانين
	تبادل المعلومات حول الوضع الحالي وتفضيلات السياسة	مشاركة المساهمات القائمة على الدليل لتصميم السياسات	تبادل المعلومات حول الوضع الحالي وتفضيلات السياسة	تبادل المعلومات حول الوضع الحالي وتفضيلات السياسة
	تبادل التفضيلات من خلال المشاركة البناءة	تبادل التفضيلات من خلال المشاركة البناءة	تبادل التفضيلات من خلال المشاركة البناءة	تبادل التفضيلات من خلال المشاركة البناءة
	جمع معلومات حول احتياجات الاستثمار وتكاليف التوريد	قد توفر المعلومات والنصيحة	دفع التعريفات وتوفير معلومات حول الاستعداد والقدرة على الدفع	مراقبة المساءلة المالية؛ زيادة الوعي بشأن تكلفة الخدمات
	أعمال بناء؛ صيانة، تشغيل؛ دفع الفواتير؛ جمع الإيرادات، والعلاقات مع العملاء	يمكن رصد العمليات والعمل كشاهد اجتماعي في اتفاقيات النزاهة (أداة منع الفساد)	يجب أن تشارك في قضايا مثل قرارات تحديد المواقع/تقسيم المناطق، والمقبولية، وما إلى ذلك	يمكن رصد العمليات والعمل كشاهد اجتماعي في اتفاقيات النزاهة (أداة منع الفساد)
	توفير المعلومات عند الطلب	إجراء دراسات طويلة الأمد وتحليل العمليات	الصناعة لتقديم المعلومات عند الطلب	إبلاغ سلطات إنفاذ القانون عن الإجراءات المشبوهة
	مسؤول أو طرف في الشكوى	خبير (صديق المحكمة)	مسؤول أو طرف في الشكوى	طرف في الشكوى و/أو خبير (صديق المحكمة)
	الامتثال للوائح؛ تحسين التكنولوجيا والتنظيم	دعم التنفيذ	تنفيذ إنتاج أنظف وإعادة استخدام التكنولوجيا؛ التخلص الصحيح من النفايات؛ تحسين الممارسات الزراعية	الدعوة لمنع التلوث وكفاءة استخدام المياه
	الدعوة لمنع التلوث وكفاءة استخدام المياه	دراسات طويلة الأجل وتحليل العمليات؛ وزيادة الوعي	الحوار مع الشركاء والجمهور حول رسائل السياسة	زيادة الوعي
	تطوير المهارات وإضفاء الطابع المهني على إدارة المياه العادمة وتقديم الخدمات	توفير التدريب والتعليم		
	المشاركة في البحث والتطوير واختبار حلول التكنولوجيا الجديدة	البحث في الملوثات، وأعباء التلوث، والوظائف البيئية، وتفاعلات النظام، والسلوك البشري	المشاركة في البحث والتطوير واختبار حلول التكنولوجيا الجديدة	تسليط الضوء على الاحتياجات البحثية، والمشاركة في البحث

3-2-1 الأطر القانونية

كشأن السياسات التي نوقشت أعلاه، فإن القوانين المطبقة تعمل أيضاً على مستويات مختلفة.

ويمكن أن تصبح الالتزامات الدولية مهمة في حال صرف المياه العادمة (مثل النفايات السائلة أو الصرف السطحي الزراعي) إلى الأنهار والبحيرات أو طبقات المياه الجوفية. وهناك معاهدتان دوليتان رئيسيتان تعالجان إدارة المياه العذبة العابرة للحدود:

1 - *تشترط اتفاقية الأمم المتحدة بشأن قانون استخدام المجاري المائية الدولية في الأغراض غير الملاحية* (الأمم المتحدة، 1997، التي دخلت حيز التنفيذ في عام 2014) أن تتخذ الدول جميع التدابير المناسبة لمنع التسبب في «أضرار جسيمة» للدول الأخرى التي تتقاسم مجرى مائياً دولياً (المادة 7) وأن تتعاون الدول لحماية المجاري المائية الدولية (المادة 8). وتستخدم العديد من الاتفاقيات الإقليمية هذه المبادئ أيضاً لأنها تعكس القانون الدولي العرفي.

2 - وقد وضعت (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا، 1992) *اتفاقية حماية واستخدام المجاري المائية العابرة للحدود والبحيرات الدولية* (اتفاقية المياه) كأداة إقليمية. ودخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في عام 1996، وأصبحت مفتوحة أمام الدول الأعضاء في الأمم المتحدة منذ عام 2013. وتتناول اتفاقية المياه الآثار العابرة للحدود ومبادئ الاستدامة والمبادئ الاحترازية ومبدأ الملوِّث يدفع (المادة 2)، وتشمل كذلك التزامات بمكافحة الانبعاثات الناتجة من الملوثات، والترخيص المسبق لصرف المياه العادمة.

وقد وضعت هذه الاتفاقيات إطاراً لتطوير المعاهدات والاتفاقات الإقليمية والثنائية. وينطبق القانون البيئي الدولي على إدارة النفايات الصلبة، بما في ذلك النفايات الخطرة، وإدارة تلوث الهواء، وكلها قد تؤثر على نوعية المياه، وأحياناً ما يكون ذلك بعيداً عن نقطة الصرف.

وعلى الصعيد الإقليمي، ينطبق التوجيه الإطاري للاتحاد الأوروبي بشأن المياه (2000/60/EC) (الاتحاد الأوروبي، 2000) على إدارة نوعية المياه، بما في ذلك المياه العادمة. ويتبنى التوجيه الإطاري بشأن النفايات منهج التقليل وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام فضلاً عن المبادئ الاحترازية ومبدأ الملوِّث يدفع (2008/98/EC) (الاتحاد الأوروبي، 2008). وتعتبر التشريعات المتعلقة بالنفايات الصلبة وثيقة الصلة وثيقة بالصرف الصحي غير المنقول بواسطة المياه وكذلك بإدارة الحمأة. ويتطلب البروتوكول المتعلق بالمياه والصحة الملحق باتفاقية المياه (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة الصحة العالمية، 1999، والذي بدأ نفاذه في عام 2005) من الأطراف أن تضع أهدافاً وطنية ومحلية تغطي دورة المياه بأكملها، بما في ذلك الصرف الصحي، بهدف حماية صحة الإنسان ورفاهه، وذلك من خلال تحسين إدارة المياه، وحماية النظم الإيكولوجية للمياه، والوقاية من الأمراض المتصلة بالمياه ومكافحتها والحد منها. أما المعاهدات الإقليمية الأخرى المتعلقة بالمياه، مثل بروتوكول المجاري المائية المشتركة الذي وقعته الجماعة الإنمائية للجنوب الأفريقي لأول مرة في عام 1995 وتم تنقيحه في عام 2000 (الجماعة الإنمائية للجنوب الأفريقي، 2000)، واتفاق التعاون من أجل التنمية المستدامة في حوض نهر الميكونغ (لجنة نهر الميكونغ، 1995)، فهي تعكس الأحكام العامة لاتفاقية الأمم المتحدة للمجاري المائية (الأمم المتحدة، 1997) والقانون الدولي العرفي، مثل قاعدة عدم الضرر والإخطار بالتدابير المخطط لها، غير أنها لا تتضمن التفاصيل المتعلقة بإدارة المياه العادمة عبر الحدود.

إن معظم قوانين مكافحة التلوث يتم وضعها وإنفاذها على الصعيدين الوطني أو المحلي. غير أنه في أحواض الأنهار العابرة

الإطار 3-1 الإطار المؤسسي الدولي للحماية المشتركة لنوعية المياه في منطقة الدانوب والبحر الأسود

يُعد حوض نهر الدانوب ثاني أطول حوض في أوروبا، حيث يسحب المياه من 19 دولة إلى البحر الأسود. وتاريخياً، تناولت اللجنة الدولية لحماية نهر الدانوب* الاستخدامات الملاحية. ويُشكل التعاون في منطقة الدانوب/البحر الأسود مثالاً للشراكات التي تعمل على مختلف المستويات لتحقيق أهداف متعددة تشمل جهات فاعلة مختلفة داخل أطر القوانين الدولية والإقليمية والوطنية.

وأعدت اللجنة، بوصفها الفريق الإداري الشامل، استراتيجية مشاركة وذلك لإشراك أصحاب المصلحة. وقد تم تقديم تمويل كبير من خلال مشاريع المياه الدولية لمرفق البيئة العالمية. وشمل ذلك العمل مع الدول ومع اللجنة لتحديد وتنفيذ حافظة استثمارية قوامها 500 مشروع تمثل استثمارات تتعلق بالحد من التلوث بما يزيد على 5 مليارات دولار أمريكي (Hudson, 2012).

وكان الافتقار إلى معالجة المياه العادمة محركاً هاماً في هذا البرنامج الاستثماري. في عام 2010، بدأت محطة بودابست المركزية لمعالجة المياه العادمة العمل كجزء من مشروع «نهر الدانوب الحي». وتقوم المحطة بمعالجة 95% من مياه بودابست العادمة قبل عودتها إلى البيئة، كما تضمن أيضاً استرداد المواد المغذية والطاقة.

* لمزيد من المعلومات، انظر www.icpdr.org/main/danube-basin

للحدود، قد تترتب على تصريف المياه العادمة في بلد ما آثار على بلد آخر باتجاه التيار.

ويمكن للأطر الدولية والإقليمية أن تساعد الدول على إدارة هذه الآثار العابرة للحدود. ويعرض الإطار 3-1 مثالاً للإجراءات المتخذة على المستويات الإقليمية والوطنية والمحلية لإدارة المياه وكذلك المياه العادمة.

3-2-2 اللوائح

فيما يخص حماية البيئة، تتعلق اللوائح عادة باستخدام التصاريح والتراخيص، وتطبيق معايير نوعية الانبعاثات أو المياه العادمة، أو تقسيم المناطق لاستخدام الأراضي (Sterner, 2003). كما تعزز اللوائح إنشاء نظم جمع ومحطات معالجة من خلال وضع معايير مناسبة للمعالجة وإعادة الاستخدام لأغراض مختلفة. وتُستخدم اللوائح «الاقتصادية» في الخدمات الحضرية التي تشمل توفير مياه الشرب وإدارة المياه العادمة المنصرفة من البلديات. وهذا يكفل استيفاء المعايير التكنولوجية والخدمية، وأن مستويات التعريفات والاستثمار كافية لتغطية تكاليف الخدمة، مع توفير معدل عائد معقول للاستثمارات المستقبلية (Groom et al., 2006). ويلزم أيضاً أن تكون الحلول محددة السياق وأن تعكس مختلف مراحل التنمية. ويمثل ضبط أو حظر استخدام بعض المواد وسيلة أخرى لمنع هذه المواد من الوصول إلى تدفقات المياه العادمة (انظر الإطار 4-2 والقسم 5-4-1).

قد تعالج اللوائح مستوى المعالجة أو العملية نفسها من خلال تحديد «المعالجة الثانوية» أو استخدام «أفضل التكنولوجيات المتاحة» التي قد يتم تحديدها لاحقاً. ويمكن أيضاً أن تنظم اللوائح نوعية النفايات السائلة من خلال وضع معايير للانبعاثات. وإذا كانت هناك معايير لنوعية المياه المحيطة بالمياه المستقبِلة، فيمكن تنظيم لوائح لمعالجة الاتجاهات والآثار التراكمية.

وفي الحالات التي يتوافر فيها للدولة القليل من اللوائح أو لا تكون لديها لوائح تتعلق بالمياه العادمة وتكون مواردها محدودة، توصي منظمة الصحة العالمية بقياس عدد قليل من المؤشرات الرئيسية ذات الأهمية القصوى لنوعية المياه، بدلاً من عدد أكثر من المعايير التي لا يمكن تنفيذها (Helmer and Hespanhol, 1997). ويمكن إصدار مبادئ توجيهية تشمل مجموعة واسعة من المؤشرات من أجل المساعدة في إدارة الآثار باتجاه التيار.

وتستفيد النظم المركزية الكبيرة من وفورات الحجم، ولكنها تستغرق وقتاً كي تتطور ويصعب عليها التكيف مع الظروف الاجتماعية والاقتصادية المختلفة (انظر الفصل الثاني عشر). ومن الشائع في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض أن تختلف الممارسات الموصوفة في النوايا السياسية والتعليمات التنظيمية اختلافاً كبيراً عما يجرى على أرض الواقع (Ekane et al., 2012 and 2014).

وتواجه المستوطنات الحضرية غير الرسمية في جميع أنحاء العالم أيضاً تحديات خاصة. ويمكن أن يتم تقديم الخدمات ذات الصلة بالمياه العادمة (مثل شركات نزح الصرف الصحي) من قبل مقدمي خدمات غير رسميين دون مراقبة أو دعم مناسبين من السلطات المعنية. وإذا لم تتم إدارة جمع ونقل أو إعادة تدوير حمأة الغائط بشكل صحيح، فقد يكون لهذا الأمر تداعيات كبيرة على صحة الإنسان.

ويمكن معالجة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات في الموقع وإعادة تدويرها على الفور، أو تصريفها في تيار المياه العادمة المنصرفة من البلديات (انظر الفصل السادس).

وتعتمد جدوى إعادة استخدام المياه على مصدرها والهدف من وراء إعادة استخدامها. ففي أستراليا، هناك العديد من الولايات التي لديها أهداف لاستخدام المياه العادمة، وتوفر حكومة الكومنولث إرشادات واسعة حول إعادة استخدام المياه (المجلس الوزاري لإدارة الموارد الوطنية/مجلس حماية البيئة والتراث/ المجلس الأسترالي الوطني للبحوث الصحية والطبية، 2009). وقد وضعت بعض الولايات أطراً تنظيمية، بما في ذلك أطر الاستخدام المباشر للشرب (الأكاديمية الأسترالية للعلوم التكنولوجية والهندسة، 2013).

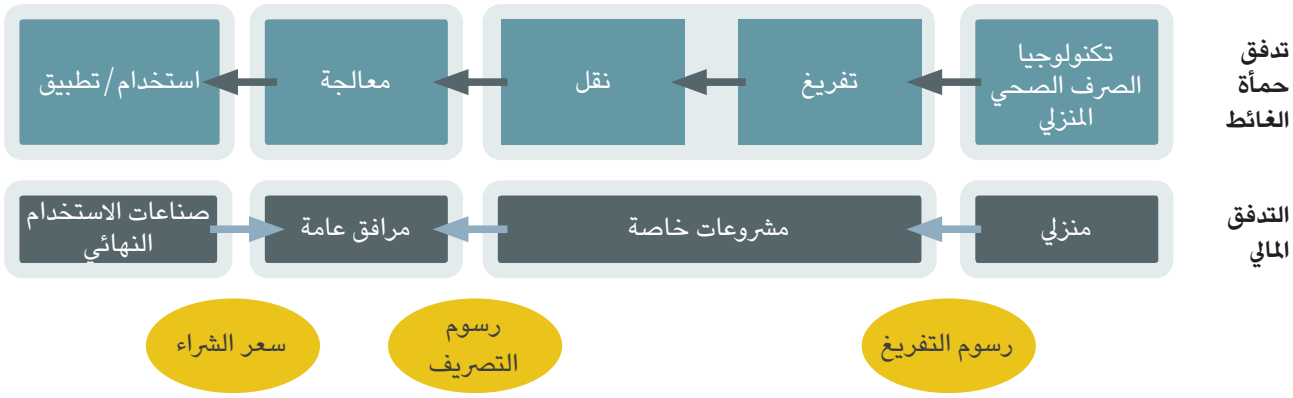
ولاحتياطات السلامة أهمية خاصة في حالة إعادة استخدام المياه العادمة لأغراض الشرب، وهو ما يتطلب استخدام حواجز متعددة، وذلك باستخدام عدة تقنيات متسلسلة من أجل ضمان جودة المياه، فضلاً عن استخدام أنظمة تحكم متطورة، وقبل كل شيء، ضمان سجلات ممتازة حول نوعية المياه. ونتيجة لذلك، غالباً ما توفر هذه النظم معايير جودة أعلى من مصادر المياه الخام الأخرى. وعلى الرغم من ذلك، هناك حاجة إلى حملات إعلامية واسعة النطاق ومشاركة الجمهور لبناء الثقة في النظام (انظر الفصل السادس عشر).

وتُستخدم المياه العادمة غير المعالجة بانتظام في أغراض الري الزراعي وتربية الأحياء المائية (انظر الفصلين السابع والسادس عشر). وفي حين أن استخدام العادم المائي الأسود قد يوفر عناصر مغذية ذات قيمة، فإنه يمكن أن ينطوي على أخطار أيضاً، ليس فقط بالنسبة للعمال بل أيضاً لمستهلكي المنتجات الغذائية (منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ)).

3-3 التمويل

إن إدارة المياه العادمة أمر مكلف ويعاني من مشاكل في العمل الجماعي، ذلك أن الفوائد تعود على الناس عامة والأجيال

الشكل 3-2 نموذج التدفق المالي لإدارة حمأة الغائط



المصدر: Strande et al.، (2014، الشكل 13-3، ص 279).

المقبلة، وليس مباشرة على أولئك الذين يستثمرون في تحسين معالجة المياه العادمة أو الحد من التلوث. وعلاوة على ذلك، لا تتحقق الفوائد الحقيقية إلا بعد أن يتقيد الجميع (أو عدد كافٍ من الجهات الفاعلة) بقواعد حماية موارد المياه من التلوث. وبهذا تكون إدارة المياه العادمة وخدمات الصرف الصحي أكثر تعقيداً وتكلفة بكثير من توفير إمدادات مياه الشرب (Jackson, 1996; Hophmayer Tokich, 2006).

ويمكن استخدام أدوات اقتصادية لتحفيز منع التلوث، ولكي تكون هذه الأدوات فعالة، يجب أن تقترن بالمعلومات والدعم والتنظيم الفعال. ويمكن وضع قواعد للمحاسبة على صرف الملوثات أو فرض ضرائب على النفايات السائلة وفقاً لمبدأ الملوِّث يدفع (Olmstead, 2010).

وتهيمن التكاليف الرأسمالية على تمويل البنية التحتية المركزية للمياه العادمة. وفي معظم البلدان، تم تمويل البنية التحتية الجديدة من خلال تحويلات المال العام (منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، 2010). وتعتمد عدة بلدان تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض بالدرجة الأولى على عمليات تحويل المعونة لتمويل قطاعات المياه والصرف الصحي (منظمة الصحة العالمية، 2014 (أ)). وتعتمد البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المتوسط أيضاً على عمليات تحويل المعونة. وفي بنما، حيث يوجد اعتراض سياسي قوي ضد الزيادة في التعريفات، ظلت التعريفات على حالها منذ أكثر من عقدين (منظمة الصحة العالمية، 2014 (أ)؛ فرناندیز وآخرون، 2009).

ويَظهر الإحجام عن تخصيص موارد مباشرة للمياه العادمة والصرف الصحي من خلال مبادرة تتبع تمويل خدمات الصرف الصحي والنظافة الشخصية ومياه الشرب[3] التي تم تجريبها في البرازيل وغانا والمغرب. وكما ورد في الدراسة العالمية التي أجرتها لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية لتحليل وتقييم خدمات الصرف الصحي ومياه الشرب، تبَيَّن أن معظم الأموال موجهة إلى إمدادات مياه الشرب في القطاع الحضري، على الرغم من أن تغطية خدمات الصرف الصحي في المناطق الريفية كانت أقل بكثير (منظمة الصحة العالمية، 2014 (أ)). ويمكن تطبيق السياسات المناصرة للفقراء أو تدابير القدرة على تحمل التكاليف عبر تعريفات المياه والمياه العادمة على حد سواء. ووفقاً للدراسة العالمية لتحليل وتقييم خدمات الصرف الصحي ومياه الشرب، تبَيَّن أن أكثر من 60% من البلدان لديها خطط لتحمل تكاليف الصرف الصحي، ولكن نصف هذه البلدان فقط قام بتطبيق تلك الخطط على نطاق واسع (منظمة الصحة العالمية، 2014 (أ)).

وبمجرد أن يتم تشغيل البنية التحتية، تتم تغطية تكاليف التشغيل والصيانة والتكاليف الرأسمالية المستقبلية بشكل تدريجي من خلال التعريفات التي يتم تحصيلها من المستخدمين. غير أن الاسترداد الكامل للتكاليف كثيراً ما يكون

3 مبادرة تتبع تمويل خدمات الصرف الصحي والنظافة الشخصية ومياه الشرب – لمزيد من المعلومات انظر:
http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/investments/trackfin/en/

أمراً صعباً، فمن الشائع، في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض والمتوسط، أن تغطي الحكومة تكاليف تشغيل وصيانة خدمات الصرف الصحي من خلال الدعم الذي تقدمه (منظمة الصحة العالمية، 2014 (أ)). وفي حال عدم توفر الدعم الحكومي الكافي، قد يؤدي نقص التمويل إلى تأجيل الصيانة وتعثر التشغيل وتدهور النظام.

إن الفوائد التي تعود على المجتمع من إدارة النفايات البشرية كبيرة، سواء بالنسبة للصحة العامة أو البيئة، فكل دولار أمريكي يُنفق على خدمات الصرف الصحي يُدِر عائداً يقدَّر بنحو 5.5 دولار أمريكي (Hutton and Haller, 2004). وعلى الرغم من صعوبة قياس ذلك من الناحية النقدية في كثير من الأحيان، فمن المهم تحديد سبل تقييم هذه الفوائد الاجتماعية والبيئية الأوسع وتوجيه الموارد المالية نحو تحقيق هذه الاستثمارات (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب)).

وهناك فوائد اقتصادية وبيئية كبيرة من استخدام المياه العادمة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب))، ولكن قد يكون من الصعب تمويل هذه المشاريع من خلال التعريفات، لأن المستخدمين في معظم المناطق الحضرية يتحملون تكاليف خدمات مياه الشرب والصرف الصحي ومعالجة المياه العادمة في فاتورة واحدة (فمن غير الممكن أن يدفعوا مقابل خدمة واحدة فقط دون الخدمات الأخرى)، ومن الصعب حصر الفوائد من الناحية النقدية. وبالتالي، تعتمد معظم مشاريع إعادة استخدام المياه على الدعم الذي يتم تحصيله من الضرائب (Molinos Senante et al., 2011).

وعندما يتعلق الأمر باسترداد العناصر المغذية من خلال إدارة حمأة الغائط، فإن العديد من نماذج الأعمال التجارية تكون ذات جدوى (انظر الفصل السادس عشر). ويُظهر الشكل 3-2 نموذجاً بسيطاً يوضح كيف يَسترد مرفق ما التكلفة الكاملة من خلال رسوم الصرف والإيرادات من بيع حمأة الغائط المعالَجة (Strande et al., 2014).

إن تحليل التكاليف والفوائد هو الأداة الأكثر استخداماً والمقبولة على نطاق واسع لتحليل تقييم المشروعات اقتصادياً. ويُعد تحليل تكلفة عدم اتخاذ إجراء مقابل تكلفة اتخاذ إجراء أمراً مفيداً في تقييم الفوائد الاقتصادية للاستثمار في المياه العادمة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب)). ويؤكد (Guest et al., 2009) على أهمية مشاركة أصحاب المصلحة مبكراً في أي عملية صنع قرار لضمان قبول المقترحات، بصرف النظر عن أي دليل على الفوائد الاقتصادية أو التوفير في التكاليف.

4-3 الجوانب الاجتماعية والثقافية

يشجع انخراط المواطنين في صنع القرار على جميع المستويات على المشاركة والأخذ بزمام المبادرة. ويشمل ذلك القرارات بشأن أنواع مرافق الصرف الصحي المرغوبة والمقبولة، وكيف يمكن تمويلها والحفاظ عليها بشكل آمن في المستقبل (انظر الجدول 3-1). ومن المهم جداً الوصول إلى الفئات المهمَّشة والأقليات الإثنية والأشخاص الذين يعيشون في فقر مدقع في المناطق الريفية النائية أو في المستوطنات الحضرية غير الرسمية، وكذلك التعامل مع النساء اللاتي يتحملن العبء الأكبر من العواقب الصحية في حالة الإدارة غير المأمونة للنفايات البشرية.

يؤثر التصور العام على عملية صنع القرار ويقلل ما يمكن تنفيذه، خاصة عندما يتعلق الأمر بإعادة استخدام المياه. وفي بعض الأحيان، تكون خيارات إعادة الاستخدام الرشيد اقتصادياً غير قابلة للتطبيق، على سبيل المثال بسبب التصور بأن المواد البرازية قد تظل موجودة في المياه العادمة التي يُحتمل أن يكون قد تم معالجتها بشكل غير وافٍ. لذا، فمن المهم النظر في الاستخدامات الآمنة والمناسبة والمقبولة مع أنواع المياه المختلفة. كما أن المفاهيم والوعي بالمخاطر وتقسيم العمال على أساس الجنس هي أيضاً عوامل مهمة لكيفية حماية الناس لصحتهم وصحة الآخرين فيما يتعلق باستخدام المياه العادمة في إنتاج الأغذية (انظر الإطار 2-2).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن ينطوي تنفيذ السياسات على مشاكل اجتماعية وسياسية معقدة، فالفساد شائع في خدمات المياه والمياه العادمة، ويرجع ذلك جزئياً إلى الوضع الاحتكاري لمقدمي الخدمات وتواتر المشاريع الرأسمالية الكبيرة (منظمة الشفافية الدولية، 2008). وفيما يتعلق بتراخيص التلوث والرصد والإنفاذ، فإن العوامل التي تشجِّع ممارسات الفساد منتشرة، و«غض الطرف» عن تلك الأمور يسمح باستمرار المشكلة. وحيثما يكون الفساد شائعاً، سيكون من المهم ترسيخ مبدأ النزاهة في إنفاذ اللوائح التنظيمية (Rothstein and Tannenberg, 2015).

ويمكن تعزيز النزاهة في عملية إدارة موارد المياه عن طريق بناء نظم أكثر مقاومة للفساد. ومن خلال تعزيز الشفافية والمساءلة والمشاركة في القطاع، يمكن تقليل فرص الفساد (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي/مرفق حوكمة المياه بمعهد ستوكهولم الدولي للمياه/الشبكة الدولية لتطوير القدرات في الإدارة المستدامة للمياه/شبكة النزاهة في مجال المياه، 2009، شبكة النزاهة في مجال المياه، 2016).

الفصل الرابع

البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية: أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، وريتشارد كونور

بمساهمات من: جاك موس (منظمة الاتحاد الدولي للمؤسسات الخاصة للإمداد بالمياه - أكوافيد)؛ كيت هيل (الرابطة الدولية لأخصائيي العلوم المائية)؛ بيرغوي م. لاميزانا - ديالو (برنامج الأمم المتحدة للبيئة)؛ بيتر فان دير ستين وتينيك هويجمانز (معهد التثقيف في أمور المياه التابع لليونسكو)؛ سارانتويا زاندارياا (البرنامج الهيدرولوجي الدولي التابع لليونسكو)؛ منظور قادر (الشبكة الدولية للمياه والبيئة والصحة التابعة لجامعة الأمم المتحدة)؛ وكيت ميدليكوت (منظمة الصحة العالمية)

الجوانب الفنية للمياه العادمة

منظر من الجو لمحطة غاز جيوي لمعالجة مياه الصرف الصحي

يلخص هذا الفصل لغير المتخصصين في مجال المياه بعض الجوانب الفنية الأساسية بشأن مختلف مصادر المياه العادمة، والآثار المحتملة للمعالجة غير الملائمة، وتكنولوجيات الجمع والمعالجة، وكذلك احتياجات البيانات والمعلومات.

1-4 مصادر ومكونات المياه العادمة

هناك إحصائية غالباً ما تتم الإشارة إليها، وهي أن المياه العادمة تتكون تقريباً من 99% مياه و1% مواد عالقة وغروية وذائبة (انظر على سبيل المثال لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية 2015 (أ)). وعلى الرغم من أن التكوين الدقيق للمياه العادمة يختلف بشكل واضح من مصدر لآخر وكذلك مع مرور الوقت، تبقى المياه هي المكون الرئيسي لها. ويمكن أن تحتوي المصادر المختلفة للمياه العادمة أنواعاً أخرى من المكونات بتركيزات مختلفة (انظر الجدول 4-1).

ومن المرجح أن تحتوي المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمنازل على نسبة عالية من البكتيريا، على الرغم من أن معظم البكتيريا الموجودة في براز الإنسان ليست مسببة للأمراض بطبيعتها. ومع ذلك، فعندما تحدث عدوى ينتشر في البيئة من خلال البراز عدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (مثل البكتيريا والفيروسات والأوبئة والديدان الطفيلية). ومن أجل الحد من انتشار هذه الأمراض، غالباً ما تكون إزالة مسببات الأمراض هي الهدف الرئيسي لأنظمة معالجة المياه العادمة.

ويمكن أن تحتوي المياه العادمة الناتجة عن الأنشطة الصناعية والتعدين، وكذلك من إدارة النفايات الصلبة (مثل السوائل الراشحة من مدافن القمامة) على مركبات عضوية سامة مثل الهيدروكربونات، وثنائي الفينيل متعدد الكلور، والملوثات العضوية الثابتة، والمركبات العضوية المتطايرة، والمذيبات المكلورة. ويمكن أن تؤدي كميات صغيرة جداً من مركبات عضوية معينة إلى تلويث كميات كبيرة من الماء. فعلى سبيل المثال، يكفي لتر واحد من البنزين لتلويث مليون لتر من المياه الجوفية (حكومة كندا - بدون تاريخ).

ويمكن تعريف «الملوثات الناشئة» (انظر الإطار 4-1) على أنها «أي مادة كيميائية اصطناعية أو طبيعية أو أي كائنات حية دقيقة لا تتم مراقبتها بشكل عام، ولكنها يمكن أن تدخل إلى البيئة وتسبب آثاراً بيئية و/أو آثاراً على صحة الإنسان» (مصلحة المسح الجيولوجي الأمريكية - بدون تاريخ). والفئات الرئيسية للملوثات الناشئة الموجودة في المياه العادمة هي المستحضرات الصيدلانية (مثل المضادات الحيوية، والمسكنات، والأدوية المضادة للالتهابات، والأدوية النفسية وغيرها) والمنشطات والهرمونات (مثل أدوية منع الحمل) ومنتجات العناية الشخصية (مثل العطور، ومستحضرات الوقاية من الشمس، وطرد الحشرات، وكذلك الميكروبيدات، والمطهرات)، ومبيدات الحشرات، ومبيدات الأعشاب، ومخفضات التوتر السطحي، والنواتج الأيضية،

الإطار 4-1 الملوثات الناشئة

توجد الملوثات الناشئة بتركيزات مختلفة في المياه العادمة المعالجة وغير المعالجة التي يتم تصريفها من البلديات، وكذلك في النفايات السائلة الصناعية ومياه الصرف السطحي الزراعي التي تذهب إلى الأنهار والبحيرات والمياه الساحلية (اليونسكو، 2011). كما تم اكتشاف تلك الملوثات أيضاً في مياه الشرب (Raghav et al., 2013)، حيث إن عمليات معالجة المياه العادمة التقليدية وعمليات تنقية المياه ليست فعالة في إزالتها. ويمكن أن تساعد التقنيات المتقدمة لمعالجة المياه العادمة (الترشيح الغشائي، والترشيح النانوي، والترشيح الفائق، والتناضح العكسي) في إزالة بعض المواد الكيميائية والمركبات الصيدلانية النشطة (González et al., 2016). ولا تزال المخاطر المحتملة على صحة الإنسان الناجمة عن الملوثات الناشئة عن طريق التعرض لمياه الشرب والمنتجات الزراعية تشكل مصدر قلق.

ولم تُقيَّم آثار الملوثات الفردية على صحة الإنسان والنظام الإيكولوجي إلا على نحو هامشي، في حين لم تُدرس الآثار التراكمية على الإطلاق. وهناك أدلة علمية على أن العديد من المواد الكيميائية المعترف بها كملوثات ناشئة يمكن أن تسبب اختلال في وظائف الغدد الصماء في البشر وكذلك في الحياة البرية المائية (مما يسبب عيوباً خلقية واضطرابات في النمو، ويؤثر على الخصوبة والصحة الإنجابية)، حتى ولو بتركيزات منخفضة جداً (Poongothai et al., 2007)، فضلاً عن الأورام السرطانية وتطوير المقاومة لدى مسببات الأمراض البكتيرية، بما في ذلك مقاومة الأدوية المتعددة.

المصدر: مقتبس من (Muñoz et al. 2009)

بمساهمة من سارانتويا زانداريا (اليونسكو- البرنامج الهيدرولوجي الدولي).

الجدول 4-1 مزايا وعيوب أنواع مختارة من نظم معالجة المياه العادمة

مصادر المياه العادمة	المكونات النموذجية
المياه العادمة المنصرفة من المنازل	المخلفات البشرية (الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض) والعناصر المغذية والمواد العضوية. قد تحتوي أيضاً على ملوثات ناشئة (مثل المستحضرات الصيدلانية والأدوية والمنتجات التي تسبب اختلال في وظائف الغدد الصماء)
المياه العادمة المنصرفة من البلديات	مجموعة كبيرة جداً من الملوثات مثل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض والعناصر المغذية والمواد العضوية والمعادن الثقيلة والملوثات الناشئة
مياه الصرف السطحي المنصرفة من المناطق الحضرية	مجموعة كبيرة جداً من الملوثات بما في ذلك منتجات الاحتراق غير الكاملة (مثل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، والكربون الأسود/السخام الناتج من احتراق الوقود الأحفوري) والمطاط، وزيت المحركات، والمعادن الثقيلة، والنفايات غير القابلة للتحلل/العضوية (خاصة البلاستيك الذي يتم تجميعه من الطرق ومواقف السيارات) والجسيمات العالقة والأسمدة والمبيدات (من الحدائق)
الصرف السطحي الزراعي (الصرف السطحي)	الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، العناصر المغذية من الأسمدة المستخدمة في التربة والمبيدات الحشرية ومبيدات الآفات المستخدمة في الأنشطة الزراعية
الإنتاج الحيواني	الأعباء العضوية (غالباً ما تكون مرتفعة جداً) والمخلفات البيطرية (مثل المضادات الحيوية وهرمونات النمو الاصطناعي)
تربية الأحياء المائية في المناطق الداخلية	عادة ما تكون النفايات السائلة من أحواض الاستيطان غنية بالمواد العضوية، والمواد الصلبة العالقة (الجسيمات)، والعناصر المغذية الذائبة والمعادن الثقيلة والملوثات الناشئة
المياه العادمة المنصرفة من الصناعات	تعتمد الملوثات على نوع الصناعة (انظر الجدول 6-4 للاطلاع على التفاصيل)
أنشطة التعدين	غالباً ما يحتوي الصرف من المخلفات على مواد صلبة عالقة وأملاح ذائبة قلوية وحمضية (تحتاج تعديل درجة الحموضة)، وسيانيد ومعادن ثقيلة. وقد يحتوي أيضاً على عناصر مشعة، اعتماداً على نشاط التعدين (انظر الجدول 6-4 لمزيد من التفاصيل)
توليد الطاقة	المياه التي يتم توليدها في قطاع الطاقة غالباً ما تكون مصدراً للتلوث الحراري (الماء الساخن) وعادة ما تحتوي على النيتروجين (مثل الأمونيا، النترات) وإجمالي المواد الصلبة الذائبة، والكبريتات والمعادن الثقيلة (انظر الجدول 6-4 لمزيد من التفاصيل)
السوائل الراشحة من مدافن القمامة	الملوثات العضوية وغير العضوية، مع تركيزات عالية من المعادن والمواد الكيميائية العضوية الخطرة

المصدر: وفقاً لوكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة (2015 - وبدون تاريخ ب)؛ الأمم المتحدة (بدون تاريخ ب)؛ أكسيل وكولداس (2006)؛ حكومة كولومبيا البريطانية (1992)؛ تشوبانوغلوس وآخرون (2003).

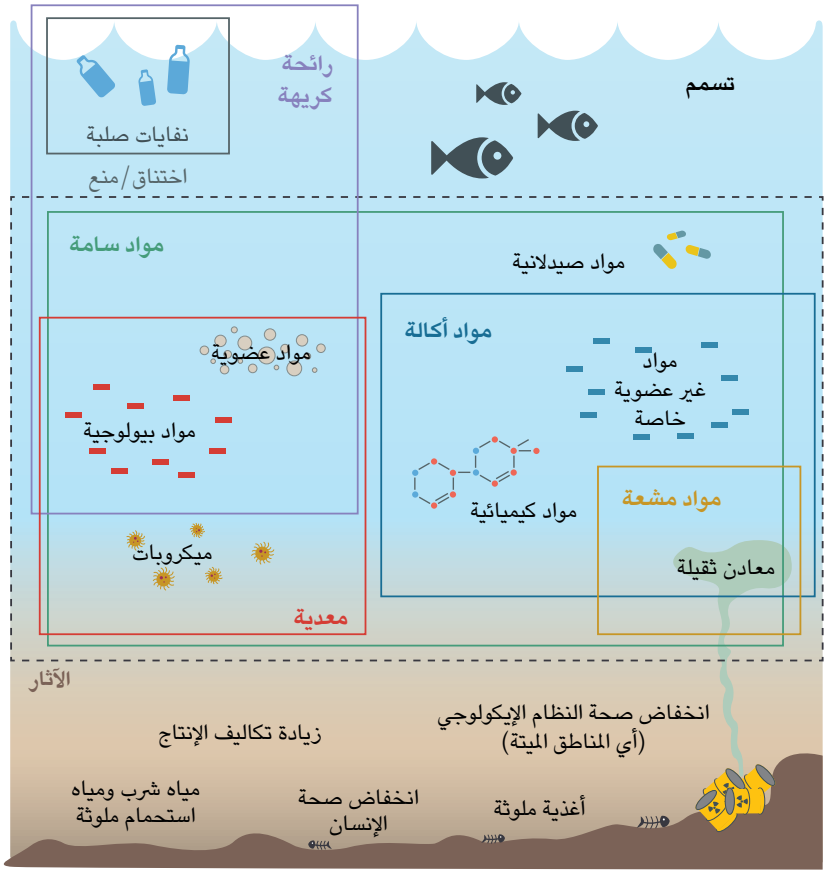
الإطار 4-2 منع ملوثات المياه العادمة: مثال الميكروبيدات

توجد الميكروبيدات في بعض المنتجات الاستهلاكية مثل منظفات الوجه ومعجون الأسنان. وبعد الاستخدام، ينتهي المطاف بهذه الجسيمات الكروية المصنوعة من البولي إيثيلين أو البولي بروبلين في المياه العادمة. وبمجرد دخول الميكروبيدات إلى نظام معالجة المياه العادمة فإن بعض محطات المعالجة تستطيع إزالتها. إن مخاطر الميكروبيدات على الحياة المائية والصحة العامة ليست مفهومة جيداً بعد، ولكن الجسيمات نفسها قد تحتوي على سموم أو تجتذب سموماً أخرى في الماء (Copeland, 2015).

وفي كانون الأول/ديسمبر 2015، طلبت حكومة الولايات المتحدة من الشركات المُصنِّعة الأمريكية وقف استخدام الميكروبيدات في المنتجات بحلول 1 تموز/ يوليو 2017 ووقف بيع المنتجات التي تحتوي على ميكروبيدات بحلول 1 تموز/يوليو 2018. وفي حزيران/يونيو 2016، أضافت كندا الميكروبيدات إلى قائمة المواد السامة تحت قانون حماية البيئة الكندي، مما مَكَّن الحكومة من تنظيم وحظر استخدام الميكروبيدات (حكومة كندا، 2016). وفي أيلول/ سبتمبر 2016، أعلنت حكومة المملكة المتحدة عن خطط لحظر استخدام الميكروبيدات في مستحضرات التجميل ومنتجات العناية الشخصية (وزارة البيئة والأغذية والشؤون الريفية البريطانية، 2016).

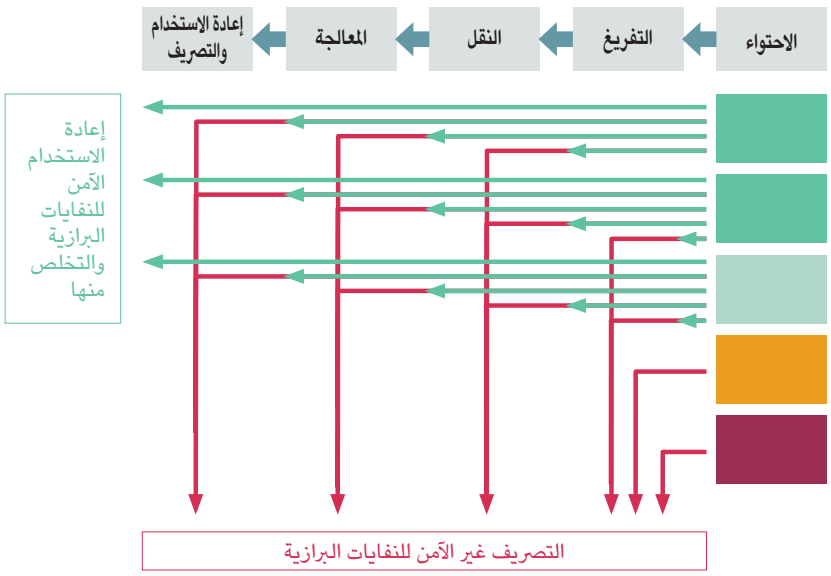
ويمكن بسهولة استبدال الميكروبيدات بمكونات طبيعية مثل قشر اللوز والمشمش، وقد أعلنت العديد من الشركات الكبيرة بالفعل أنها ستوقف استخدام هذه المنتجات البلاستيكية الدقيقة. كما أدى العمل المشترك بين القطاعين العام والخاص إلى القضاء فعلياً على التوجهات الاقتصادية الرامية إلى تأخير حظر هذه المواد.

الشكل 4-1 مكونات المياه العادمة وآثارها



المصدر: مقتبس من (Corcoran et al., 2010، الشكل 5، ص 21).

الشكل 4-2 إطار نفايات البراز لتقدير نسبة خدمات الصرف الصحي والمياه العادمة التي يتم إدارتها بشكل آمن



المصدر: مقتبس من منظمة اليونيسف ومنظمة الصحة العالمية (2015، الشكل 39، ص 44).

ومثبطات اللهب، والمضافات الصناعية، والمواد الكيميائية، والمواد البلاستيكية، ومضافات البنزين. ونادراً ما يتم التحكم في الملوثات الناشئة أو رصدها، ويلزم إجراء مزيد من البحوث لتقييم آثارها على صحة الإنسان والبيئة. ومن الممكن تقليل/تخفيف استخدام وإطلاق أنواع معينة من الملوثات الناشئة وذلك من خلال التنظيم الحكومي (انظر الإطار 4-2) ومشاركة القطاع الخاص.

4-2 آثار تصريف المياه العادمة بدون معالجة أو بدون معالجة وافية

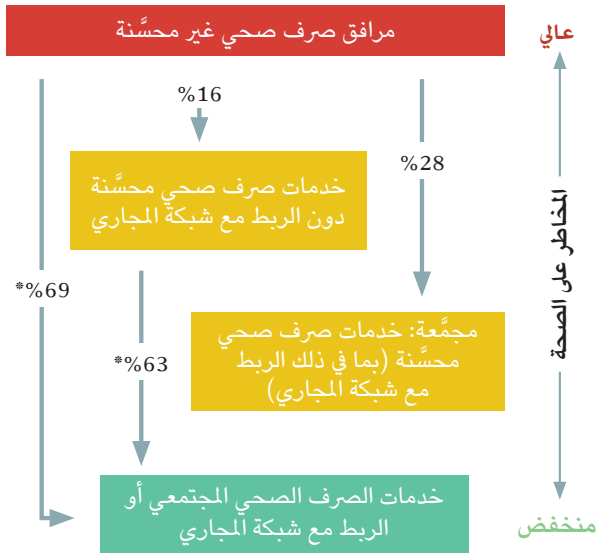
يؤدي تصريف المياه العادمة غير المعالجة أو المعالجة جزئياً إلى تلوث المياه السطحية والتربة والمياه الجوفية. وبمجرد تصريف المياه العادمة إلى المسطحات المائية، فإنها إما أن تخفف وتُنقل باتجاه التيار أو تتسرب إلى طبقات المياه الجوفية، حيث يمكن أن تؤثر على نوعية إمدادات المياه العذبة (وبالتالي توافرها). وكثيراً ما تكون الوجهة النهائية للمياه العادمة المنصرفة في الأنهار والبحيرات هي المحيط.

ويمكن تصنيف آثار تصريف المياه العادمة غير المعالجة أو غير المعالجة بشكل واف إلى ثلاث مجموعات: الآثار الضارة بصحة الإنسان المرتبطة بالنوعية المنخفضة للمياه؛ والآثار البيئية السلبية الناجمة عن تدهور المسطحات المائية والنظم الإيكولوجية؛ والآثار المحتملة على الأنشطة الاقتصادية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب)). ويبين الشكل 4-1 مكونات المياه العادمة وآثارها.

4-2-1 الآثار على صحة الإنسان

على الرغم من التحسن الكبير في مرافق الصرف الصحي منذ عام 1990، فإن المخاطر على الصحة العامة ما تزال موجودة بسبب ضعف الاحتواء، والتسرب أثناء التفريغ والنقل، وعدم كفاءة معالجة مياه المجارير (انظر الشكل 4-2). حيث يقدر أن 26% فقط من خدمات الصرف الصحي والمياه العادمة في المناطق الحضرية و34% منها في المناطق الريفية تمنع بشكل فعال الاتصال البشري بالفضلات على امتداد سلسلة المرافق الصحية بأكملها، وبالتالي يمكن اعتبار ذلك إدارة آمنة (Hutton and Varughese, 2016).

الشكل 3-4 التحولات في مجال الصرف الصحي والانخفاضات المرتبطة بها في أمراض الإسهال



**تستند هذه التقديرات إلى أدلة محدودة، ولذلك ينبغي اعتبارها تقديرات أولية، ولم تستخدم في تقدير معدلات الإصابة بالمرض.*

المصدر: منظمة الصحة العالمية 2014 (ب)، (الشكل 11، الصفحة 12).

ولا تزال الأمراض المتعلقة بالصرف الصحي والمياه العادمة منتشرة على نطاق واسع في البلدان التي تنخفض فيها تغطية هذه الخدمات حيث يكون الاستخدام غير الرسمي للمياه العادمة غير المعالجة في إنتاج الأغذية مرتفعاً وحيث يكون الاعتماد على المياه السطحية الملوثة في أغراض الشرب والاستخدام الترفيهي أمراً شائعاً. وفي عام 2012، سُجِّلت نحو 842000 حالة وفاة في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المتوسط والمنخفض بسبب مياه الشرب الملوثة، وعدم كفاية مرافق غسل الأيدي، وكذلك عدم كفاية خدمات الصرف الصحي (منظمة الصحة العالمية، 2014 (ب)).

ويُعد تحسين خدمات الصرف الصحي ومعالجة المياه العادمة أيضاً استراتيجية تدخل رئيسية للسيطرة على العديد من الأمراض الأخرى والقضاء عليها، بما في ذلك الكوليرا وبعض الأمراض المدارية المهملة، مثل حمى الضَّنك، وداء التنينات، وداء الفيل، وداء البلهارسيا، والديدان المنقولة بواسطة التربة، والتراخوما (Aagaard -Hansen and Chaignat, 2010). ويمكن أن يساهم الحصول على مرافق الصرف الصحي المحسنة بشكل كبير في الحد من المخاطر الصحية (انظر الشكل 4-3)، ويمكن تحقيق المزيد من المكاسب الصحية من خلال توفير خدمات صرف صحي مدارة بشكل آمن ومياه عادمة معالجة بشكل آمن أيضاً.

4-2-2 الآثار البيئية

يؤثر تصريف المياه العادمة غير المعالجة إلى البيئة على نوعية المياه، مما يؤثر بدوره على كمية الموارد المائية المتاحة للاستخدام المباشر. وتزداد المخاوف بشأن نوعية المياه باعتبارها بُعداً هاماً من أبعاد الأمن المائي في جميع أنحاء العالم (انظر المقدمة). ومنذ عام 1990، تزايد تلوث المياه في معظم الأنهار في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية، وذلك بسبب تزايد كميات المياه العادمة نتيجة للنمو السكاني وزيادة النشاط الاقتصادي وتوسيع نطاق الزراعة فضلاً عن تصريف مياه المجارير دون معالجة (أو بمستويات الحد الأدنى فقط من المعالجة) (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2016). كما أن عدم كفاية إدارة المياه العادمة يؤثر بشكل مباشر على النظم الإيكولوجية والخدمات التي تقدمها (Corcoran et al., 2010) (انظر الفصل الثامن).

وحيث يمكن أن يؤدي الإغناء بالعناصر المغذية، الذي يحركه النيتروجين والفوسفور الزائد، إلى تكاثر الطحالب السامة وتراجع التنوع البيولوجي. ويفسر تصريف المياه العادمة غير المعالجة في البحار والمحيطات جزئياً السبب في أن مساحة المناطق الميتة منزوعة الأكسجين تنمو بسرعة: إذ يتأثر ما يقدر بنحو 245000 كم مربع من النظم الإيكولوجية البحرية، وهو ما يؤثر على مصايد الأسماك وسبل العيش والسلاسل الغذائية (Corcoran et al., 2010).

4-2-3 الآثار الاقتصادية

نظراً لأن توافر المياه العذبة أمر بالغ الأهمية للحفاظ على الرفاهية الاقتصادية لأي مجتمع بشري، فإن سوء نوعية المياه يشكل عقبة إضافية أمام التنمية الاقتصادية، كما يعيق الإنتاجية الزراعية في المناطق الريفية وشبه الحضرية. ويمكن أن تؤثر المياه الملوَّثة

> عندما يتسبب تصريف المياه العادمة في أضرار بيئية،تنشأ التكاليف الخارجية (العوامل الخارجية)وتضيع الفوائد المحتملة لاستخدام المياه العادمة

تأثيراً مباشراً على الأنشطة الاقتصادية التي تستخدم المياه مثل الإنتاج الصناعي ومصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية والسياحة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب))، ويمكن أن تحدّ بشكل غير مباشر من تصدير بعض السلع بسبب القيود (وحتى الحظر) على المنتجات الملوَّثة.

ففي منطقة الكاريبي على سبيل المثال، تعتمد اقتصادات العديد من الجزر الصغيرة بشكل كبير على جودة شعابها المرجانية في السياحة ومصايد الأسماك وحماية السواحل (Corcoran et al., 2010)، ولكن هذه الشعاب معرضة للتهديد بسبب تصريف المياه العادمة غير المعالجة. وفي حين أن تلوث البيئات الطبيعية قد يعرقل الأنشطة الاقتصادية، فإن السياحة نفسها والطلب المتزايد على المرافق الصديقة للبيئة يمكن أن يوفرا مصدر جذب للاستثمارات في الحفاظ على البيئات الطبيعية، وبالتالي يعملان كعامل إضافي محفز لتحسين إدارة المياه العادمة.

وعندما يتسبب تصريف المياه العادمة في أضرار بيئية، تنشأ التكاليف الخارجية (العوامل الخارجية) وتضيع الفوائد المحتملة لاستخدام المياه العادمة. ويمكن إجراء دراسة اقتصادية حول تحسين إدارة المياه العادمة من أجل الحد من الآثار السلبية التي يمكن أن تسببها وتحقيق أقصى قدر من الفوائد التي يمكن أن تنتج عنها. وإذا ما تم الاعتراف بالمياه العادمة كسلعة اقتصادية، فإن المياه العادمة المعالَجة بشكل مناسب يمكن أن تكون ذات قيمة إيجابية لكل مَن ينتجها ويستهلكها (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب)).

3-4 جمع ومعالجة المياه العادمة

يتناول الفصل الخامس عشر فرص تعزيز أنظمة جمع ومعالجة المياه العادمة، ويتناول هذا الجزء العمليات الأساسية من وجهة نظر تقنية أكثر. هناك نوعان أساسيان من أنظمة جمع ومعالجة المياه العادمة:

- **أنظمة خارج الموقع**، حيث يتم نقل النفايات من خلال شبكة الصرف الصحي إلى محطة معالجة أو نقطة التخلص.
- **أنظمة داخل الموقع**، حيث يتم تجميع النفايات في حفرة أو في خزان الصرف الصحي. وهذا الخزان يمكن تفريغه بشكل دوري أو يمكن استخدام حفرة أو خزان جديد في مكان آخر. بعض الأنظمة الموجودة في الموقع لديها أَسِرَّة مرشحة تسمح بتسرب المياه المعالجة جزئياً من خزانات الصرف الصحي إلى الأرض (الأنظمة القديمة والمجهَدة هي أحد أهم أسباب التلوث في بعض المناطق). في حالة التفريغ، يتم نقل النفايات للمعالجة و/أو التخلص منها. ويمكن أن تشمل النظم الموجودة داخل الموقع أيضاً شبكات صرف صحي صغيرة تقوم بنقل المياه العادمة إلى محطات المعالجة القريبة.

ويمكن معالجة المياه العادمة الناتجة من الصناعات داخل الموقع أو يتم تصريفها إلى شبكات الصرف الصحي البلدية، ولكن من الضروري الحصول على إذن للتصريف ومراعاة حدود الجودة. إذا ما تم جمع ومعالجة المياه العادمة الناتجة من القطاع الزراعي (مثل الإنتاج الحيواني والصوَب الزراعية)، فإنه يمكن استخدامها داخل المؤسسة لأغراض الري أو لأغراض أخرى.

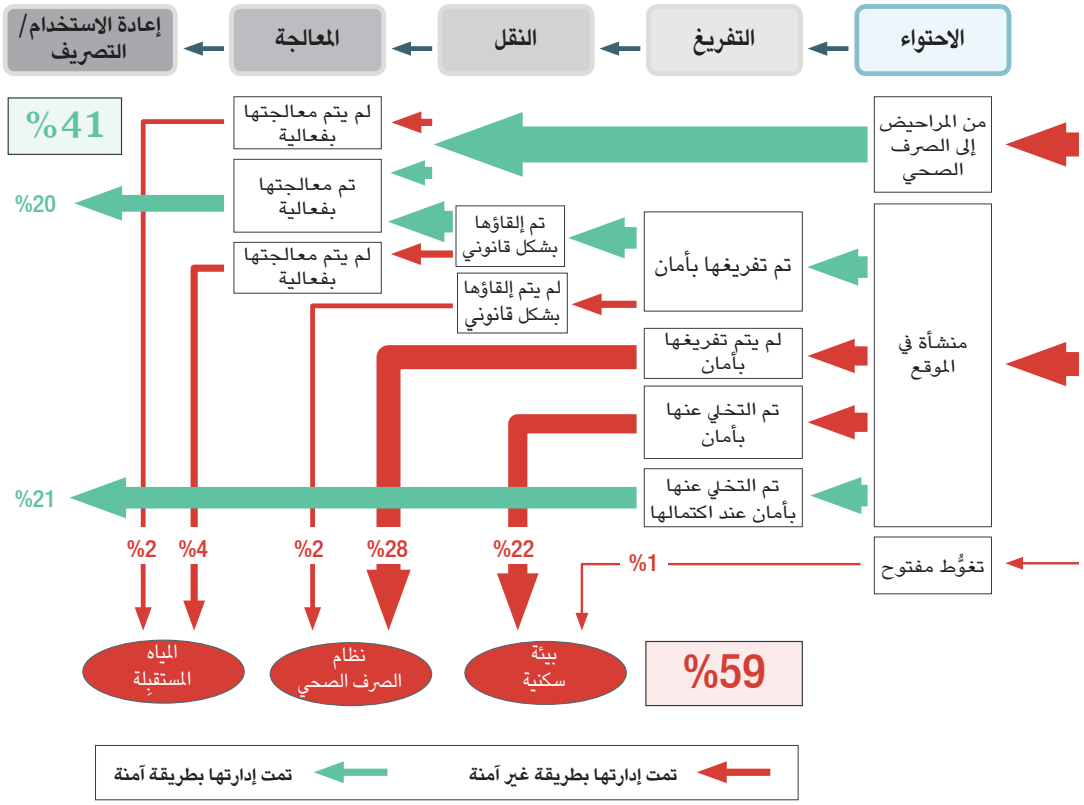
ويبين الشكلان 4-4 و4-5 نظم إدارة المياه العادمة في كمبالا (أوغندا) ودكا (بنغلاديش) على التوالي، مما يوضح كيف يختلف هذان البَلَدان عن دونهما من البلدان. وتكشف الرسوم التوضيحية أيضاً الحاجة الملحة لتحسين كفاءة نظم إدارة المياه العادمة من أجل زيادة نسبة المياه العادمة التي يتم إدارتها بشكل آمن.

4-3-1 جمع المياه العادمة

يمكن فصل أو تجميع شبكة الصرف الصحي المستخدمة في نقل المياه العادمة. وفي الأنظمة المنفصلة، تستخدم مجموعات مختلفة من الأنابيب لنقل مياه المجارير ومياه الصرف السطحي المنصرفة من المناطق الحضرية، أما في الأنظمة المجَمَّعة فيتم نقلهما معاً. ومن المتوقع أن تعمل الأنظمة المنفصلة التي يتم تركيبها وتشغيلها والتحكم فيها بشكل جيد على تقليل كمية مياه المجارير التي يتعين معالجتها، وتجنب الفائض، والتعامل بفعالية أكبر مع كميات دورية وكبيرة من مياه الصرف السطحي المنصرفة من المناطق الحضرية أثناء العواصف. ومع ذلك، فإن شبكات الصرف الصحي المنفصلة لا تعمل دائماً بكفاءة كما هو متوقع، على سبيل المثال عندما يتم توصيل مياه المجارير إلى خطوط أنابيب الصرف السطحي بشكل غير قانوني بسبب عدم وجود ضوابط كافية تمنع ذلك.

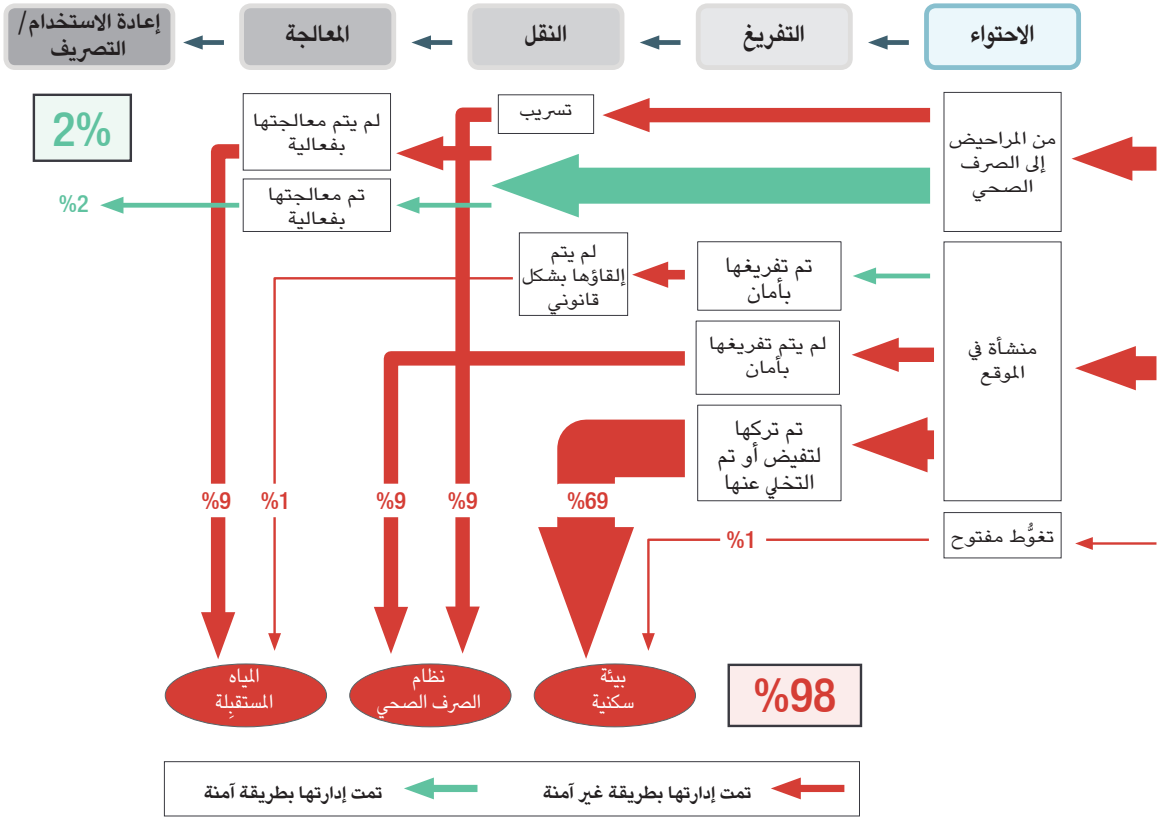
يجب أن تكون نقطة النهاية لشبكة الصرف الصحي هي محطة المعالجة التي تقوم بإزالة الملوثات من المياه العادمة بحيث يمكن استخدامها مرة أخرى بأمان (معالجة مناسبة للغرض) أو إعادتها إلى دورة المياه بالحد الأدنى من الآثار البيئية.

الشكل 4-4 نظام إدارة المياه في كمبالا (أوغندا)



المصدر: Peal et al., 2014، الشكل 6، ص 571).

الشكل 4-5 نظام إدارة المياه في دكا (بنغلاديش)



المصدر: Peal et al., 2014، الشكل 4، ص 570).

> نادراً ما يتم التحكم في الملوثات الناشئة أو رصدها، ويلزم إجراء مزيد من البحوث لتقييم آثارها على صحة الإنسان والبيئة

ويمكن اتباع أسلوب مركزي أو لا مركزي في معالجة المياه العادمة. في الأنظمة المركزية، يتم جمع المياه العادمة من عدد كبير من المستخدمين، مثل المناطق الحضرية، ثم تتم معالجتها في موقع واحد أو أكثر. وتمثل تكاليف عملية الجمع أكثر من 60% من إجمالي ميزانية إدارة المياه العادمة في النظام المركزي، وخاصة في المجتمعات ذات الكثافة السكانية المنخفضة (Massoud et al., 2009).

أما الأنظمة اللامركزية فتستخدم مجموعة من الأنظمة داخل الموقع و/أو أنظمة مجموعات لمعالجة المياه العادمة، وغالباً ما تُستخدم في المنازل الفردية، والمجتمعات المتناثرة والمنخفضة الكثافة، وكذلك في المناطق الريفية. وعلى الرغم من أن أنظمة المعالجة اللامركزية غالباً ما تقلل من تكاليف عملية جمع المياه العادمة، فإنها قد لا توفر نفس المستوى من الفوائد ولا تزال تتطلب مستوى فعالاً من التشغيل والصيانة كما هو الحال في الأنظمة المركزية.

4-3-2 معالجة المياه العادمة

تتكون معالجة المياه العادمة من مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لإزالة مكوناتها.

تعمل العمليات الفيزيائية على إزالة المواد عن طريق استخدام القوى الطبيعية (أي الجاذبية)، فضلاً عن الحواجز المادية، مثل المرشِّحات والأغشية، أو الأشعة فوق البنفسجية والتي تُستخدم أساساً للتطهير. ويزداد استخدام الأغشية نظراً للجودة العالية للنفايات السائلة بعد معالجتها وبسبب إزالة الملوثات العضوية الدقيقة بصورة فعالة من المبيدات إلى المستحضرات الصيدلانية ومنتجات العناية الشخصية (Liu et al., 2009). وتتميز أنظمة الأغشية باستهلاك عالٍ للطاقة ومستويات عالية من التشغيل والصيانة (Visvanathan et al., 2000).

كثيراً ما تُستخدم العمليات الكيميائية للتطهير ولإزالة المعادن الثقيلة. ويمكن للمعالجة الأولية التي تَستخدم مواد كيميائية، مثل أملاح الحديد أو البولي الكترولايت على سبيل المثال، أن تزيل الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة، ولكن غالباً ما يصعب علاج الحمأة والتخلص منها (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وقد استطاعت عملية أكسدة متقدمة كيميائياً أن تزيل المركبات المسببة لاختلال وظائف الغدد الصماء (Liu et al., 2009).

أما العمليات البيولوجية في معالجة المياه العادمة فتعيد إنتاج التحلل الذي يحدث بشكل طبيعي في الأنهار والبحيرات والجداول. وتُستخدم هذه العمليات في محطات معالجة المياه العادمة حيث يتم تصميم المفاعلات البيولوجية بحيث تعزز التحلل الكيميائي الحيوي في ظل ظروف تخضع لرقابة دقيقة، وبالتالي تعزيز إزالة الملوثات وتثبيت الحمأة.

ويمكن أن تكون العمليات التي تُجرى في المفاعلات الحيوية هوائية أو لاهوائية. بالنسبة للعمليات الهوائية فهي غالباً ما تحتاج إلى مزيد من الطاقة من أجل الحفاظ على الظروف الهوائية داخل المفاعل، ويتم تحويل النفايات العضوية إلى كتلة حيوية (الحمأة) وثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، فإنها تمنع تَكَوُّن الميثان الذي لديه قدرة أكبر من ثاني أكسيد الكربون على الاحترار المناخي (Cakir and Stenstrom, 2005). أما عمليات المعالجة اللاهوائية فعادة ما تتطلب طاقة أقل وتنتج حمأة أقل وتوَلِّد الميثان، والذي يمكن الحصول عليه واستخدامه كمصدر للطاقة.

يتم الجمع بين العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لتحقيق «مستويات» مختلفة من المياه العادمة: الأول، الابتدائي، الثانوي، الثالث، والرابع (انظر مسرد المصطلحات لمزيد من الشرح).

ويعتمد اختيار التكنولوجيات الأنسب على نوع المكونات وعبء التلوث والاستخدام المتوقع للمياه العادمة المعالجة والقدرة الاقتصادية على تحمل التكاليف. ويعرض الجدول 4-2 بعض الأمثلة للتكنولوجيات، ونوع المياه العادمة التي تُستَخدم فيها هذه التكنولوجيات عموماً، وكذلك مزاياها وعيوبها.

وتُعد حمأة المجارير إحدى المنتجات الثانوية لمعالجة المياه العادمة. فالحمأة التي يتم توليدها تكون غنية بالعناصر المغذية والمواد العضوية، مما يعطيها إمكانية كبيرة لاستخدامها كسماد ومخصب للتربة (انظر الفصل السادس عشر). غير أنه في كثير من الحالات لا تتحقق القيمة النافعة لحمأة المجاري بسبب القلق إزاء مسببات الأمراض والمعادن الثقيلة والمركبات الأخرى التي قد تحتوي عليها الحمأة. وتشمل المنتجات الثانوية النافعة الأخرى التي يتم الحصول عليها من المياه العادمة الغاز الحيوي (أي الميثان) والحرارة، والتي يمكن استخدامها سواء في محطات المعالجة أو في المجتمعات المجاورة.

إن الإدارة الفعلية لأنظمة معالجة المياه العادمة وتشغيلها هو نشاط معقد يمكن أن يستفيد من نهج تقييم المخاطر الذي يقيِّم سلسلة المكونات التي تشكِّل معاً النظام. ويمكن أن تساعد هذه التقييمات على ضمان أدائها السليم في ظل مستويات الكفاءة المتوقعة، وإبراز الروابط الضعيفة في السلسلة التي يمكن أن تتسبب في أمور تتعلق بالصحة والسلامة (انظر الإطار 4-3).

4-4 احتياجات البيانات والمعلومات

إن البيانات المتعلقة بجمع ومعالجة المياه العادمة قليلة، خاصة (وليس على وجه الحصر) في البلدان النامية. وفقاً (Sato et al., 2013)، فإن 55 بلداً فقط من أصل 181 خضعت للدراسة لديها معلومات إحصائية موثوقة عن توليد المياه العادمة ومعالجتها واستخدامها، و69 بلداً لديها بيانات عن جانب أو جانبين، و57 بلداً ليس لديها معلومات على الإطلاق. وعلاوة على ذلك، كان عمر البيانات في حوالي ثلثي البلدان (63%) أكثر من خمس سنوات. وتحتوي قاعدة بيانات النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة التابع لمنظمة الأغذية والزراعة على قسم خاص بالمياه العادمة المنصرفة من البلديات، حيث يمكن العثور على المعلومات المتعلقة بالمياه العادمة في قسم «الموارد المائية» و«استخدام المياه» الخاص بكل بلد. ومع ذلك، قد يكون عمر بعض هذه البيانات أكثر من خمس سنوات.

ويتعلق التحدي الرئيسي في مجال جمع البيانات بالحاجة إلى خلق بيانات على الصعيد الوطني بحيث تكون مفصَّلة بما فيه الكفاية ومتسِقة وقابلة للمقارنة مع البلدان الأخرى.

وتعرض الدراسة العالمية التي أجرتها لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية لتحليل وتقييم خدمات الصرف الصحي ومياه الشرب والتي نفذتها منظمة الصحة العالمية نبذة تعريفية عن كل بلد فيما يخص مرافق الصرف الصحي ومياه الشرب. وتتضمن الدراسة أيضاً معلومات عن مواضيع تتعلق بالحوكمة، ورصد بيانات المياه والموارد البشرية. وابتداء من دورة إعداد التقارير 2016/2017، سيتم إدراج التمويل أيضاً، مما قد يكشف النقاب عن معلومات إضافية عن بعض جوانب إدارة المياه العادمة.

وتضطلع الشعبة الإحصائية في الأمم المتحدة بوضع مبادئ أساسية للإحصاءات الرسمية لتوجيه عمل وكالات الإحصاء الوطنية. وفي عام 2012، اعتمدت الشعبة الإطار المركزي لنظام المحاسبة البيئية والاقتصادية، الذي يتضمن نظام المحاسبة البيئية والاقتصادية في مجال المياه. ويقترح هذا النظام إطاراً لفهم التفاعلات بين الاقتصاد والبيئة، ويعالج احتياجات البيانات المائية (الشعبة الإحصائية في الأمم المتحدة، 2012)، كما يتضمن جداول موحدة تستكملها البلدان بشأن النفقات المالية الخاصة بإدارة المياه العادمة، بما في ذلك قياس تدفقات المياه العادمة داخل الاقتصاد.

الإطار 4-3 تقييم المخاطر في إدارة نظم المياه العادمة

غالباً ما يشتمل نظام إدارة معالجة المياه العادمة على سلسلة طويلة ومتعددة الجوانب من المكونات المترابطة (الأنابيب والمضخات ومرافق المعالجة وما إلى ذلك). ويتطلب تقييم وإدارة المخاطر التي تنطوي عليها هذه المكونات تكنولوجيات مشابهة لتلك المستخدمة في تقييمات الآثار البيئية، وتقييمات الصحة والسلامة وإدارة الأصول. والهدف من ذلك هو تحديد المخاطر المحتملة (والتي يمكن تصنيفها من حيث طبيعتها وشدتها واحتمالية حدوثها ونتائجها، وما إلى ذلك)، وتنفيذ تدابير للحد من تلك المخاطر.

إن عملية «متابعة التدفق» عادة ما تكون وسيلة جيدة في هذا الصدد، حيث تبدأ العملية بحصر أنواع الملوثات (من حيث التركيب الفيزيائي/الكيميائي/البكتيري، وما إلى ذلك)، وتركيزها، وتكرار حدوثها/تصريفها، والذي يمكن أن يتأثر بظروف الأرصاد الجوية وسلوك الملوِّث. وهذه الخطوة ضرورية لتحديد الآثار والأحداث والتنبؤ بها على امتداد سلسلة المكونات.

ومن ثم يتعين فحص كل حلقة في السلسلة (الأصول والعمليات) من أجل تحديد الكيفية التي ينبغي أن تعمل بها كل حلقة، وكيف يمكن أن يحدث بها خلل، وكيف يمكن أن تتفاعل مع الملوثات، وما هي آثار الخلل وما هي المدة المستغرقة لإصلاح ذلك الخلل، وما إلى ذلك. قد تحدث بعض أشكال الخلل بسبب التفاعلات بين الملوثات والبنية التحتية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تُسبب العديد من الملوثات تآكلاً في الأنابيب والمعدات، أو تتسبب في حدوث انسداد بالمضخات. بينما يمكن أن تنشأ أشكال أخرى من الخلل بسبب عوامل «خارجية»، مثل الأعطال الكهربائية وتلفيات المرور أو أعمال التخريب.

وهناك أيضاً عدد كبير من مخاطر الصحة والسلامة التي يمكن أن تؤثر على كل من العاملين وعامة الناس. وتتراوح هذه المخاطر من الغرق إلى تسريب الغازات الخطرة، ومن الإصابات الجسدية إلى الأمراض طويلة الأجل. وفي نهاية السلسلة توجد نقاط التفريغ، والتي تنشأ من بعدها الحاجة إلى تقييم حساسية استخدام المياه العادمة – سواء لدى البيئة الطبيعية أو مستخدمي المياه الآخرين. ويمكن أن تتأثر فعالية وصورة إدارة المياه العادمة بشكل كبير إذا لم تؤخذ مصالح هؤلاء المستخدمين في الاعتبار أثناء عملية تقييم المخاطر.

وعادة ما تتطلب أي عملية فعالة لتقييم المخاطر عدة مهارات مختلفة ومتكاملة يتم تطبيقها على نحو مناسب.

بمساهمة من جاك موس (منظمة الاتحاد الدولي للمؤسسات الخاصة للإمداد بالمياه – أكوافيد).

وهناك جهود عالمية أخرى لتعزيز جمع البيانات المتعلقة بالمياه العادمة على المستوى الإقليمي، فقد أجرت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والمكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي دراسة مشتركة حول المياه الداخلية شملت أسئلة بشأن قدرة محطات معالجة المياه العادمة، وإنتاج الحمأة والانبعاثات الكيميائية من الصناعة، والزراعة، والمستوطنات البشرية (المكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي، 2014). وتقوم الشعبة الإحصائية في الأمم المتحدة وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بحملة لجمع البيانات البيئية كل سنتين في جميع البلدان، باستثناء البلدان التي يغطيها المسح المشترك بين منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والمكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي. وتحتوي الدراسة التي تعدها الشعبة الإحصائية في الأمم المتحدة وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة على إحصاءات حول موارد المياه العذبة المتجددة، واستخراج المياه العذبة واستخدامها، وتوليد المياه العادمة ومعالجتها، والسكان الذين يستفيدون من خدمات معالجة المياه العادمة (الشعبة الإحصائية في الأمم المتحدة، بدون تاريخ). ويمكن العثور على بيانات حول الخصائص العامة ونوعية النفايات الصناعية والمياه العادمة في سجلات تصريف ونقل الملوثات الخاصة بالبلدان (انظر الفصل الرابع عشر).

وبالإضافة إلى المعلومات المتعلقة بتوليد المياه العادمة ومعالجتها واستخدامها، كشفت دراسة خاصة بإدارة المياه العادمة أجرتها لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية (2015 (أ)) عن ثغرات أخرى في البيانات ذات الصلة، بما في ذلك معلومات عن حالة البنية التحتية القائمة للمياه العادمة، وأداء معالجة المياه العادمة، ومصير حمأة الغائط، وحجم، ونوعية، وموقع المياه العادمة المستخدمة في الري. ويقوم النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة بإعداد مجموعة بيانات عالمية منقحة لإنتاج المياه العادمة (بدون تاريخ أ).

الجدول 4-2 مزايا وعيوب أنظمة معالجة المياه العادمة المختارة

النوع	طبيعة المياه العادمة	المزايا	العيوب	المكونات المزالة
أنظمة الصرف الصحي	المياه العادمة المنصرفة من المنازل	بسيطة ومعمِّرة وسهلة الصيانة وتتطلب مساحة صغيرة	كفاءة معالجة منخفضة؛ ضرورة المعالجة الثانوية؛ النفايات السائلة ليست عديمة الرائحة؛ يجب إزالة المحتوى على فترات متكررة	الطلب على الأكسجين الكيميائي، الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، إجمالي المواد الصلبة العالقة؛ الشحوم
المراحيض السمادية	المخلفات البشرية، وورق التواليت، والمضافات الكربونية، ونفايات الأغذية	الحد من استهلاك النفايات ودعم إعادة تدوير العناصر المغذية (مثل استخدام الحمأة الناتجة في الزراعة)	الحاجة إلى تصميم وصيانة مناسبين من أجل حماية البيئة وصحة الإنسان	خفض الحجم من 10 إلى 30%؛ مسببات الأمراض
المرشحات اللاهوائية	مياه عادمة تم تصريفها من المنازل والصناعات وتم تسويتها مسبقاً وذات نسبة قليلة من الطلب على الأكسجين الكيميائي والطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي	بسيطة ومعمِّرة إلى حد ما، إذا تم بناؤها بشكل جيد وتم معالجة المياه العادمة بشكل صحيح مسبقا؛ كفاءة معالجة عالية؛ وتتطلب مساحة قليلة من الأرض	المواد المستخدمة في المرشحات قد تكون ذات تكاليف عالية؛ يمكن أن يحدث انسداد بالمرشحات؛ النفايات السائلة ليست عديمة الرائحة	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، إجمالي المواد الصلبة الذائبة، وإجمالي المواد الصلبة العالقة
المعالجة اللاهوائية (على سبيل المثال الهواضم الحيوية وبطانية الحمأة اللاهوائية ذات التدفقات المتصاعدة، إلخ)	الفضلات البشرية والنفايات الحيوانية والزراعية	إعادة تدوير الموارد؛ وإمكانية استخدام الغاز المنتَج في توليد الطاقة وفي أغراض الطبخ والإضاءة	عمليات تشغيل وصيانة معقدة، والتي يمكن أن تؤدي إلى تسرب الغاز أو انخفاض الإنتاج وانسداد خزان الهضم بمواد صلبة؛ غالباً ما تقوم المعالجة اللاهوائية بإزالة القليل من العناصر المغذية	الطلب على الأكسجين الكيميائي، الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، إجمالي المواد الصلبة العالقة؛ الشحوم

النوع	طبيعة المياه العادمة	المزايا	العيوب	المكونات المزالة
برك ترسيب الفضلات، البرك اللاهوائية والاختيارية والمتقدمة	المياه العادمة المنصرفة من المنازل والصناعات والزراعة؛ جيدة للمدن الصغيرة والمتوسطة	تستطيع البرك المتقدمة إزالة البكتيريا بشكل جيد؛ تحتاج إلى أن تُنزَح على فترات – وعدم القيام بذلك قد يترتب عليه عواقب وخيمة؛ يمكن استرداد الغاز الحيوي كمصدر للطاقة	تَستخدم الأرض بكثافة؛ وأحياناً تكون هناك نسبة عالية من الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة العالقة في النفايات السائلة من الطحالب ولكنها غير مؤذية نسبيا؛ وفي بعض الأحيان يُنظر إليها على أنها عملية طقس دافئ ولكن يمكن استخدامها في المناخات المعتدلة	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة العالقة وإجمالي النيتروجين وإجمالي الفوسفور
برك الترسيب التي تستخدم عدسيات الماء	المياه العادمة المنصرفة من المنازل والزراعة	لا توجد مخاطر انسداد؛ معدلات إزالة العناصر المغذية مرتفعة	تَستخدم الأرض بكثافة؛ تستدعي حصاداً مستمراً؛ غير مناسبة في المناطق التي تشهد عواصف	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة العالقة وإجمالي النيتروجين وإجمالي الفوسفور والمعادن
الأراضي الرطبة القائمة	المياه العادمة المنصرفة من المنازل والزراعة؛ المجتمعات الصغيرة؛ المعالجة الثالثة للصناعات	انخفاض أو عدم وجود متطلبات الطاقة؛ انخفاض تكاليف الصيانة؛ توفر قيمة جمالية وتجارية وسكنية	تَستخدم الأرض بكثافة؛ يمكن أن يحدث انسداد في النظام	إجمالي المواد الصلبة العالقة، الطلب على الأكسجين الكيميائي، إجمالي النيتروجين، إجمالي الفوسفور
المعالجة البيولوجية الهوائية (أي الحمأة المنشَطة)	المياه العادمة المنصرفة من المنازل والصناعات، أجهزة تهوية مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ لمقاومة المياه العادمة المسببة للتآكل، مما يجعلها مناسبة لمصانع اللب والورق الصناعي والصناعات الكيماوية وغيرها من البيئات الصعبة	إزالة جيدة للطلب على الأكسجين الحيوي، ويمكن تشغيل المصنع لتسهيل عملية إزالة النيتروجين والفوسفور، سريعة واقتصادية مقارنة مع غيرها من الأساليب، خالية من الروائح	متطلبات عالية للصيانة، غير فعالة في المياه العميقة (وبالتالي تكون الأحواض ضحلة عموما) وتحت ظروف الطقس المتجمد، إزالة قليلة للبكتيريا وإنتاج عالٍ للحمأة	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والمواد الصلبة العالقة وإجمالي النيتروجين وإجمالي الفوسفور
نظام الأغشية، الترشيح الدقيق، الترشيح الفائق، الترشيح النانوي، التناضح العكسي	مياه عادمة تم ترسيبها مسبقاً؛ يمكن أن تُستخدم في تركيبة مع العمليات البيولوجية (مفاعلات حيوية غشائية، مفاعلات السرير الحيوي المتحرك)	العمليات التي تغلق دورة المياه وتنتج مياه عالية النقاوة لإعادة استخدامها	تكاليف عالية ومتطلبات أعلى في التشغيل والصيانة واستهلاك الطاقة	يقوم الترشيح الدقيق والترشيح الفائق بإزالة جميع العناصر البيولوجية والجزيئات الكبيرة، ويقوم الترشيح النانوي بإزالة الجزيئات العضوية البسيطة، ويقوم التناضح العكسي بإزالة الأيونات غير العضوية

المصدر: قام بجمعها (Birguy M. Lamizana –Diallo) (برنامج الأمم المتحدة للبيئة) و (Angela Renata Cordeiro Ortigara) (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية)، استناداً إلى منظمة الصحة العالمية (2006) ولجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية (2015 (أ)).

الجزء الثاني

التركيز المواضيعي

الفصل الخامس: المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية

الفصل السادس: الصناعة

الفصل السابع: الزراعة

الفصل الثامن: النظم الإيكولوجية

الفصل الخامس

برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية: غراهام ألاباستر، أندريه دزيكوس، وبيريه أوتينو

المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية

مياه عادمة في قناة كلونج أونج أونج في بانكوك (تايلند)

يناقش هذا الفصل مصادر وتأثيرات المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية، مع إبراز التوقعات المستقبلية لإنتاج المياه العادمة. بالإضافة إلى ذلك، يستعرض الفصل فرص إعادة استخدام المياه وإعادة تدويرها.

تنبع المياه العادمة المنصرفة من البلديات من مصادر منزلية وصناعية وتجارية ومنشآت داخل مستوطنة أو مجتمع بشري معين. وتشمل المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية المياه العادمة المنصرفة من البلديات ومياه الصرف السطحي.

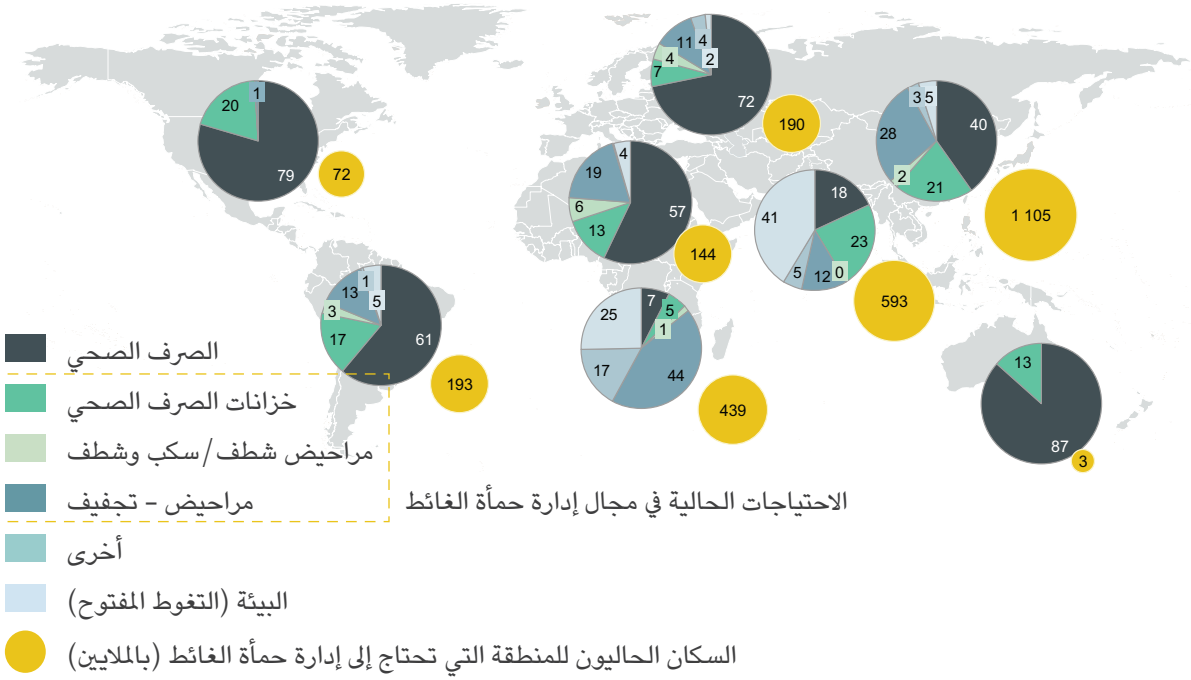
وحيث إن إنتاج المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية يعتمد بشكل كبير على شكل ووظائف النظم الحضرية، فإنه يجب دراسة أنماط التحضر الحالية والمستقبلية بشكل نقدي من أجل تطوير أساليب أكثر استدامة لإدارة المياه العادمة في العقود القادمة.

يبين الشكل 5-1 تفاصيل تغطية الصرف الصحي حسب المنطقة، ومن ثَمّ تجميع المياه العادمة. ومن الواضح أن شبكات الصرف الصحي المخصصة لجمع المياه العادمة هي الخيار المفضل لكثير من بلدان العالم المتقدم، على الرغم من استخدام الخدمات داخل الموقع في العديد من المناطق الريفية وفي المناطق الخاضعة للتحضر غير المخطط له (انظر الفصل الخامس عشر).

5-1 التحضر وتأثيره على إنتاج المياه العادمة

تواجه المناطق الحضرية في جميع أنحاء العالم تحديات هائلة، فتسارع النمو الحضري والتغيرات في الممارسات المنزلية والعمل والتوسع في المستوطنات العشوائية سوف يشكل تحدياً لتوفير الخدمات. ويضاف إلى ذلك تأثير الظواهر المناخية بالغة الشدة وتغير المناخ والهجرة في مناطق النزاعات. وقد أدى تغيير أنماط التحضر إلى المزيد من عدم المساواة، حيث يواجه الفقراء في بعض المناطق المتقدمة نفس التحديات التي تواجهها المناطق النامية. ومن المتوقع أن ينمو الطلب العالمي على الطاقة والمياه بنسبة 40% و50% على التوالي بحلول عام 2030 (برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، 2016). وسوف يحدث معظم هذا النمو في المدن، وهو ما سيتطلب أساليب جديدة لإدارة المياه العادمة. وفي الوقت ذاته، قد توفر إدارة المياه العادمة بعض الإجابات على التحديات الأخرى، بما في ذلك إنتاج الغذاء والتنمية الصناعية.

الشكل 5-1 النسبة المئوية للسكان الذين يستخدمون أنواعاً مختلفة من أنظمة الصرف الصحي



المصدر: Cairns-Smith et al., 2014، (الشكل 8، صفحة 25)، بناء على برنامج الرصد المشترك بين منظمة الصحة العالمية واليونيسف لإمدادات المياه والمرافق الصحية). بإذن من مجموعة بوسطن الاستشارية.

2-5 الأشكال الحضرية

يستند تعريف المناطق الريفية والحضرية في الغالب إلى التعاريف الفنية الوطنية المتعلقة باعتبارات الحدود الجغرافية بدلاً من الكثافة السكانية أو الخصائص المميزة الأخرى. ومع ذلك، فمن أجل فهم عملية إنتاج المياه العادمة المنصرفة من البلديات، فمن الضروري النظر بمزيد من التحليل لكلمة "حضري" حيث إن الأشكال الحضرية المختلفة لا تقوم فقط بإنتاج المياه العادمة بطرق مختلفة، ولكن تقوم أيضاً بتوجيه الخيارات المحتملة لجمعها ومعالجتها واستخدامها (انظر الجدول 5-1). واستعراضاً للأشكال الحضرية النمطية، تمثل الأشكال التالية معظم الحالات في البلدان المتقدمة والنامية:

- **المراكز الحضرية الكبيرة** والتي تشمل المدن الكبرى والمناطق الحضرية التي يوجد بها مناطق أعمال مركزية والضواحي المتطورة ذات المستويات المتفاوتة من الكثافة السكانية التي تنخفض بشكل تدريجي كلما بعد المسافة عن مناطق الأعمال المركزية. وقد يتصل المركز الرئيسي (أو لا) بمراكز فرعية أصغر عن طريق ممرات النقل. غالباً ما تكون لهذه المدن شبكات صرف صحي واسعة، لكن البعض منها، مثل لاجوس في نيجيريا، يستخدم شبكات صرف صحي سيئة (انظر الإطار 5-1).

- **مراكز حضرية كبيرة ناتجة عن التجمعات الحضرية**، حيث ينمو مركزان حضريان متميزان أو أكثر تدريجياً وتزداد كثافتهما السكانية حتى يندمجا بشكل أو بآخر في منطقة حضرية واحدة. وتحتوي هذه المناطق على شبكات صرف صحي واسعة تتواجد في أجزاء متطورة من كل مراكز المدن السابقة، والتي ربما تكون قد تشكلت بطرق مختلفة، وغالباً ما تكون لديها مرافق معالجة وإدارات بلدية منفصلة. هذه الأنواع من المراكز الحضرية لديها أيضاً مناطق كبيرة ليست بها شبكات صرف صحي. ومن الأمثلة على ذلك مجمعات أكرا-تيما في غانا أو تجمع المراكز الصغيرة في مترو مانيلا.

- **المراكز الحضرية الصغيرة** والتي هي عبارة عن مدن بها مناطق أعمال مركزية صغيرة وربما بعض المراكز الصغيرة والتوسعات الخطية على طول الطرق الرئيسية. وهذه المراكز الحضرية الصغيرة لديها في كثير من الأحيان شبكات صرف صحي محدودة للغاية، وتعتمد في الغالب على تصريف الصرف الصحي في الموقع. وقد تكون هذه المراكز قريبة من مراكز أخرى، ولكن لديها إدارات بلدية مختلفة، وبالتالي يكون لديها مسؤولية مؤسسية منفصلة.

- **القرى الكبيرة والمدن الصغيرة** والتي عادة ما تكون ذات مساحات ضيقة للغاية ولكنها تختلف عن المراكز الحضرية، حيث لديها توسع هامشي صغير. قد تكون هذه القرى والمدن عبارة عن مستوطنات نشأت حول مراكز أنشطة صناعية أو تجارية، مثل الجامعات والمطارات والمناجم.

- **المناطق الريفية** والتي عادة ما يكون لديها أنظمة صرف صحي في الموقع، وليس لديها أي أنظمة صرف صحي رسمية. وقد يوجد بها بعض أشكال إدارة الصرف السطحي الناتج من المناطق الحضرية.

يعتمد تصنيف كل مركز على المنطقة. ففي الصين، على سبيل المثال، يمكن اعتبار مركز حضري يبلغ عدد سكانه خمسة ملايين نسمة مدينة صغيرة. وبالإضافة إلى ذلك، قد تشتمل الفئات الأعلى من ذلك على تجمعات عشوائية فقيرة. وتزداد نسبة الأحياء الفقيرة في المدن الكبرى بسبب زيادة فرص العمل والحاجة إلى مساكن منخفضة التكلفة هناك (برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، 2016)، ولكنها تشكل أيضاً تحدياً للمراكز الحضرية الأصغر.

الإطار 5-1 التخلص من مياه المجارير والنفايات في لاجوس، نيجيريا

على الرغم من أن ولاية لاجوس تُولِّد 1.5 مليون متر مكعب من المياه العادمة يومياً (حوالي 550 مليون متر مكعب في السنة)، فليس هناك نظام صرف مركزي في تلك المدينة الكبيرة. ويتم خدمة أقل من 2% من السكان بواسطة محطات معالجة مياه المجارير خارج الموقع، ويتم توصيل مياه صرف المراحيض فقط بخزانات الصرف الصحي وحفر التشرب. ويتم التخلص من النفايات السائلة المنزلية الأخرى مباشرة في المزاريب التي غالباً ما تكون مفتوحة وموجودة أمام المنازل أو في الشوارع. وفي نهاية المطاف تتسرب المياه العادمة أو تذهب إلى المسطحات المائية جراء العواصف المطرة. وتقوم خزانات الصرف الصحي وحفر التشرُّب المستخدمة في جمع مياه صرف المراحيض في كثير من الأحيان بتلويث المياه الجوفية، والتي تُعد من أهم مصادر المياه لمعظم السكان ذوي الدخل المنخفض والمتوسط. وليست هناك محطة لمعالجة مياه الصرف بالمدينة الكبيرة، ويتم تصريف معظم مياه الصرف غير المعالجة إلى لاجوس لاجون، خاصة في مناطق مثل إدو وماكوكو وأجيجونل وغيرها من المناطق. إن التلوث البرازي للمياه والبيئة في المدينة الكبيرة من خلال الإدارة غير الكافية للمياه العادمة هو مصدر كبير هام يتعلق بالصحة. وقد أدى الإهمال الرسمي والفساد والفقر المدقع إلى جانب النمو السكاني السريع وغير المتحكم فيه إلى تدهور البنية التحتية في لاجوس بشكل كبير. ويُقدَّر عدد سكان لاجوس حالياً بـ 18 مليون نسمة ويبلغ معدل النمو السنوي فيها 3%، ومن المتوقع أن تصبح المدينة موطناً لأكثر من 23 مليون نسمة بحلول عام 2020. وهناك حاجة إلى بذل جهود متضافرة بشكل عاجل للحد من المزيد من التلوث للموارد المائية لولاية لاجوس.

المصدر: Major et al., (2011) و NLÉ, (2012).

الجدول 5-1 النماذج الحضرية والمياه العادمة، ومسائل الصرف المستدام للمناطق الحضرية

النموذج الحضري	احتمال وجود شبكات صرف صحي واسعة	وجود أنظمة في الموقع	سكان العشوائيات	نوع المعالجة	نظم الصرف المستدام في المناطق الحضرية*	مستوى إنتاج المياه العادمة	إمكانيات إعادة الاستخدام/ الاسترداد
المراكز الحضرية الكبيرة	نعم	مستبعد	واسع	مركزية/ لا مركزية	مثالية	عالٍ	عالية
المراكز الحضرية الكبيرة الناتجة عن التجمعات السكانية	نعم ، ولكنها غير مستقلة بالنسبة لكل مركز	مستبعد	ذات أهمية	مركزية	مثالية	عالٍ	عالية
المراكز الحضرية الصغيرة	مستبعد	محتمل	ممكن	لا مركزية أو خزان الصرف الصحي		متوسط	عالية/محلية
القرى الكبيرة والمدن الصغيرة	مستبعد جداً	محتمل جداً	ممكن	خزان الصرف الصحي		صغير	ممكنة
المناطق الريفية	غير موجود	محتمل جداً	مستبعد	مركزية		قليل الأهمية	قليل الأهمية/ إعادة استخدام في المنزل

المصدر: المؤلف.

وفي غضون العقد أو العقدين القادمين، ستحدث أكبر معدلات تحضر في المراكز الحضرية الصغيرة التي يتراوح عدد سكانها بين النصف مليون والمليون نسمة (برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، 2016)، وسيؤثر هذا بشكل كبير على إنتاج المياه العادمة وإمكانات المعالجة اللامركزية واستخدامها على حد سواء.

3-5 مصادر المياه العادمة في النظم البلدية والحضرية

قد يختلف تكوين المياه العادمة المنصرفة من البلديات اختلافاً كبيراً، مما يعكس كمية الملوثات التي تأتي من مختلف المصادر المحلية والصناعية والتجارية والمنشآت.

عادة ما يحدد الشكل الحضري الدقيق والبيئة التشريعية/المؤسسية كيفية جمع المياه العادمة ومعالجتها (انظر الفصول الثالث والرابع والخامس عشر). ومع ذلك، ففي معظم البلدان يتم تجميع نسبة من المياه العادمة فقط. وفي المناطق ذات الدخل المنخفض عادة ما يتم التخلص من نسبة كبيرة من المياه العادمة بتصريفها إلى أقرب صرف سطحي أو قنوات صرف غير رسمية.

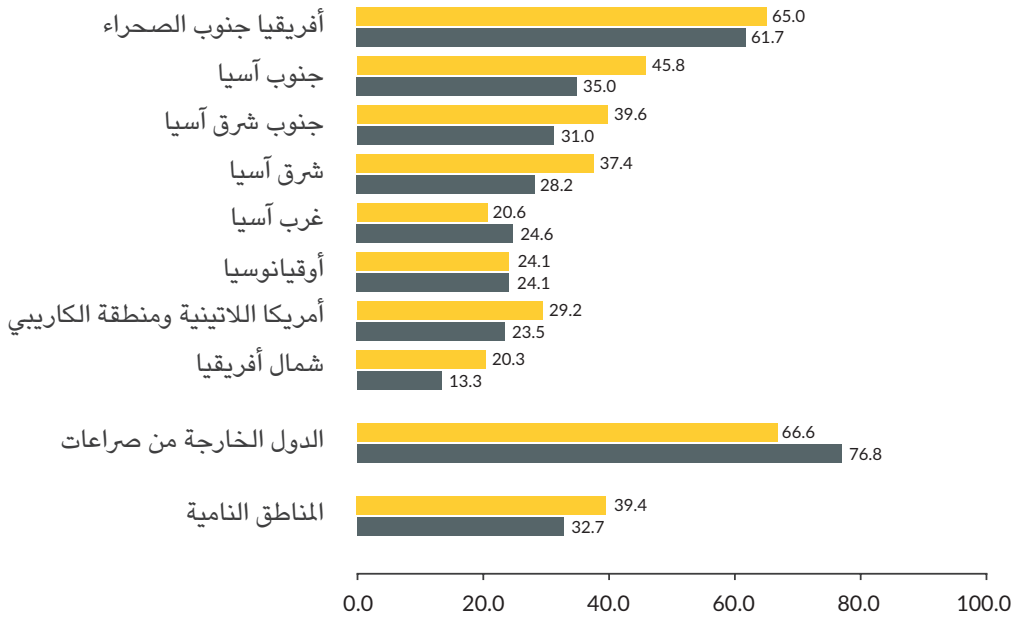
وفي الاقتصادات ذات الثقل الصناعي أو تلك التي لا تزال في مرحلة التطوير وكذلك في البيئات التشريعية الضعيفة يتم خلط الكثير من المياه العادمة معاً قبل المعالجة والتفريغ. ورغم أن الصرف الصحي المنقول بواسطة المياه هو القاعدة، فإن ما يسمى بـ"الصرف الصحي المشترك" يبقى شائعاً، وهذا أمر منطقي تماماً إذا ما استخدمت كميات كبيرة من المياه في شطف المراحاض، مما ينتج عنه مياه مجارير مخففة مع بعض مصادر المياه العادمة الأخرى (برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، بدون تاريخ).

من المهم ملاحظة أنه في كثير من الحالات لا تصل كميات كبيرة من المياه العادمة المنصرفة بشكل قانوني في شبكات الصرف الصحي المتدهورة و/أو سيئة التشغيل، سواء المجمعة أو المنفصلة، إلى محطة معالجة، حيث يتم فقدان الكثير من تلك المياه بسبب الأنابيب المكسورة، أو ينتهي بها المطاف في مصارف المياه السطحية، مما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية والمجاري المائية السطحية. هناك أيضاً العديد من الحالات التي تتم فيها إعادة استخدام المياه بشكل غير قانوني من قبل المجتمعات التي تتلاعب عمداً بأنظمة الصرف الصحي الرئيسية.

5-3-1 الصرف الصحي وإنتاج المياه العادمة في الأحياء الفقيرة

يمثل توليد المياه العادمة أحد أكبر التحديات المرتبطة بنمو المستوطنات العشوائية (الأحياء الفقيرة) في العالم النامي. وعلى الرغم من أن نسبة سكان الأحياء الفقيرة في المناطق الحضرية قد انخفضت بشكل طفيف منذ عام 2000 من حيث النسبة المئوية (انظر الشكل 5-2)، أصبح عدد سكان الأحياء الفقيرة في عام 2012 أكثر من عام 2000. ففي أفريقيا جنوب الصحراء يعيش 62% من سكان المناطق الحضرية في الأحياء الفقيرة.

الشكل 5-2 نسبة سكان الحضر الذين يعيشون في الأحياء الفقيرة من عام 2000 إلى عام 2012



ملاحظة: البلدان الخارجة من صراعات مشمولة في الأرقام الإجمالية مثل: أنغولا، كمبوديا، جمهورية أفريقيا الوسطى، تشاد، جمهورية الكونغو الديمقراطية، غينيا -بيساو، العراق، جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية، لبنان، موزمبيق، سيراليون، الصومال، والسودان.

المصدر: استناداً إلى بيانات من برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (2012، الجدول 3، الصفحة 127).

أما الإحصاءات الأكثر إثارة للقلق فتوجد في البلدان الخارجة من صراعات وفي بلدان غرب آسيا حيث زادت نسبة السكان الذين يعيشون في الأحياء الفقيرة من 67% إلى 77% ومن 21% إلى 25% على التوالي (برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، 2012).

تختلف الأحياء الفقيرة من حيث النوع والشكل والكثافة السكانية. ومع ذلك، فإن معظمها يفتقر إلى الطرق المعبَّدة والإسكان الدائم، والبنية التحتية للمياه والصرف الصحي. وفي مثل هذه الحالات، يتم التخلص من نسب عالية من المواد البرازية والنفايات الصلبة في قنوات تصريف المياه السطحية والخنادق. ويسبب سوء التخلص من النفايات الصلبة انسداداً في شبكات الصرف الصحي، مما يؤدي إلى طفح المجاري. وكثيراً ما تعادل المياه العادمة غير المجمعة ومياه الصرف السطحي المنصرفة من المناطق الحضرية مياه شبكات الصرف الصحي من حيث السمية والمخاطر الصحية التي تسببها. وعلى الرغم من أن العديد من الأحياء الفقيرة تعمد إلى صرف المياه العادمة في الموقع، فإن المادة البرازية لا يتم احتواؤها عادة، ولا تزال المياه العادمة تُنتَج حيث يستخدم السكان في كثير من الأحيان المراحيض كحمامات للاغتسال الشخصي بما يسمى بـ«الدلاء».

وكثيراً ما يتعين على سكان الأحياء الفقيرة الاعتماد على المراحيض العامة غير المتصلة بشبكات صرف صحي أو استخدام الساحات المفتوحة أو التخلص من البراز في أكياس بلاستيكية (أي المراحيض الطائر). لا تُستخدم المراحيض المشتركة على نطاق واسع بسبب نقص المياه وسوء الصيانة وارتفاع التكلفة على المستخدم. وقد أظهرت دراسة أجريت في الأحياء الفقيرة في دلهي أن أسرة منخفضة الدخل مكونة من خمس أفراد يمكن أن تنفق 37% من دخلها على استخدام المراحيض المشتركة (Sheikh, 2008). ويعتبر العثور على مكان مناسب للذهاب إلى المرحاض مشكلة خاصة بالنسبة للنساء، حيث يعرّضهم ذلك لمخاطر تتعلق بالأمن الشخصي، والإحراج، والنظافة الشخصية.

5-4 تكوين المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية

يختلف التكوين الدقيق للمياه العادمة في جميع أنحاء العالم ويحكم ذلك عدد كبير من العوامل، بما في ذلك استخدام المياه المنزلية ومستوى التجارة/الصناعة. ويعرض الجدول 5-2 بعض المؤشرات المختارة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وفي المناطق المتقدمة، من المرجح أن تكون نسبة الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والطلب على الأكسجين الكيميائي[4] أقل من مثيلتها

4 **الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي (BOD)** هو كمية الأكسجين الذائب الذي تحتاجه الكائنات البيولوجية الهوائية لتُحَلِّل المواد العضوية الموجودة في عينة مياه معينة عند درجة حرارة معينة خلال فترة زمنية محددة. **الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD)** هو طريقة قياس غير مباشرة لكمية التلوث (التي لا يمكن أكسدتها بيولوجياً) في عينة من الماء. وكلما ارتفع الطلب على الأكسجين الكيميائي، ارتفعت كمية التلوث (غير العضوي في الغالب) في عينة الاختبار.
إذا وصلت **نسبة الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي والطلب على الأكسجين الكيميائي** في المياه العادمة غير المعالجة إلى 0.5 أو أكثر، فتعتبر النفايات حينها قابلة للمعالجة بسهولة بالوسائل البيولوجية. أما إذا كانت النسبة أقل من 0.3 تقريباً، فقد تحتوي النفايات على بعض المكونات السامة، أو قد تكون هناك حاجة إلى كائنات دقيقة متأقلمة لجعل تلك النسبة مستقرة.

الجدول 5-2 تكوين المياه العادمة الخام في بلدان مختارة

المؤشرات	الولايات المتحدة الأمريكية	فرنسا	المغرب	باكستان	الأردن
الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي	400—110	400—100	45	762—193	152
الطلب على الأكسجين الكيميائي	1000—250	1000—300	200	103—83	386
المواد الصلبة العالقة	350—100	500—150	160	658—76	غير متاح
إجمالي البوتاس والنيتروجين	85—20	100—30	29	غير متاح	28
إجمالي الفسفور	15—4	25—1	5—4	غير متاح	36

المصدر: لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية 2015 (أ)، (جدول 5، ص 28، وفقاً لهنجر وآخرون، 2012).

الجدول 5-3 الملوثات الرئيسية للمياه العادمة، مصدرها وآثارها

الملوثات	المؤشرات الرئيسية النمطية	المصدر				الآثار المحتملة للملوث
		المياه العادمة		الصرف السطحي		
		منزلي	صناعي	حضري	زراعي ومراعي	
مواد صلبة عالقة	إجمالي المواد الصلبة العالقة	xxx	←→	xx	x	• مشاكل جمالية • رواسب الحمأة • امتزاز الملوثات • حماية مسببات الأمراض
مواد عضوية قابلة للتحلل الحيوي	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي	xxx	←→	xx	x	• استهلاك الأوكسجين • موت الأسماك • ظروف التحلل
العناصر المغذية	النيتروجين، الفسفور	xxx	←→	xx	x	• نمو الطحالب المفرط • تسمم الأسماك (الأمونيا) • أمراض الأطفال حديثي الولادة (نترات) • تلوث المياه الجوفية
مسببات الأمراض	القولونيات	xxx	←→	xx	x	• الأمراض المنقولة بواسطة المياه
مواد عضوية غير قابلة للتحلل الحيوي	مبيدات حشرية، بعض المنظفات، أخرى	x	←→	x	xx	• تسمم (متنوع) • رغوة (المنظفات) • الحد من نقل الأكسجين (المنظفات) • عدم القابلية للتحلل الحيوي • رائحة كريهة (أي الفينولات)
المعادن	عناصر محددة (مثل الكادميوم، الكروم، النحاس، الزئبق، النيكل، الرصاص، الزنك، إلخ)	x	←→	x		• تسمم • تثبيط معالجة مياه المجارير البيولوجية • مشاكل في استخدام الحمأة في أغراض الزراعة • تلوث المياه الجوفية
مواد صلبة ذائبة غير عضوية	إجمالي المواد الصلبة الذائبة، التوصيل	xx	←→		x	• ملوحة مفرطة – ضرر للزراعة (الري) • تسمم النباتات (بعض الأيونات) • مشاكل في نفاذية التربة (الصوديوم)

x: صغير **xx:** متوسط **xxx:** عالي **أسهم:** متغير **فارغ:** غير مهم عادة

المصدر: (فون سبيرلنج) (2007، الجدول 2.1، ص 7)

الجدول 4-5 مواد القائمة الحمراء

1	1.2 - ثنائي كلورو الإيثان
2	الأترازين
3	الألدرين
4	الإندرين
5	ثلاثي البيوتيلتين
6	ثلاثي الفلورالين
7	ثلاثي الفينيلتين
8	ثلاثي كلورو البنزين
9	ثنائي الفينيل متعدد الكلور
10	خماسي كلور الفينول
11	الداي كلوروفوس
12	الديلدرين
13	الزئبق
14	سداسي كلورو البنزين
15	سداسي كلورو البوتادين
16	سداسي كلورو حلقي الهكسان
17	سيمازين
18	الفنيتروسيون
19	الكادميوم
20	متجازئات ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإيثان
21	الملاثيون
22	ميثيل الأزينفوس

المصدر: وكالة البيئة (2009 ، ص 4).

في العالم النامي، وذلك بسبب ارتفاع نسبة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات. وسيؤدي ذلك إلى جعل المياه أقل ملاءمة للمعالجة البيولوجية. في بعض المناطق، يمكن أن تؤثر مستويات عالية من المواد غير العضوية والكبريتات والقلويات، على سبيل المثال، على ملاءمة المياه العادمة لاستخدامات ما بعد المعالجة. وتؤدي الكبريتات إلى إنتاج كبريتيد الهيدروجين وتتسبب في حدوث تآكلات بشبكات المجاري. أما ارتفاع درجة القلوية أو عسرة الماء فيمكن أن يسبب رواسب محدودة ويؤثر على ملاءمة المياه لإعادة استخدامها كمياه عملية، على سبيل المثال. يُظهر الجدول 5-3 بعض الملوثات الرئيسية التي يُحتمل العثور عليها في مصادر مختلفة للمياه العادمة (انظر أيضاً الجدول 4-1).

5-4-1 المياه العادمة المنصرفة من مصادر خطرة بشكل خاص

إن المياه العادمة المنصرفة من المنازل عادة ما تكون خالية نسبياً من المواد الخطرة، ولكن هناك مخاوف متزايدة بشأن الأدوية الشائعة الاستخدام التي قد تكون لها تأثيرات طويلة المدى حتى ولو كانت موجودة بتركيزات منخفضة، خصوصاً المواد المعروفة بتسببها في إحداث اختلال في وظائف الغدد الصماء (Falconer, 2006).

ومن الضروري أن تلتزم الصناعات التي تستخدم مواد "القائمة الحمراء" (انظر الجدول 5-4) في عمليات الإنتاج الخاصة بها بتراخيص التفريغ، ولكن هذا لا يحدث في كثير من الأحيان، فالبيئات التنظيمية تختلف بشكل كبير. ومن أهم الأمثلة في هذا الصدد الصناعات المنزلية الصغيرة التي إما أن تكون "مرخصة" أو تُمارَس بطريقة غير مشروعة. وفي المناطق العشوائية، يمكن أن تشكِّل بعض الأنشطة مخاطر جسيمة. تضم هذه الأنشطة استخلاص الرصاص من البطاريات، وأعمال التعدين صغيرة النطاق ومعالجة المعادن، ومرائب السيارات، ومحطات غسيل السيارات. ولا يوجد الكثير من المعلومات المنشورة حول هذه الصناعات غير الرسمية.

وتقوم المستشفيات الصغيرة والعيادات (وبعض المؤسسات الكبيرة)، خاصة في العالم النامي، بتصريف النفايات الطبية دون معالجة. وقد أسفرت الأساليب الزراعية المكثفة والاستخدام المفرط للمضادات الحيوية في تربية الحيوانات عن وجود تركيزات عالية في المياه العادمة المنصرفة من البلديات عندما تقوم هذه المنشآت بتصريف مياهها العادمة في شبكة المجاري البلدية. وهذا ينطوي على خطر إضافي يتمثل في مقاومة الأدوية المضادة للميكروبات (Harris et al., 2013).

وتشمل المصادر الأخرى وحدات الزراعة المكثفة والمنافذ الكبيرة لضخ مياه الأمطار والتي تخدم مناطق خطرة أو صناعية. ويعطي الجدول 5-5 أرقاماً تقديرية لإنتاج المياه العادمة في المؤسسات التجارية والصناعات. وعلى الرغم من عدم الإشارة في هذا الجدول إلى المياه العادمة المنصرفة من منشآت الأغذية والمشروبات، فإنه من المهم ملاحظة أن تلك المياه العادمة تحتوي عموماً على تركيزات عالية من الطلب على الأكسجين الحيوي. ولا تصعب معالجة هذا النوع من النفايات، مما يمثِّل فرصة كبيرة لاسترداد الطاقة (انظر الفصل السادس).

5-5 الشكل الحضري وإمكانية استخدام المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية

تتوقف إمكانية استخدام المياه العادمة المنصرفة من البلديات والمناطق الحضرية على عدة مسائل: أولاً - مستوى التلوث المتقاطع للمياه العادمة، وثانياً - التطبيق وموقعه. كما تعد ندرة المياه وتكلفة مصادر المياه الجديدة وتوافرها من العوامل الهامة. ومن الواضح أنه من الأفضل فرض قيود على تصريف المواد الخطرة إلى شبكات المجاري، خاصة تلك المواد التي تجعل من الصعب معالجة

الإطار 2-5 إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب ونموذج تطبيقه في سان دييغو، كاليفورنيا

يشرب سكان مدينة سان دييغو المياه المعاد تدويرها، إذ تستورد المدينة 85% من مياهها من شمال كاليفورنيا ونهر كولورادو الذي تصب فيه بعض المجتمعات المجاورة للمنبع مثل لاس فيغاس مياهها العادمة والتي تتم معالجتها لاحقاً لأغراض الشرب. وقد استثمرت سان دييغو، التي تعيد تدوير مياه المجارير لأغراض الري، حوالي 11.8 مليون دولار أمريكي في دراسة حول إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب بسبب القيود الأخيرة على المياه في شمال كاليفورنيا والجفاف في نهر كولورادو. وقد انتهى المشروع التجريبي في محطة استصلاح المياه الشمالية بالمدينة في عام 2013. وفي ذلك الوقت، كان مرفق تنقية المياه المتطور ينتج مليون غالون من المياه النقية كل يوم، على الرغم من عدم إرسال أي مياه إلى الخزان.

إن إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب أفضل من الناحية الاقتصادية لسان دييغو من إعادة تدوير المزيد من مياه المجارير لأغراض الري، لأن مياه الري يجب أن تُنقل عبر أنابيب أرجوانية خاصة لفصلها عن مياه الشرب، وتكلفة البنية التحتية للأنابيب الأرجوانية أعلى من تكلفة إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب. كما أن المياه المعاد تدويرها أقل تكلفة من مياه البحر التي يتم تحليتها. ففي مقاطعة أورانج، على سبيل المثال، تكلف عملية إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب ما بين 800 و850 دولاراً أمريكياً لإنتاج مياه شرب تكفي عائلتين من أربعة أفراد لمدة عام، فيما تتطلب تحلية كمية مساوية من مياه البحر ما بين 1200 إلى 1800 دولار أمريكي بسبب كمية الطاقة اللازمة لذلك.

ولمعالجة مسألة تزايد عدد السكان وتسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية، قامت مقاطعة أورانج في كاليفورنيا بافتتاح مرفق معالجة المياه الذي بلغت تكلفته 480 مليون دولار أمريكي، وهو الأكبر في الولايات المتحدة، في يناير 2008. ويُكلف تشغيل هذا المرفق 29 مليون دولار أمريكي سنوياً. وبعد معالجة متطورة للمياه، يتم ضخ نصف المياه المعاد تدويرها في طبقة المياه الجوفية لخلق حاجز يمنع تسرب المياه المالحة، ويذهب النصف الآخر إلى بركة الترشيح لمزيد من الترشيح بواسطة التربة، وبعد حوالي ستة أشهر ينتهي بها المطاف في مآخذ مياه الشرب. لقد كان من المقدر إنتاج أكثر من 300 مليون لتر يومياً بحلول عام 2011.

المصدر: مقتبس من Cho (2011)

الجدول 5-5 أمثلة على بيانات المياه العادمة المنصرفة من الصناعات

نوع الصناعة	توليد المياه العادمة (م³/طن)	الحجم (م3/طن)	الطلب على الأكسجين الكيميائي (كغم/م³)	حجم الطلب على الأكسجين الكيميائي (كغم/م3)
تكرير الكحول	24	32–16	11	22–5
البيرة والشعير	6.3	9–5	2.9	7–2
القهوة	غير متاح	غير متاح	9	15–3
منتجات الألبان	7	10–3	2.7	5.2–1.5
تجهيز الأسماك	غير متاح	18–8	2.5	
اللحوم والدواجن	13	18–8	4.1	7– 2
المواد الكيميائية العضوية	67	400–0	3	5–0.8
المصافي البترولية	0.6	1.2–0.3	1.0	1.6–0.4
البلاستيك والراتنجات	0.6	1.2–0.3	3.7	5–0.8
اللب والورق (مجتمعة)	162	240–85	9	15–1
الصابون والمنظفات	غير متاح	5–1	غير متاح	1.2–0.5
إنتاج النشا	9	18–4	10	42–1.5
تكرير السكر	غير متاح	18–4	3.2	6–1
الزيوت النباتية	3.1	5–1	غير متاح	1.2–0.5
الخضار والفواكه والعصائر	20	35–7	5.0	10–2
النبيذ والخل	23	46–11	1.5	3.0–0.7

المصدر: Doorn et al. (2006, Table 6.9, p. 622, based on Doorn et al., 1997).

الإطار 3-5 أنظمة تربية الأسماك في مياه المجارير في كولكاتا: إبداع للمزارعين منذ مائة عام

ابتكر المزارعون في مدينة كولكاتا بالهند منذ قرن تقريباً أسلوب استخدام مياه المجارير المحلية لتربية الأسماك وفي الأغراض الزراعية الأخرى. ويُستخدم هذا الأسلوب على نطاق واسع لتلبية الطلب المتزايد على الأسماك في هذه المدينة ذات الكثافة السكانية العالية. وتعتبر هذه الطريقة فريدة من نوعها، وهي أكبر نظام تشغيلي في العالم لتحويل النفايات إلى منتجات يمكن استهلاكها. وتولِّ المياه العادمة ومياه الصرف السطحي في كولكاتا الكبرى (أكثر من 13 مليون نسمة) إلى توليد حوالي 600 مليون لتر من مياه المجارير في اليوم. وبدأ الاستخدام الواسع لمياه المجارير في تربية الأسماك في ثلاثينيات القرن العشرين. وقد شكَّل النجاح المبكر لتربية الأسماك في برك الترسيب، والتي كانت تُستخدم كمصدر للمياه في زراعة الخضراوات، حافزاً للتوسع في نظام تربية الأسماك في مياه المجارير. وقد بلغت مساحة هذا النظام الفريد من تربية الأسماك 12000 هكتار، ولكن في السنوات الأخيرة حدث انخفاض حاد في المساحة بسبب ضغط التحضر المتزايد. وفي الوقت الحالي، تم تقليص المساحة التي يستخدمها نظام تربية الأسماك في مياه المجارير إلى أقل من 4000 هكتار، مما أثر بشدة على الفقراء الذين يعتمدون على هذه المساحات الرطبة في معيشتهم. ومع ذلك، لا تزال مدينة كولكاتا تنتج كميات كبيرة من الأسماك من هذا النظام حتى يومنا هذا. ويُناشد سكان المدينة الذين يتزايد عددهم بسرعة الحكومة لإعلان منطقة تربية الأسماك في مياه المجارير كمحميات طبيعية وحمايتها من أي تجاوزات. ويتم استخدام 12000 هكتار أيضا لزراعة الخضراوات.

المصدر: مقتبس من Nandeesha (2002، ص. 28)

المياه العادمة. فمثلاً، يمكن إعادة استخدام مياه الصرف السطحي في المناطق الحضرية بشكل مباشر لأغراض معينة، ولكن بمجرد دمجها مع العادم المائي الأسود فإنها تتطلب معالجة إضافية.

عادة ما تكون دوافع إعادة الاستخدام تشريعية وما يحركها في الأساس هو الاقتصاد. فإذا كانت المياه المستخدمة متاحة بسعر أقل أو بسعر مماثل (بما في ذلك تكلفة النقل)، فسوف تعتبر إضافة لمصادر المياه العذبة التقليدية. وفي بعض البلدان أو المناطق التي تعاني من ندرة المياه، تقتضي الضرورة وجود مستويات عالية من إعادة الاستخدام.

إن إعادة استخدام المياه في الزراعة هي واحدة من المجالات ذات الإمكانات العظيمة، وهذا يتم بالفعل بشكل رسمي وغير رسمي في العديد من البلدان (انظر الفصلين السادس والسادس عشر). وتتيح إعادة الاستخدام في المناطق شبه الحضرية فرصة لإنتاج الطعام بالقرب من مناطق الاستهلاك.

5-5-1 إعادة استخدام مياه الشرب

إن استخدام المياه العادمة المعالجة في أغراض الشرب ليس أمراً شائعاً، على الرغم من كونه أمراً راسخاً في بعض الأماكن (انظر القسم 16-1-2). إن سكان بعض البلدان، مثل أستراليا، وناميبيا، وسنغافورة، يشربون بالفعل مياهاً عادمة معالجة، وكذلك الحال لدى سكان بعض المناطق في الولايات المتحدة الأمريكية، مثل كاليفورنيا، وفيرجينيا، ونيو مكسيكو. وعادة ما يكون الأمر آمناً، لكن الرأي العام يتأثر بأولئك الذين يستخدمون فكرة «إعادة استخدام المياه العادمة في أغراض الشرب» كوسيلة لصدّ الناس عن إعادة الاستخدام.

أما إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب، حيث تضاف المياه العادمة المعالجة إلى مصادر جوفية أو سطحية (حيث تتلقى معالجة إضافية) لينتهي بها المطاف كمياه للشرب، فقد أصبحت شائعة بشكل متزايد (انظر الإطار 5-2). فبعد المعالجة الثلاثية، يتم تصريف المياه إلى خزان لتخزينها لمدة ستة أشهر أو أكثر. ويبدو أن هذا المستوى من المعالجة يخفف من مخاوف الناس بشأن فكرة إعادة استخدام المياه العادمة في أغراض الشرب. وفي الواقع، هناك نسبة كبيرة من المياه العادمة المعالجة وغير المعالجة ينتهي بها المطاف في المجرى المائي ويتم استخدامها بعد ذلك كمصدر لإمداد المياه.

5-5-2 إعادة استخدام المياه العادمة في أغراض أخرى غير الشرب: كالأغراض الصناعية والتجارية والترفيهية والزراعة شبه الحضرية

تصبح إعادة الاستخدام المحلي أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية إذا كانت نقطة إعادة الاستخدام قريبة من نقطة الإنتاج. وهناك العديد من المؤسسات الصناعية والتجارية بحاجة إلى مياه للتشغيل، ويمكنها اتخاذ إجراءات داخلية أفضل لتقليل اعتمادها على استهلاك المياه وإنتاج المياه العادمة وكذلك التكاليف المرتبطة بها. ويمكن للشركات أن تعيد استخدام بعض المياه العادمة غير المعالجة بشكل مباشر شريطة أن تكون ذات نوعية مناسبة. وتشمل المصادر الجيدة مياه التشغيل التي تستخدم للتبريد أو التدفئة، ومياه الأمطار المجمَّعة من أسطح المنشآت الصناعية/التجارية أو مواقف ومدارج المطارات.

وكثيراً ما يُستخدم مصطلح التكافل الصناعي (انظر الفصل السادس) لوصف الشراكات والتعاون بين صناعتين مختلفتين أو أكثر لتعزيز الأداء البيئي والقدرة التنافسية عن طريق تبادل وتحسين المواد المتبادلة والطاقة وتدفقات المياه. وفي حالة إعادة استخدام المياه، يحدث هذا عادة على المستوى المحلي، تصبح المنتجات الثانوية لصناعة ما عبارة عن مواد خام تُستخدم في صناعة أخرى. وبالمثل، يمكن استخدام مياه التبريد لاسترداد الحرارة أو للاستخدام الإنتاجي (معهد التكافل الصناعي، 2008).

وفي بعض الأحيان يتم تقاسم إدارة المرافق أو الخدمات المساعدة بين الشراكات (انظر الإطار 6-4).

تقدم وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة (2004) معلومات جيدة عن أنظمة إعادة الاستخدام التي توفر مياه عادمة معالجة جزئياً (مناسبة للغرض) في المناطق الحضرية وذلك في أغراض متنوعة غير أغراض الشرب، بما في ذلك:

- ري الحدائق العامة، ومراكز الترفيه، والملاعب الرياضية، وأفنية المدارس، وساحات اللعب، والجزر الوسطية، والأكتاف على الطرق السريعة، والمساحات الخضراء المحيطة بالمباني والمرافق العامة
- ري المساحات الخضراء المحيطة بمساكن الأسرة الواحدة، والأَسَر المتعددة، والمحيط العام، وأنشطة الصيانة الأخرى
- ري المساحات الخضراء المحيطة بالمنشآت التجارية والمكتبية والصناعية
- ري ملاعب الجولف
- الاستخدامات التجارية، مثل مرافق غسيل السيارات ومرافق غسيل الملابس وغسل النوافذ وخلط المياه في مبيدات الآفات ومبيدات الأعشاب والأسمدة السائلة
- استخدامات التشجير وأشكال المياه الزخرفية، مثل النوافير وأحواض المياه العاكسة والشلالات.

في أنظمة التوزيع المزدوج يتم توصيل المياه العادمة المعالجة جزئياً إلى العملاء من خلال شبكة موازية من أنابيب التوزيع تكون منفصلة عن نظام توزيع مياه الشرب. ويُعد نظام توزيع المياه المستعملة مرفقاً ثالثاً إلى جانب مرفقي المياه العادمة ومياه الشرب. ويتم تشغيل وصيانة نظم المياه المستعملة بطريقة مماثلة لنظام مياه الشرب (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، 2012). ولقد تم تطبيق الاستخدام المباشر للمياه العادمة المعالجة منذ فترة في مناطق مثل سان بطرسبرغ وفلوريدا، حيث يتم توفير المياه المستعملة للعديد من العقارات السكنية والمنشآت التجارية والمجمعات الصناعية فضلاً عن محطة لاسترداد الموارد وملعب بيسبول وبعض المدارس (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، 2004).

إن توفير أغذية كافية وآمنة لسكان المدن يشكل تحدياً كبيراً. وتوفر الزراعة شبه الحضرية حلاً واحداً ولكنها تتطلب مياهاً كافية. وفي كثير من الأحيان، تُستخدم المياه العادمة المنصرفة من البلديات (عادة بشكل غير رسمي) دون معالجة، مما يسبب مخاطر صحية خطيرة للمزارعين ومستهلكي الطعام. وتعكس العادات الاجتماعية والنظم الغذائية مدى خطورة هذه الممارسة. وتُعد أحواض مياه المجارير المستخدمة في تربية الأسماك في كولكاتا بالهند مثالاً على إعادة الاستخدام المباشر للمياه العادمة. (انظر الإطار 5-3).

6-5 إدارة الصرف السطحي في المناطق الحضرية

يهدف التكيف مع تغير المناخ إلى خفض مخاطر الفيضانات المصاحبة للأمطار الشديدة، وإذا ما تم تطوير هذا التكيف بالتآزر مع التنمية الحضرية فبإمكانه أيضاً معالجة بعض المشاكل المرتبطة بإدارة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية. ويزداد اهتمام المدن بتأثيرات تغير المناخ والتي تشمل ارتفاع مخاطر الفيضانات وارتفاع درجات الحرارة إلى جانب تزايد الطلب على إمدادات مياه الشرب الآمنة (State of Green, 2015).

ويمكن أن تسهم مياه الأمطار التي تتخذ شكل الجريان السطحي في إحداث توازن في المياه بالمدن، ويمكن جمعها واستخدامها في إنشاء مناطق ترفيهية جذابة. وهناك مثال جيد في الدنمارك (انظر الإطار 5-4) والذي يوضح كيفية استخدام مياه الأمطار كمورد لإنشاء مدن أكثر مرونة وقابلية للعيش.

الإطار 5-4 معالجة مياه الجريان السطحي للأمطار من منطقة صناعية، مدينة كولدينغ، الدنمارك

واجه مرفق المياه العادمة المحلية في مدينة كولدينغ بالدنمارك مشكلة تنظيف الصرف السطحي من منطقة صناعية شديدة التلوث وذلك لحماية النظام البيئي الخاص بنهر صغير قريب. كان النهر ملوثاً بالزيت والمواد الخطرة التي يتم تصريفها من المنطقة الصناعية حيث يتم تحميل الشاحنات وتخزين مجموعة متنوعة من المواد في ساحة التخزين بالخارج. ولحل هذه المشكلة، قام المرفق بتطبيق نظام HydroSeparator® (نظام فصل المياه) وهو وسيلة حل آلية وفعالة لتحسين نوعية المياه لمختلف المستخدمين مع تقليل الحاجة إلى أحواض الاحتجاز بتكلفة إجمالية أقل. وتم تحديد السعة القصوى لنظام HydroSeparator® (نظام فصل المياه) بحد أقصى من التدفق قدره 200 لتر/ ثانية إلى النهر الصغير. ويتكون النظام من وحدتين قياسيتين لفصل المياه لكل 100 لتر/ثانية لكل منهما، ويمكن للوحدتين أن تعملا في وقت واحد أو بشكل منفصل. واليوم، يعمل المصنع تلقائياً بتكاليف تشغيل منخفضة للغاية ويمكن مراقبته والتحكم فيه من خلال الإنترنت بالإضافة إلى نظام التحكم الصناعي (SRO) المتصل بمرفق المياه العادمة بمدينة كولدينغ.

المصدر: مقتبس من State of Green (2015. p.18).

الفصل السادس

منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية: شعبة كفاءة الموارد الصناعية، وجون باين، شركة جون ج. باين وشركاه المحدودة

الصناعة

قناة لمعالجة المياه العادمة في محطة للطاقة

يشرح هذا الفصل حجم وطبيعة إنتاج المياه العادمة المنصرفة من الصناعات، كما أنه يسلط الضوء على الفرص التي يتيحها استخدام وإعادة تدوير المياه العادمة واسترداد الطاقة والمنتجات الثانوية النافعة عند مواجهة تحديات الموارد الطبيعية في سياق التنمية الصناعية المستدامة.

لقد كان فجر الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر في البلدان المتقدمة حالياً بداية معضلة المجتمع بخصوص مصير المياه العادمة المنصرفة من الصناعات. وكما هو الحال في كثير من الأحيان، يتم تصريف تلك المياه في المجاري المائية الطبيعية في اعتقاد خاطئ بأن «حل التلوث هو التخفيف» وأن مياه الأمطار هي مطهِّر للطبيعة.

وقد أدت الضغوط المجتمعية والبيئية بمرور الوقت إلى حدوث حركة متنامية حثت الصناعات على تقليل كمية المياه العادمة التي تنتجها ومعالجتها قبل تصريفها. وقد تطور هذا الأمر كثيراً، حيث يُنظر الآن إلى المياه العادمة على أنها مورد محتمل، وأن استخدامها أو إعادة تدويرها بعد أن تخضع للمعالجة المناسبة يمكن أن يفيد الصناعات اقتصادياً ومالياً. وهذا بدوره يكمل الصورة الأكبر للصناعة الخضراء والمسؤولية الاجتماعية للشركات والإشراف على المياه والتنمية المستدامة، بما في ذلك أهداف التنمية المستدامة وتحديداً الأهداف 6-3 و6-أ والتي تخص المياه العادمة (انظر الفصل الثاني).

وتنطبق هذه الاعتبارات بشكل رئيسي على الصناعات الكبيرة، التي عرف بعضها طريقه إلى البلدان النامية: حيث انتقل العديد من تلك الصناعات من البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المرتفع إلى الأسواق الناشئة (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، بدون تاريخ)، فتلك الصناعات لديها الحجم والموارد التي تمكِّنها من اغتنام الفرص ودخول الاقتصاد الدائري. ولأن المشروعات الصغيرة والمتوسطة وكذلك الصناعات غير الرسمية تفتقر إلى هذا الحافز، فإنها غالباً ما تصب مياهها العادمة في النظم البلدية أو في البيئة مباشرة، مما يخلق أشكالاً أخرى من التحديات والفرص الضائعة (انظر الفصل الخامس).

6-1 حجم توليد المياه العادمة المنصرفة من الصناعات

حيث إن الإعلان عن حجم المياه العادمة المنصرفة من الصناعات يتم بشكل محدود ومتقطع، فإن الحجم الحقيقي لهذا المورد المحتمل غير معروف إلى حد كبير. فعلى الصعيد العالمي، نجد أن البيانات والمعلومات المتعلقة بحجم المياه العادمة الناتجة من الصناعات ضئيلة للغاية. علاوة على ذلك، يجب التمييز بين الحجم الكلي للمياه العادمة الناتجة والحجم الذي يتم تصريفه بالفعل، والذي هو أقل بصفة عامة بسبب إعادة التدوير. وتشير بعض التقديرات إلى أن حجم المياه العادمة المنصرفة من الصناعات سيتضاعف بحلول عام 2025 (المبادرة المالية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2007)[5].

تتوافر بعض المعلومات عن البلدان المتقدمة، ففي الاتحاد الأوروبي على سبيل المثال، تُظهر البيانات المحدودة أن توليد المياه العادمة قد انخفض بشكل عام (المكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي، بدون تاريخ). كما تظهر البيانات أن التصنيع هو أكبر مولِّد للمياه العادمة من بين القطاعات الصناعية الرئيسية (انظر الجدول 6-1). وعلاوة على ذلك، تشير البيانات الواردة من عدد قليل من البلدان إلى أن الصناعة تُعد من عوامل التلوث الرئيسية، حيث تتم معالجة نسبة محدودة فقط من المياه العادمة قبل تصريفها (انظر الجدول 6-2).

وتعد كندا مثالاً استثنائياً على توافر معلومات مفصَّلة على المستوى القُطري (انظر الجدول 6-3)، فكندا تجري استطلاعات حول المياه الصناعية كل سنتين تتضمن بيانات عن الصناعات التحويلية، والتعدين، وتوليد الكهرباء الحرارية (انظر الإطار 6-1).

وقد أفادت هيئة الإحصاء الكندية (2014) بأن الصناعات الورقية أنتجت ما يقرب من 40% من حجم التصريفات الصناعية، وأن ما يقرب من 80% من هذه التصريفات يخضع لمعالجة ثانوية أو بيولوجية، وشكلت 32% من حجم المياه المعاد تدويرها، مع وجود معادن أولية بنسبة 50%. وبالنسبة للتصنيع بشكل عام، وصل معدل إعادة التدوير (المياه المعاد تدويرها كنسبة مئوية من الاستهلاك) إلى ما يقرب من 51%. أما بالنسبة لتكاليف المياه المتعلقة بالتصنيع، فقد تم تخصيص حوالي 38% لمعالجة النفايات السائلة ونحو 10% لإعادة تدويرها. وكانت عملية توليد الكهرباء

5 من المفترض أن يشير ذلك إلى عام 2007 حينما نُشِر التقرير.

الجدول 6-1 توليد المياه العادمة حسب نوع الصناعة، 2011 (مليون متر مكعب)

	إجمالي الصناعة	التعدين واستخراج الحجارة	الصناعات التحويلية*	إنتاج وتوزيع الكهرباء (باستثناء مياه التبريد)**	البناء
النمسا[1]	1 487.2	غير متاح	889.6	363.3	غير متاح
بلجيكا[2]	530.0	42.0	239.9	7.9	0.4
بلغاريا	153.6	12.5	91.3	37.9	0.6
البوسنة والهرسك	9.5	غير متاح	9.5	غير متاح	غير متاح
كرواتيا	84.7	1.7	81.4	0.5	غير متاح
قبرص[5]	1.9	غير متاح	1.9	0.0	غير متاح
فنلندا	غير متاح	غير متاح	14.4	26.5	14.7
جمهورية مقدونيا اليوغوسلافية السابقة[2]	687.7	9.2	408.1	251.6	غير متاح
ألمانيا[1]	1 534.6	227.6	1 180.6	75.4	0.6
المجر[4]	154.3	17.8	129.7	3.9	0.0
لاتفيا[3]	45.5	5.5	20.2	6.1	1.3
ليتوانيا	40.4	0.6	33.9	2.6	0.7
بولندا	غير متاح	342.9	484.6	79.8	6.6
رومانيا	غير متاح	47.3	غير متاح	غير متاح	3.6
سلوفينيا	غير متاح	0.1	42.8	غير متاح	0.1
سلوفاكيا	192.2	20.5	163.0	7.9	0.1
إسبانيا[1]	6 335.2	47.2	602.0	غير متاح	غير متاح
السويد[1]	878.0	26.0	839.0	14.0	غير متاح
صربيا	76.8	10.3	36.3	30.2	غير متاح
تركيا[1]	528.7	41.9	460.8	26.1	غير متاح

[1]2010 [2]2009 [3]2007 [4]2006 [5]2005

ملاحظات:

* تشمل الصناعات التحويلية: المنتجات الغذائية، والمنسوجات، والورق، والمنتجات الورقية، والمنتجات البترولية المكررة، والكيماويات، والمنتجات الكيماوية، والمعادن الأساسية، والمركبات، والمقطورات، وشبه المقطورات، وغيرها من معدات النقل، وصناعات أخرى.

** يشمل إنتاج وتوزيع الكهرباء عملية توفير الطاقة الكهربائية، والغاز الطبيعي، والبخار، والماء الساخن، وما شابه ذلك من خلال بنية تحتية دائمة (شبكة) من الخطوط والمواسير والأنابيب.

المصدر: المكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي، بدون تاريخ، الجدول 7. (الاتحاد الأوروبي، 1995 -2016).

الحرارية هي أكبر مستخدم ومصرف للمياه، والتي تم تصريف نحو 58% منها إلى المسطحات المائية دون معالجة. لقد كان معدل إعادة تدوير هذه المياه منخفضاً رغم أن حجمها كان ضعف حجم تلك المستخدمة في التصنيع. أما بالنسبة للتعدين، فقد كان الأمر مختلفاً إلى حد ما، حيث فاق معدل إعادة التدوير 100% (من المياه التي تُستخدم أساساً للتشغيل) وكان حجم التفريغ أكبر من حجم الاستهلاك بسبب نزح المياه.

ورغم قيام العديد من الشركات الفردية بجمع البيانات الخاصة بالمياه العادمة والإعلان عنها وفقاً لما تتطلبه اللوائح، مع وجود بعض الاستثناءات، فهناك فجوات كبيرة في جميع القطاعات التي تقوم بجمع وترتيب البيانات على المستويين المحلي والعالمي. ومن الضروري سد هذه الفجوات قبل أن تتمكن سياسة إدارة المياه من تحقيق تقدم جيد في تنسيق استخدام المياه واستهلاكها مع توليد المياه العادمة وتصريفها، لكن غالباً ما يتم تجاهل التصريف.

الجدول 6-2 تصريف المياه العادمة من الصناعات بعد المعالجة (كنسبة مئوية من مجموع التصريفات)، 2007-2011

	2007	2008	2009	2010	2011
البوسنة والهرسك	0.0	56.0	62.5	65.4	58.5
بلغاريا	59.7	57.1	49.6	50.8	46.8
كرواتيا	0.0	17.0	16.8	25.7	8.5
جمهورية التشيك	47.7	44.3	45.7	52.4	60.2
جمهورية مقدونيا اليوغوسلافية السابقة	4.4	25.9	7.2	غير متاح	غير متاح
ألمانيا	46.7	غير متاح	غير متاح	46.5	غير متاح
ليتوانيا	0.0	73.5	72.5	60.4	51.8
رومانيا	0.0	12.7	9.7	14.1	5.6
تركيا	0.0	38.1	غير متاح	71.9	غير متاح

المصدر: المكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي (بدون تاريخ، الشكل 5). (الاتحاد الأوروبي، 1995-2016).

الإطار 6-1 استطلاعات المياه الصناعية في كندا

تشارك ثلاثة قطاعات في الاستطلاع الكندي حول المياه الصناعية: التصنيع واستخراج المعادن، ومحطات توليد الوقود الأحفوري، والطاقة الكهربائية النووية. ولكل قطاع استبيان خاص به وتجمع من خلاله بيانات حول حجم المياه التي يتم جلبها إلى المرفق، ومعلومات عن مصدر هذه المياه والغرض منها ومعالجتها وإمكانية إعادة تدويرها، وكذلك أحجام ومستويات المعالجة قبل التصريف. ويتم تطوير الاستبيانات بالتعاون مع مستخدمي البيانات من أجل تلبية احتياجاتهم الإحصائية. كما تم التشاور مع المشاركين من خلال اجتماعات فردية عُقدت معهم لضمان إتاحة المعلومات المطلوبة وأنه يمكن ملء الاستبيان في إطار زمني معقول. ويتم جمع البيانات مباشرة من المشاركين في الاستطلاع من خلال إرسال الاستبيانات عن طريق البريد ثم استلامها منهم أيضاً عن طريق البريد وذلك بعد ملئها. ويتم إرسال الاستبيانات عن طريق البريد في السنة التي تلي السنة المرجعية ويتم توجيه الأمر إلى «مدير البيئة أو المنسق». ويكون الرد على الاستبيان إلزامياً ويُطلب من المشاركين إرسال الاستبيانات خلال 30 يوما من استلامها. ويتم تضمين خطاب يشرح الغرض من الاستطلاع وتاريخ إعادة إرسال الاستبيان بعد ملئه والشرط القانوني للرد في حزمة البريد، كما يتم إرسال رسائل عبر الفاكس إلى المشاركين الذين تظل استبياناتهم مُعلقة بعد 45 يوماً من إرسال البريد.

ويمكن الحصول على الاستبيانات وإرشادات الإفصاح على الموقع:
www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvInstrumentList&Id=253674

المصدر: مقتبس من هيئة الإحصاء الكندية (بدون تاريخ).

2-6 طبيعة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات

إن البيانات المتعلقة بالخصائص العامة ونوعية المياه العادمة المنصرفة من الصناعات أكثر توافراً. ومن المحتمل أن تكون لسُمية الملوثات الصناعية وحركتها وأعبائها تأثيرات أكثر خطورة على موارد المياه والصحة البشرية والبيئة من أحجام المياه الفعلية. وينعكس ذلك في سجلات تصريف الملوثات ونقلها (انظر الفصل الرابع عشر)، والتي تحتوي على معلومات من البلدان المتقدمة بشأن كميات المواد الملوثة المختارة (فوق حدود معينة) المنصرفة من الصناعات إلى المياه والأرض والهواء (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، بدون تاريخ). ويمكن تحليل قواعد البيانات للحصول على فكرة عامة عن المستوى الإجمالي للموارد القابلة للاسترداد من بين العديد من الملوثات غير المرغوب فيها.

تُنتج الأنشطة الصناعية المختلفة مياهاً عادمة تتسِم باحتوائها على عدد كبير من الملوثات (انظر الجدول 6-4). وهناك تكنولوجيا متاحة لإزالة هذه الملوثات وهي محدودة الفعالية من حيث التكلفة في حالات صناعية معينة. وهذا يؤدي إلى خلق مُنتجَيْن: المياه المعالجة والمواد المستعادة. ويمكن إعادة تدوير المياه داخل مصنع أو بواسطة صناعة أخرى، أو يتم تصريفها ببساطة، وإعادتها إلى الدورة المائية كي يستخدمها الآخرون. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تشير التقديرات

الجدول 3-6 استهلاك المياه وتصريفها وإعادة تدويرها في الصناعة الكندية، 2011 (مليون متر مكعب)

	الإجمالي	التصنيع	الطاقة الحرارية الكهربائية (بما في ذلك الطاقة النووية)	التعدين
إجمالي الاستهلاك	27 600	3 677.5	23 497.2	429.2
الحجم الإجمالي (%)	100	13.3	85.1	1.6
إجمالي التصريف[1]	26 900	3 226.8	23 082.6	587.9
الحجم الإجمالي (%)	100	12.0	85.8	2.2
معالجة التصريف (%)				
غير معالجة		34.0	57.9	43.8
أساسية		17.9	غير متاح	47.6
ثانوية		36.2	<<1	غير متاح
المرحلة الثلاثية		12.0	غير متاح	غير متاح
إعادة تدوير	6 000	1 870.0	3 711.2	465.1
الحجم الإجمالي (%)	100	30.9	61.4	7.7
معدل إعادة التدوير[2] (كنسبة مئوية من الاستهلاك)		50.8	15.8	108.4
استخدام إعادة التدوير (%)				
مياه التشغيل		49.7		90.8
التبريد والتكثيف والبخار		50.0	98.1	غير متاح
التحكم في التلوث			0.1	
أخرى		0.3	1.7	غير متاح

(١) حجم التصريف أعلى من حجم الاستهلاك بسبب نزح المياه الجوفية في بعض المناجم.

(٢) معدل إعادة التدوير = كمية المياه المعاد تدويرها كنسبة مئوية من الاستهلاك. يمكن لنفس المياه أن تخرج من نظام فرعي وتعيد الدخول فيه مرة أخرى، أو أن تُستخدم في نظام فرعي آخر عدة مرات، مما يؤدي إلى معدل إعادة تدوير أعلى من 100%.

المصدر: (هيئة الإحصاء الكندية، 2014).

إلى أنه بالنسبة لبعض الأنهار الرئيسية يعاد استخدام المياه أكثر من 20 مرة قبل وصولها إلى البحر (شركة TSG, 2014). ويمكن استرداد المواد المفيدة مثل المعادن (الفوسفات) والفلزات (انظر الفصل السادس عشر). وقد تُستخدم مياه التبريد في توفير التدفئة، وقد تُستخدم الحمأة المتبقية في إنتاج الغاز الحيوي أو قد لا يكون لها أي مصير آخر سوى التخلص منها.

3-6 مواجهة تحدي الموارد

إذا تم قبول المياه العادمة كمُدخَل إيجابي بدلاً من كونها مُخرَجاً غير مرغوب فيه، ناتجاً عن نشاط صناعي يتطلب التخلص منه، فهناك عملية منطقية ومفضلة لاستخدامها وإعادة تدويرها بشكل فعال بدلاً من التخلص منها.

6-3-1 الحد من التلوث ومنعه

كما هو الحال في العديد من القضايا البيئية، فإن الخطوة الأولى هي منع التلوث أو تقليله، والهدف هو الإبقاء على حجم وسمية التلوث في مستوى الحد الأدنى عند نقطة المنشأ. ويصب هذا في جوهر الهندسة الصناعية الخضراء الجديدة، حيث يُعد القضاء على التلوث والمياه العادمة جزءاً من المعادلة من النظرية إلى التصميم بالنسبة للعمليات والصيانة. ومع وجود مصانع على الأرض وإمكانية إعادة الهندسة، فقد يكون الحد من التلوث هو الخيار الوحيد. ويشمل ذلك الاستعاضة بمواد خام أكثر ملاءمة للبيئة ومواد كيميائية قابلة للتحلل البيولوجي، فضلاً عن تعليم وتدريب الموظفين لتحديد قضايا التلوث ومعالجتها.

الجدول 6-4 محتوى المياه العادمة النمطية في بعض الصناعات الرئيسية

الصناعة	المحتوى النمطي للنفايات السائلة
اللب والورق	• أحماض الليجنوسلفونيت المكلورة، وأحماض الراتنج المكلورة، والفينولات المكلورة، والهيدروكربونات المكلورة – تم تحديد حوالي 500 مجموعة مختلفة من المركبات العضوية المكلورة • المركبات الملونة والهالوجينات العضوية القابلة للامتصاص • الملوثات التي تتميز بالطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، والطلب على الأكسجين الكيميائي، والمواد الصلبة العالقة، والسمية واللون
الحديد والصلب	• مياه تبريد تحتوي على الأمونيا والسيانيد • منتجات تغويز – بنزين، نفثالين، أنثراسين، سيانيد، أمونيا، فينولات، كريسولات وهيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات • زيوت هيدروليكية، وشحم، وجسيمات صلبة • مياه شطف حمضية وحمض النفايات (حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريت)
المناجم والمحاجر	• ملاط الجسيمات الصخرية • مخفضات التوتر السطحي • الزيوت والزيوت الهيدروليكية • المعادن غير المرغوب فيها، أي الزرنيخ • أوحال ذات جسيمات دقيقة جداً
صناعة الأغذية	• مستويات عالية من تركيزات الطلب على الأكسجين الحيوي والمواد الصلبة العالقة • مستويات متغيرة للطلب على الأكسجين الحيوي ودرجة الحموضة اعتماداً على الخضار والفاكهة أو اللحوم والموسم • معالجة الخضراوات – الجسيمات العالية، وبعض المواد العضوية الذائبة، ومخفضات التوتر السطحي • اللحوم – المواد العضوية القوية، والمضادات الحيوية، وهرمونات النمو، ومبيدات الآفات، والمبيدات الحشرية • الطهي – المواد العضوية النباتية، والملح، والمنكّهات، والمواد الملّونة، والأحماض، والقلويات، والزيت، والدهون
تخمير البيرة	• الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، والطلب على الأكسجين الكيميائي، والمواد الصلبة العالقة، والنيتروجين، والفسفور – متغيرة بحسب المعالجات الفردية • تتغير درجة الحموضة بسبب مواد التنظيف الحمضية والقلوية • درجة حرارة مرتفعة
الألبان	• السكريات الذائبة، والبروتينات، والدهون، ومخلفات المواد المضافة • الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، والطلب على الأكسجين الكيميائي، والمواد الصلبة العالقة، والنيتروجين، والفسفور
الكيماويات العضوية	• مبيدات الآفات، والأدوية، ومواد الطلاء، والأصباغ، والكيماويات البترولية، والمنظفات، والبلاستيك، إلخ • المواد الخام، والمنتجات الثانوية، والمواد المنتَجة في شكل ذائب أو جسيمات، ومواد الغسيل والتنظيف، والمذيبات، والمنتجات ذات القيمة المضافة مثل المواد البلاستيكية
الأنسجة	• الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي، والطلب على الأكسجين الكيميائي، والمعادن، والمواد الصلبة العالقة، واليوريا، والملح، والكبريتيد، وبيروكسيد الهيدروجين، وهيدروكسيد الصوديوم • المطهِّرات، والمبيدات الحيوية، ومخلفات المبيدات الحشرية، والمنظفات، والزيوت، ومواد تنعيم الغزل والنسيج، والمذيبات المستهلكة، والمركبات غير الإستساتيكية، والمثبتات، ومخفضات التوتر السطحي، ومساعدات المعالجة العضوية والمواد الكاتيونية والألوان • ارتفاع الحموضة أو القلوية • الحرارة والرغوة • المواد السامة وتنظيف النفايات والحجم
الطاقة	• إنتاج الوقود الأحفوري – التلوث من آبار البترول والغاز والتكسير • مياه تبريد ساخنة

المصدر: استناداً إلى الرابطة الدولية للمياه (بدون تاريخ): (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2010): (Moussa, 2008).

6-3-2 إزالة الملوثات

يتعين على الصناعات التي تقوم بتصريف مياهها العادمة إلى نظم الصرف البلدية أو المياه السطحية أن تمتثل للقوانين واللوائح الأخرى لتجنب الغرامات، لذلك غالباً ما تكون معالجة المياه العادمة عند نهاية الأنبوب مطلوبة في المصنع قبل تصريفها. وفي بعض الحالات، تجد الصناعات أن دفع الغرامات أكثر توفيراً من الاستثمار في المعالجة من أجل تلبية متطلبات اللوائح (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2015).

تتطلب النفايات السائلة المختلطة سلسلة معالجة معقدة تنتج عنها نوعية واحدة من تصريف المياه العادمة وذلك للوفاء باللوائح المحلية. ولأنه يجب أن تخضع هذه المياه للوائح صارمة في كثير من الأحيان، فقد تكون ذات جودة أعلى من تلك المياه التي تواجه

مصائر أخرى مثل إعادة التدوير. وحيث إن معالجة المياه العادمة التي تحتوي على ملوثات أكثر من غيرها عادة ما تكون أكثر صعوبة وتكلفة، فإن فصل تيارات تلك المياه يكون أمراً مرغوباً. وينبغي أيضاً تفادي خلط المياه العادمة ذات التركيزات العالية مع المجاري المائية التي قد تكون مناسبة للتصريف المباشر أو إعادة التدوير (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2006). ومع ذلك، يمكن أن يؤدي المزج المناسب للمياه العادمة الناتجة من مصادر مختلفة في بعض الحالات إلى تأثيرات مفيدة في عملية المعالجة. وفي كلتا الحالتين، فإن المعالجة المناسبة للغرض يمكن أن تحسِّن من نوعية المياه لدورها التالي.

هناك عدد كبير من خيارات المعالجة المكنة، منها برك الترسيب، والهضم اللاهوائي، والمفاعلات الحيوية لإنتاج الغاز الحيوي، والحمأة المنشطة، وأنواع مختلفة من الأغشية، والأشعة فوق البنفسجية، والمعالجة بالأوزون، والأكسدة المتقدمة، واستخدام الأنواع المختلفة من الأراضي الرطبة (انظر الجدول 4-2). وفي عام 2015، كان متوقعاً أن تمثل قطاعات النفط والغاز، والأغذية، والمشروبات، والتعدين أكثر من نصف إجمالي النفقات المصروفة على تكنولوجيات معالجة المياه العادمة، وكان متوقعاً أيضاً زيادة نمو التكنولوجيا لتلبية متطلبات التصريف الصارمة، على سبيل المثال في قطاع التعدين (انظر الإطار 6-2). ومن المتوقع أن ينمو سوق تكنولوجيات معالجة المياه الصناعية بنسبة 50% بحلول عام 2020 (GWI, 2015).

> من المتوقع أن تنمو سوق تكنولوجيات معالجة المياه الصناعية بنسبة 50% بحلول عام 2020

6-3-3 إعادة تدوير المياه العادمة واسترداد المنتجات الثانوية

إعادة التدوير داخل المصنع: تُعد الصناعة بشكل عام في وضع جيد لاستخدام أو إعادة تدوير مياهها العادمة داخلياً، وقد ينطوي ذلك على الاستخدام المباشر للمياه العادمة غير المعالجة، بشرط أن تكون نوعيتها جيدة بما يكفي للغرض المقصود. وقد تكون مياه التبريد والتسخين وكذلك مياه الأمطار مناسبة لأغراض الغسيل وتعديل درجة الحموضة والحماية من الحريق. ومع ذلك، فإن مياه التشغيل المعالجة بشكل كاف لجعل النوعية الناتجة تتناسب مع الغرض المقصود لديها إمكانات أكبر لإعادة التدوير، على سبيل المثال في مواد النقل ومياه الشطف وأبراج تبريد المياه وتغذية المراجل واحتياجات خطوط الإنتاج وإخماد الغبار والغسيل (انظر الإطار 6-3). ويتم إنجاز هذه النوعية من خلال أنظمة المعالجة اللامركزية. ورغم أن التكنولوجيا متوفرة بشكل عام، كما هو موضح في الإطار 6-2، وهناك اتجاه لتقليص الفجوة بين المعالجة وإعادة التدوير (تقارير GE، 2015)، فقد تكون هناك عقبات تشمل التنفيذ، والتكاليف التي تفوق الفوائد، وطول فترات الاسترداد، والصيانة، وزيادة استهلاك الطاقة. علاوة على ذلك، يجب أن يتناسب موقع وتوافر (الإنتاج المتقطع أو الإنتاج على دفعات أو الإنتاج المستمر) تيار المياه العادمة مع الاستخدام المستهدف.

الإطار 6-2 مشروع شركة Anglo American لتنقية المياه في مدينة إيمالاهليني بمحافظة مبومالانجا في جنوب أفريقيا

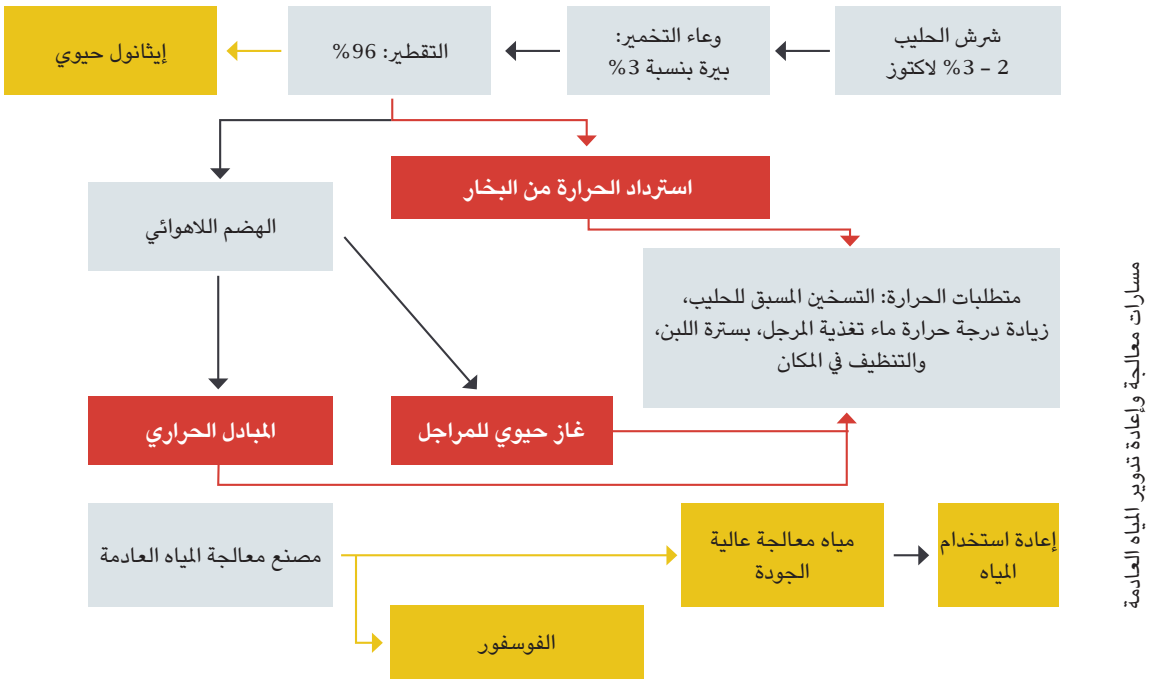
تقع حقول ويتبانك للفحم حول مدينة إيمالاهليني، وهي مدينة يسكنها نصف مليون نسمة في شمال شرق جنوب أفريقيا. وتعاني المنطقة من ندرة في المياه من المتوقع أن تزداد حدة في المستقبل، بينما تواجه إيمالاهليني بالفعل صعوبة في تلبية احتياجات المياه لسكانها الذين يتزايدون بسرعة. وبدأت مبادرة استصلاح المياه لضمان إدارة مسؤولة بيئياً عن فائض المياه في المناجم وإمدادات مستمرة من المياه المعالجة لأنشطة التعدين، مع إلغاء الحاجة إلى استيراد المياه وما يترتب عليه من منافسة مع أصحاب المصلحة الآخرين للحصول على مورد نادر.

ويقوم مصنع إيمالاهليني لتنقية المياه بمعالجة المياه الناتجة من عمليات الفحم الحراري الثلاث الخاصة بشركة Anglo American ويستخدم في ذلك تكنولوجيا تحلية المياه، حيث يتم تحويل المياه الناتجة من المنجم إلى مياه شرب، ومياه تشغيل / صناعية، ومياه يمكن تصريفها إلى البيئة بأمان. وأثناء عملية المعالجة، يتم فصل الجبس عن الماء واستخدامه كإحدى مواد البناء.

يتم استخدام بعض هذه المياه المعالجة مباشرة في عمليات التعدين، لكن معظمها يذهب للاستخدام الاجتماعي وتلبية 12% من احتياجات إيمالاهليني اليومية من المياه، حيث يتم توفير إمدادات مياه آمنة وصالحة للشرب. وتعمل شركة Anglo American للتعدين على التقليل من التأثير على المياه والبيئة مع توفير منافع طويلة الأمد للوصول الآمن وغير المنقطع إلى مخزونات الفحم من المناجم العاملة، والقضاء على كل من الحاجة إلى استيراد المياه والتصريف غير المراقب للمياه من المناجم المشاركة.

المصدر: مقتبس من (المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة / الرابطة الدولية للمياه، بدون تاريخ).

الإطار 3-6 الاستخدام الإبداعي للمياه العادمة في شركة كاربري لمنتجات الألبان بمدينة كورك في آيرلندا



تنتج صناعة الألبان في الولايات المتحدة كميات كبيرة من المياه العادمة: فهي تستخدم من 1.5 إلى 3 لترات من المياه لكل لتر واحد من الحليب. وتحتوي المياه العادمة الناتجة من صناعة الألبان عادة على ما يقرب من 10 أضعاف الأعباء العضوية الموجودة في المياه العادمة المنصرفة من البلديات. فشِرش اللبن هو منتج ثانوي من صناعة الجبن ويستخدم عادة في تغذية الخنازير أو صنع منتجات أخرى. ومع ذلك، فهناك فائض كبير منه يستهلك الكثير من الطاقة لمعالجته كمياه عادمة. والمكون الرئيسي لشرش اللبن هو اللاكتوز والذي يمكن تخميره وتحويله إلى إيثانول في عملية إبداعية من إعادة تدوير المياه العادمة، وكانت شركة كاربري لمنتجات الألبان بمدينة كورك في آيرلندا أول من قام بذلك في العالم.

ويخضع شرش اللبن للترشيح الدقيق والتناضح العكسي، أما اللاكتوز فيدخل إلى جهاز التخمير حيث يتم تحويله إلى بيرة قبل الانتقال إلى نظام التقطير لإنتاج الإيثانول 96% ومن ثم يذهب إلى سوق وقود الإيثانول الحيوي. ويأتي كل الإيثانول الحيوي في آيرلندا من هذا المصنع وحده، وتعد آيرلندا البلد الأوروبي الوحيد الذي لا يستخدم الإيثانول المستخرج من قصب السكر والذي يأتي من البرازيل.

يتم استرجاع البخار الناتج عن عملية التقطير واستخدامه في التسخين المسبق لمياه المراجل وتسخين المياه من أجل عملية التنظيف في المكان (CIP) والبسترة ومن ثم توفير الطاقة.

يتم إرسال تيار النفايات من التخمير إلى جهاز الهضم اللاهوائي حيث يقوم بإنتاج الغاز الحيوي الذي يُستخدَم في إنتاج تدفئة إضافية.

ويتم تمرير المياه العادمة الدافئة الخارجة من جهاز الهضم اللاهوائي عبر مبادل حراري من أجل تسخين الحليب المبرد القادم. وبالتالي، تنخفض درجة حرارة المياه العادمة إلى درجة مناسبة للتصريف في أحد الأنهار المحلية دون التأثير على البيئة.

في الوقت نفسه، تحتوي المياه العادمة على تركيزات كبيرة من الفسفور والذي تجب إزالة 99% منه قبل التصريف. وتتم إعادة تدوير الفسفور مرة أخرى لاستخدامه في الأراضي الزراعية.

وتسعى الشركة إلى توسيع المصنع، حيث من المحتمل أن تكون النفايات السائلة المعالجة ذات الجودة العالية مناسبة لإعادة التدوير في الموقع، خاصة كمياه مغذية للمراجل، حيث إن كمية المياه التي يمكن أن يسحبها المصنع من النهر المحلي محدودة. علاوة على ذلك، فإن إعادة التدوير ستقلص التصريفات إلى النهر، خاصة أثناء موسم التدفق المنخفض، عندما تقل قدرة التخفيف. وتُجرى دراسة تحسين النفايات السائلة عالية الجودة باستخدام الأكسدة المتقدمة، لأنها أرخص من شراء المياه الصالحة للشرب. وتدخل المياه إلى مرحلة التناضح العكسي التي تقوم بإزالة الأملاح المعدنية من المياه. وهذا له فائدة إضافية تتمثل في الحد من تلوث الغشاء والتلوث المتبادل حيث لا يوجد اتصال مباشر مع المنتجات الغذائية.

المصدر: مقتبس من Blue Tech Research (بدون تاريخ).

الإطار 4-6 التكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ بالدنمارك

يعد نموذج التكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ في الدنمارك «نظاماً إيكولوجياً صناعياً» تستخدم فيه المنتجات الثانوية الخاصة بإحدى الشركات كموارد لشركات أخرى في دورة مغلقة. بدأ هذا النموذج في عام 1961 مع تطوير مشروع جديد لاستخدام المياه السطحية من بحيرة تيسو في مصفاة جديدة للنفط وذلك بهدف الحفاظ على المصادر المحدودة للمياه الجوفية. وكانت مدينة كالوندبورغ مسؤولة عن بناء خط الأنابيب بينما كانت المصفاة مسؤولة عن التمويل.

وقد تطور نموذج التكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ بالتدريج على مدى عدة عقود من المبادرات والتعاون الفردي بين الشركات من مختلف القطاعات مدفوعة بالمزايا الاقتصادية وبدعم من بلدية كالوندبورغ. وأصبح هذا النموذج في الوقت الحاضر مشروعاً يموله شركاء التكافل.

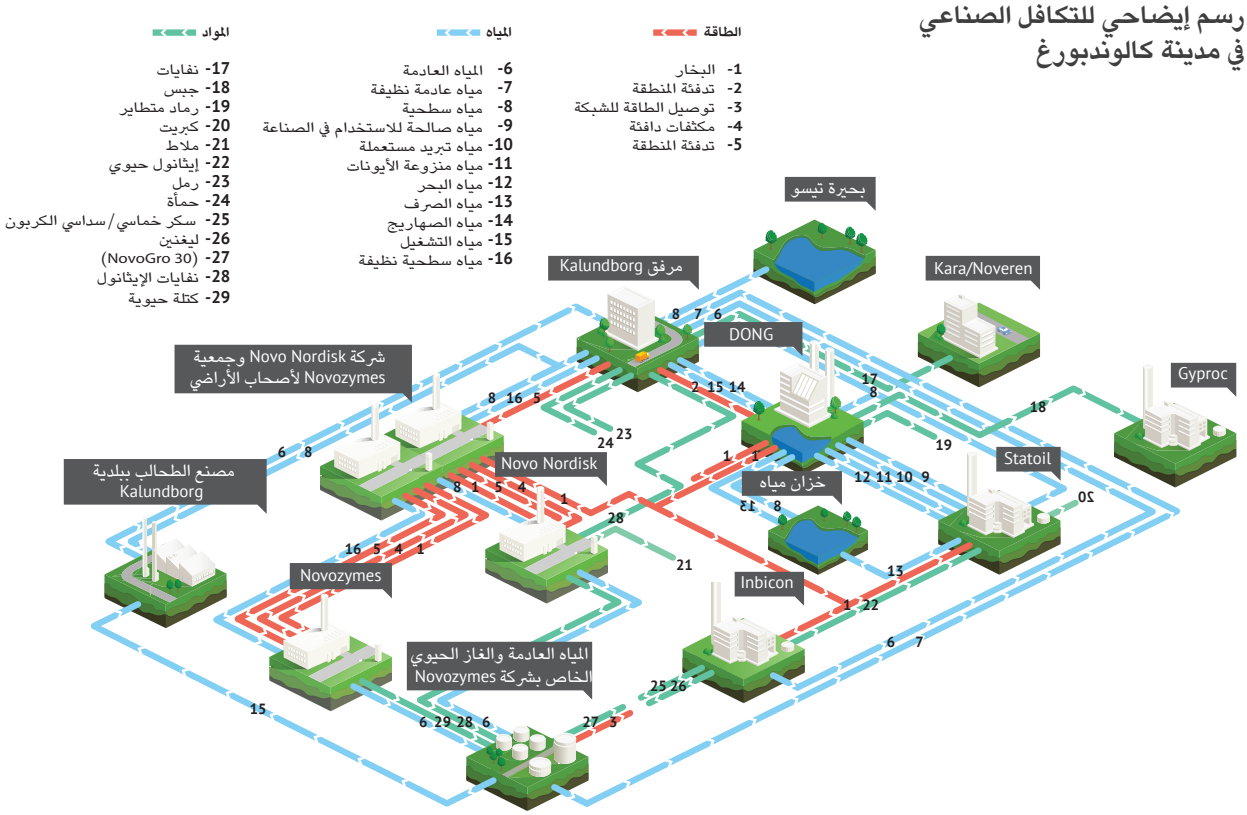
وينطوي التكافل على تبادل كل أنواع المواد، بما في ذلك المياه العادمة، كما هو موضح في الرسم الإيضاحي أدناه.

مبادرات تدفق المياه: تستقبل محطة أسناس Asnæs للطاقة 700 ألف متر مكعب من مياه التبريد من شركة ستات أويل Statoil كل عام وتقوم بمعالجتها من أجل استخدامها كمياه تغذية للمراجل. كما تستخدم المحطة حوالي 200 ألف متر مكعب من المياه العادمة المعالجة من شركة ستات أويل كل عام وذلك لاستخدامها في أغراض التنظيف. وتتحول مياه التبريد إلى بخار تتم إعادته إلى شركة ستات أويل، بالإضافة إلى شركات أخرى مثل مزرعة أسماك محلية. وتعد الوفورات في الموارد المائية المحلية كبيرة – حوالي 3 ملايين متر مكعب من المياه الجوفية ومليون متر مكعب من المياه السطحية في السنة (Domenech and Davis, 2011).

وتستخدم محطة الطاقة المياه المالحة التي تحصل عليها من المضيق في أغراض التبريد. وبذلك فهي تقلل من سحب المياه العذبة من بحيرة تيسو. وينتج عن ذلك مياه مالحة ساخنة يذهب جزء منها إلى 57 حوضاً خاصاً بمزرعة الأسماك.

مبادرات تدفق الحرارة: بدأت محطة أسناس تزويد المدينة بالبخار لاستخدامه في نظام التدفئة الجديد في عام 1981. ثم انضمت شركتا نوفو نورديسك (Novo Nordisk) وستات أويل كعملاء يستخدمون البخار. وقامت المدينة والحكومة الدنماركية بتشجيع نظام التدفئة المركزية والذي حل محل حوالي 3500 من الأفران النفطية.

رسم إيضاحي للتكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ



لمزيد من المعلومات، راجع www.symbiosis.dk/en

مصدر الشكل الإيضاحي: مجموعة كالوندبورغ للتكافل الصناعي (بدون تاريخ).

المصادر: مقتبس من EC (2016، الإطار 9، ص 25) وعلم البيئة الصناعية (بدون تاريخ).

إن استخدام المياه العادمة أو إعادة تدوير المياه العادمة المعالجة هي عملية يمكن تكرارها عدة مرات، وهي لا تقلل فقط من تكلفة الحصول على مياه عذبة عن طريق تقليل مآخذ المياه، خاصة في مناطق أو أوقات الندرة، ولكن أيضاً لديها فائدة إضافية تتمثل في الحد من التصريف. وبهذه الطريقة، يتم التقليل من الحاجة إلى تلبية المعايير التنظيمية ومخاطر الغرامات. كما أن هذه الممارسة تفيد البيئة وتضيف وزناً لتقبل المجتمع لصناعة التعدين.

التكافل الصناعي: إن التعاون بين المصانع في سياق التكافل الصناعي هو إحدى الفرص البارزة لاستخدام وإعادة استخدام المياه العادمة المنصرفة من الصناعات الأخرى (الإدارة المستدامة للمياه والصرف الصحي، بدون تاريخ). ويمكن أن يشمل ذلك تبادل مياه التشغيل أو إعادة تدوير المياه العادمة المعالجة لأغراض مشابهة لإعادة التدوير في المصنع. ومن الأمثلة على ذلك البخار، أو المياه العادمة الحارة، أو المياه العادمة التي تحتوي على مواد عضوية وعناصر مغذية، وكذلك المواد الخام غير المحوَّلة التي لا يكلف استردادها كثيراً مثل الزيت، والمذيبات المستخدمة، والنشاء وغيرها من المواد التي يمكن تداولها أو إعادة تدويرها، ربما عن طريق تبادل استخدام سجلات النفايات بين الصناعات المتجاورة (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2006). تتشابه خيارات تكنولوجيا المعالجة مع تلك الخاصة بالأغراض داخل المصنع وقد تستخدم أنظمة لامركزية. وقد يشمل ذلك إنشاء محطة معالجة مركزية مخصصة لمعالجة المياه العادمة لتخدم جميع الصناعات.

المجمعات الصناعية الإيكولوجية: توجد أفضل أشكال التكافل الصناعي في المجمعات الصناعية الإيكولوجية حيث تتواجد الشركات الصناعية بجوار بعضها البعض للاستفادة من إدارة المياه العادمة وإعادة التدوير (انظر الإطار 6-4). ويمكن لهذا أن يكون وسيلة مهمة بالنسبة للمؤسسات الصغيرة والمتوسطة لتوفير تكاليف معالجة المياه العادمة. ومن العوامل المهمة تبادل المعلومات لمطابقة الاحتياجات والقرب وموثوقية الإمداد من حيث الكمية والنوعية. وتكون محطات الطاقة والحرارة المشتركة (أو التوليد المشترك)، التي تتطلب مياه تبريد أقل بكثير من تلك المستخدمة في التوليد التقليدي، أكثر كفاءة عندما تكون قريبة من الطلب على الحرارة والطاقة مثل مجمع صناعي وكإمدادات طاقة لامركزية (Rodríguez et al, 2013). وتوجد أمثلة مهمة للمجمعات الصناعية الإيكولوجية في العديد من البلدان مثل مجمع شنغهاي الكيميائي الصناعي في الصين (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2015).

ويُعد نموذج التكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ في الدنمارك «نظاماً إيكولوجياً صناعياً» تستخدم فيه المنتجات الثانوية الخاصة بإحدى الشركات كموارد لشركات أخرى في دورة مغلقة. وقد بدأ هذا النموذج في عام 1961 مع تطوير مشروع جديد لاستخدام المياه السطحية من بحيرة تيسو في مصفاة جديدة للنفط وذلك بهدف الحفاظ على المصادر المحدودة للمياه الجوفية. وقد كانت مدينة كالوندبورغ مسؤولة عن بناء خط الأنابيب بينما كانت المصفاة مسؤولة عن التمويل.

الإطار6-5 استخدام المياه العادمة المنصرفة من البلديات في الصناعة والطاقة

يستخدم **موقع تاراغونا** الذي يشتمل على وحدة تنقية للمياه في جنوب كاتالونيا بإسبانيا – النفايات السائلة الثانوية الناتجة من مصنعين لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من البلديات ثم يقوم بمعالجتها لاستخدامها في الصناعة. وتعاني منطقة تاراغونا من الإجهاد المائي الشديد، كما أن عدم توفر المياه بها يعوق تحقيق مزيد من النمو فيها. إن إعادة تدوير المياه في مجمع صناعي (مجمع البتروكيماويات) ستعمل على تحرير حقوق المياه الخام الحالية لتلبية الطلب المحلي (الخاصة بالبلديات والسياحة) في المستقبل. والهدف النهائي هو تلبية 90% من الطلب على المياه في المجمع الصناعي من المياه المعاد تدويرها (DEMOWARE – بدون تاريخ).

تقع مدينة **تيرنيوزن** في جنوب غرب هولندا. كان مجمع داو تيرنيوزن الصناعي يخطط في الأصل لاستخدام مياه البحر المحلاة كمصدر، ولكن التكلفة المتزايدة لهذا العمل أصبحت مشكلة بسبب مشاكل الجودة والتآكل، وما إلى ذلك. ونتيجة لذلك، أعيد تصميم المحطة المجاورة التي تعالج المياه العادمة المنصرفة من البلديات بحيث توفر مياها منقّاة للمجمع الصناعي (10000 متر مكعب في اليوم)، ثم تُستخدم تلك المياه في توليد البخار وتغذية المصانع. وبعد استخدام البخار في عمليات الإنتاج، يتم استخدام المياه مرة أخرى في أبراج التبريد حتى تتبخر في الهواء في النهاية (لذلك يتم «إعادة تدويرها» مرة ثانية). ومقارنة بتكلفة الطاقة اللازمة لتحلية مياه البحر بالطريقة التقليدية لنفس الاستخدام، فقد خفض مجمع داو تيرنيوزن استهلاكه للطاقة بنسبة 95% عن طريق تنقية المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية – أي ما يعادل خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون به بمقدار 60000 طن سنوياً. ويقوم المجمع الآن بتطبيق هذه التجربة التي بدأها في أوروبا في موقعه بفريبورت في ولاية تكساس الأمريكية (World Water, 2013).

يهدف **مشروع LIFE WIRE** الذي يجري تنفيذه في برشلونة بإسبانيا إلى تعزيز إعادة التدوير الصناعي للمياه العادمة المعالجة من خلال إثبات جدوى إعادة تدوير المياه باستخدام طرق معالجة قادرة على إنتاج نوعية مياه صالحة للاستخدام. ويدرس المشروع جدوى نظم التكنولوجيا على أساس الجمع بين الترشيح الفائق وترشيح المواد النانوية الكربونية والتناضح العكسي لاستخدام المياه العادمة المعالجة في الصناعات. ويقوم المشروع بعمل تقييم تقني واقتصادي لفوائد استخدام مخطط المعالجة المقترح بالنسبة لطرق المعالجة التقليدية الحالية في ثلاثة قطاعات صناعية: التخلص من نفايات الطلاء الكهربائي والنفايات الكيميائية والسائلة.

المصادر: (مقتبس من المفوضية الأوروبية، 2016، الإطار 8، ص 25).

> تحتاج الصناعة إلى «إنتاج الكثير من القليل»، وهو ما يعني الجفاف في حالة المياه

يتشابه الجانب الإيجابي لتدابير المياه العادمة في المجمعات الصناعية الإيكولوجية مع تدابير إعادة التدوير الداخلية (الإدارة المستدامة للمياه والصرف الصحي، بدون تاريخ). أما الجانب السلبي فيشمل الحاجة إلى التزامات طويلة الأجل لتبرير النفقات الأولية، والحاجة إلى المزيد من المعالجة لتلبية احتياجات بعض الصناعات، وربما عقبات في الموافقات التنظيمية.

وقد تشتمل **الأنظمة متعددة الاستخدام** التي تتضمن عمليات الاستخدام المتتالية للمياه من نوعية أعلى إلى نوعية أقل في حوض النهر على مكونات صناعية، حيث يمكن – على سبيل المثال – إعادة استخدام المياه العادمة المنصرفة من المنازل في أغراض الغسيل والتبريد (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ج)).

تنقية المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية: يمكن للصناعة أن تساعد في الجانب الآخر من معادلة المياه العادمة وذلك عن طريق استخدام المياه العادمة المنقاة من البلديات (انظر الإطار 6-5): هذا الاستخدام المشترك للمياه بين القطاعات ينمو بسرعة في العديد من البلدان (المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، بدون تاريخ). وهذا الاستخدام هو مقياس استباقي للاستدامة لأنه يقلل من متطلبات مآخذ المياه العذبة، وهذا أمر مهم خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه، كما يقلل من عمليات التصريف من البلديات بشكل عام. ويتعين وضع مسألة توقيت توافر المياه العادمة ونقلها إلى المنشآت الصناعية المستهدفة في الاعتبار. وتقوم البلديات في بعض الحالات بتخصيص المياه العادمة لصناعات محددة قد لا تحتاج إلى مياه صالحة للشرب ونظيفة تماماً. ففي كاليفورنيا، على سبيل المثال، توفر شركة مرافق المياه (Central and West Basin Municipal Water Districts) مياهاً منقّاة ذات نوعيات وتكاليف مختلفة، بما في ذلك مياه التشغيل المستخدمة في تكرير النفط. كما تقوم هيئة مراقبة الموارد المائية بكاليفورنيا بترويج المياه العادمة لاستخدامها في التبريد بمحطات الطاقة (إدارة موارد المياه في كاليفورنيا، 2013).

4-6 المياه العادمة والتنمية الصناعية المستدامة

لا تمثّل المياه تحدياً تشغيلياً وبنداً للتكلفة في الصناعة فحسب، بل هي أيضاً فرصة للنمو حيث إن حوافز الحد من استخدام المياه (والتي تشمل استخدام وإعادة تدوير المياه العادمة) تقلل التكاليف والاعتماد على المياه (المجلس العالمي للأعمال التجارية من أجل التنمية المستدامة، بدون تاريخ). وتحتاج الصناعة إلى «إنتاج الكثير من القليل»، وهو ما يعني الجفاف في حالة المياه (منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2010).

ونظراً لأن انخفاض مدخول المياه العذبة يرتبط بانخفاض تصريف المياه العادمة، فهناك دور رئيسي تلعبه مبادرات الإنتاج النظيف التي تركز على الحد من الاستخدام الشامل للمياه وإغلاق دورة المياه والقضاء على تصريف المياه العادمة والحد من أو القضاء على المذيبات والمواد الكيميائية السامة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2010). إن الحصول على إنتاج أنظف من خلال الصناعة الخضراء يخلق قيمة من خلال خفض تكاليف التشغيل عن طريق القضاء على أوجه عدم الكفاءة باستخدام استراتيجية ثلاثية 3R التقليل، وإعادة التدوير، وإعادة الاستخدام، والتي تساعد أيضاً على الحد من التأثيرات البيئية (منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2010). فعلى سبيل المثال، استهدف برنامج اليونيدو لنقل التكنولوجيا السليمة بيئياً تلوث المياه العادمة من الصناعة على نهر الدانوب بهدف تحسين كفاءة المياه وتقليل صرف المياه العادمة، وذلك بدراسة القضايا والمشاكل ذات الصلة وإيجاد حلول إنتاجية نظيفة وتكنولوجيا جديدة (منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2011). وقد ثبت أن كفاءة الموارد والأداء البيئي القوي يحققان منافع اقتصادية لبعض المشاريع الصغيرة ومتوسطة الحجم (انظر الإطار 14-3).

وبصورة أعم، يستحوذ الإنتاج الأنظف على مكانة هامة في البيئة الصناعية والتي تشمل أيضاً التحكم في التلوث والكفاءة البيئية ومفهوم دورة الحياة ونظم الإنتاج الحَلَقية. وهذا يسمح بتحديد الفرص لتعزيز فعالية الموارد والأنشطة الخاصة بالقيمة المضافة. والهدف النهائي هو القضاء على التصريف – وهو الوضع الذي يتم فيه إعادة تدوير كل المياه داخل مصنع ما أو دفعها إلى مصنع آخر حيث يكون الاستهلاك الوحيد عن طريق التبخر، والذي يعني من الناحية النظرية أن جميع مياه الصرف تُستخدم أو يعاد تدويرها ولا يوجد تصريف (باستثناء كميات قليلة). عند هذه النقطة، يعادل سحب المياه (المدخول) الاستهلاك (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2006). ومع ذلك، فإن مفارقة جيفونز (Jevons Paradox)[6] يمكن أن تنطبق على هذا الوضع، حيث إنه مع تحسن كفاءة المياه، قد يزداد استخدامها بشكل عام، مع انخفاض تكلفة الإنتاج وما يقابله من زيادة الإنتاج الصناعي.

وبمجرد أن تحدد الصناعة بصمتها المائية ومصادرها، فإنه يمكنها أن تتخذ مياهها العادمة كهدف للبحث عن إمكانيات لإعادة استخدامها وتدويرها. وعلاوة على ذلك، يمكنها توسيع جهودها في مجال حيادية المياه (Hoekstra, 2008)، مما يعني أنه بعد بذل الصناعة جهوداً لاستخدام مياهها العادمة أو إعادة تدويرها، يمكن التعويض عن التأثيرات السلبية لتلوث المياه المتبقية من خلال الاستثمار في المشروعات التي تروج للإدارة المستدامة للمياه (مثل معالجة المياه العادمة) داخل البيئات المحلية. وبالتالي، يمكن اعتبار المياه العادمة أيضاً كمورد لتعزيز الاستثمار.

6 في القرن التاسع عشر رأى وليام ستانلي جيفونز أن مكاسب الكفاءة التكنولوجية لا تقلل من استخدام الفحم والموارد الأخرى، ولكنها في الواقع زادت من استهلاكها وإنتاجها (Alcott, 2005).

الفصل السابع

منظمة الأغذية والزراعة: سارة مرجاني زاده

المعهد الدولي لإدارة المياه: جافيير ماتيو - ساجاستا

بمساهمات من: أندرياس أنطونيو (المركز الدولي لتقييم موارد المياه الجوفية)؛ منظور قادر (الشبكة الدولية للمياه والبيئة والصحة التابعة لجامعة الأمم المتحدة)؛ جون شيلتون (الرابطة الدولية لأخصائيي العلوم المائية)؛ كارلوس كاريون -كريسبو (منظمة العمل الدولية)؛ مارلوس دي سوزا، أولكاي يونفر وفيتوريو فاتوري (منظمة الأغذية والزراعة)؛ سارانتويا زانداريا (اليونسكو - البرنامج الهيدرولوجي الدولي)؛ وكيت ميدليكوت (منظمة الصحة العالمية)

الـــزراعـــة

نظام للري في تايلاند

يستعرض هذا الفصل الملوثات الرئيسية الناجمة عن الزراعة والآثار المرتبطة بها، ويقدم بعض الخيارات الرئيسية للتخفيف من التلوث. كما يناقش الفصل كيف يمكن للزراعة أن تكون مستخدماً مفيداً للمياه العادمة وكيف يمكن أن تصبح هذه الممارسة آمنة.

الزراعة هي منتِج ومستخدِم للمياه العادمة في آنٍ واحد، ولذلك فبإمكانها التسبب في التلوث والمعاناة من عواقبه في الوقت نفسه.

ازداد تكثيف الزراعة في السنوات الأخيرة في المزارع الصناعية والتقليدية، مما ساهم ليس فقط في زيادة الإنتاجية الزراعية، بل أيضاً في زيادة أعباء التلوث المنقولة بواسطة المياه، والتي تؤثر على النظم الإيكولوجية وصحة الإنسان. وفي الوقت نفسه، تتوسع الصناعات والمدن وتسهم في زيادة أعباء التلوث في المياه المستخدمة في الزراعة، مع ما لذلك من آثار ضارة على هذا القطاع.

7-1 الزراعة[7] كمصدر لتلوث المياه

على مدار نصف القرن المنصرم، اتسعت الزراعة وتكثفت من أجل تلبية الطلب المتزايد على الغذاء الناتج عن النمو السكاني والتغيرات في أنظمة الغذاء. كما اتسعت الرقعة الصالحة للري بما يتجاوز الضعف، من حوالي 1.4 مليون كيلومتر مربع في عام 1961 إلى حوالي 3.2 مليون كيلومتر مربع في عام 2012 (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة، 2014). وتزايد إجمالي تعداد الماشية بمعدل يتخطى ثلاثة أضعاف، من 7.3 مليار وحدة في عام 1970 إلى 24.2 مليار في عام 2011 (قاعدة البيانات الإحصائية لمنظمة الأغذية والزراعة – بدون تاريخ أ). كما تنامت تربية الأحياء المائية، خاصة في المسطحات الداخلية ولا سيما في آسيا، بما يزيد على عشرين ضعفاً منذ ثمانينيات القرن الماضي (منظمة الأغذية والزراعة، 2012).

وتزامن التوسع في الزراعة مع زيادة تآكل التربة والترسبات في المياه والاستخدام المفرط (أو سوء الاستخدام) للمدخلات الزراعية (مبيدات الآفات والأسمدة على سبيل المثال) من أجل زيادة الإنتاجية. وعندما يتجاوز استخدام هذه المنتجات القدرة الاستيعابية للأنظمة الزراعية، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع أعباء التلوث للبيئة. كما أن الاستخدام المفرط لمياه الري يزيد من كميات المياه العادمة الناتجة من الزراعة والتي تذهب إلى المسطحات المائية عن طريق التصريف العميق ومن ثم إلى مستودعات المياه الجوفية وصولاً إلى المياه السطحية.

7 تشير كلمة الزراعة في هذا الفصل إلى إنتاج النباتات والمحاصيل وتربية الأحياء المائية والأنشطة الحيوانية.

7-1-1 الملوثات الزراعية: المصادر والآثار

تطلق الأنشطة الزراعية عدة أنواع من الملوثات في البيئة (انظر الجدول 7-1). وتؤثر هذه الملوثات على النظم الإيكولوجية المائية نتيجة للتصدير من المزارع والنقل عبر الدورة الهيدرولوجية والتركيزات في المسطحات المائية. وتشمل مسارات التلوث النمطية الآتي: (1) الترشّح إلى المياه الجوفية، (2) الصرف السطحي ومياه الصرف الزراعي وتدفقات المياه التي تذهب إلى الجداول والأنهار ومصبات الأنهار، (3) الامتزاز على الرواسب الناتجة من تآكل التربة الطبيعي أو الذي يسببه الإنسان إلى تيارات غنية بالرواسب (منظمة الأغذية والزراعة/برنامج المجموعة الاستشارية للبحث الزراعي الدولي بشأن المياه والأرض والأنظمة البيئية).

العناصر المغذية

تم استكمال المصادر الغذائية الطبيعية (وإعادة تدوير العناصر المغذية) بالأسمدة لزيادة الإنتاج الزراعي منذ القرن التاسع عشر. ويقال إن الحشد المفرطة للعناصر المغذية قد تجاوز حدود الكوكب (Rockström et al., 2009).

وفي إنتاج المحاصيل، يحدث تلوث المياه من العناصر المغذية عندما يتم استخدام الأسمدة بشكل يفوق طاقة المحاصيل على امتصاصها، أو عندما يتم غسل تلك الأسمدة من التربة قبل أن تمتصها النباتات. يمكن أن يتسرب النيتروجين والفوسفات الزائدان إلى المياه الجوفية أو المجاري المائية. وفي حين أن النترات والأمونيا هي عناصر قابلة للذوبان، فإن الفوسفات ليس كذلك حيث يميل إلى الامتزاز على جزيئات التربة، ويذهب إلى المسطحات المائية ملتصقاً بالرواسب من خلال تآكل التربة.

وفي الإنتاج الحيواني، تقع المعالف عادة على ضفاف المجاري المائية حتى يتم تصريف الفضلات الحيوانية (أي البول) الغنية بالعناصر المغذية إلى المجرى المائي مباشرة. وعادة ما يتم جمع الفضلات الصلبة (الرَّوَث) واستخدامها كأسمدة عضوية. ولكن في الكثير من الحالات لا يتم تخزين هذه الفضلات ويتم التخلص منها عن طريق الصرف السطحي الذي يذهب إلى المجاري المائية عند هطول الأمطار بشكل غزير. وفي تربية الأحياء المائية في المياه العادمة، تعتبر أعباء العناصر المغذية في المياه دالة أساسية على تكوين وتحويل الغذاء (فضلات البراز). إن إهدار

الجدول 7-1 فئات ملوثات المياه الرئيسية من الزراعة والمساهمة النسبية من نظم الإنتاج الزراعي

فئة الملوثات	المؤشرات/الأمثلة	المساهمة النسبية من		
		إنتاج المحاصيل	الثروة الحيوانية	تربية الأحياء المائية
العناصر المغذية	في المقام الأول النيتروجين والفسفور الموجودين في الأسمدة الكيماوية والعضوية وفضلات الحيوانات، وكذلك العناصر الموجودة في المياه مثل النترات والأمونيا أو الفوسفات	***	***	*
مبيدات الآفات	مبيدات الأعشاب ومبيدات الحشرات ومبيدات الفطريات ومبيدات البكتيريا، بما في ذلك الفوسفات العضوي، والكربامات، والبيريثرويد، ومبيدات الآفات الكلورية العضوية وغيرها (والكثير منها، مثل الدي دي تي، محظور في معظم البلدان ولكنه مازال يستخدم بشكل غير قانوني)	***	–	–
الأملاح	تشمل الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-) والبوتاسيوم (K^+) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) والكبريت (SO_4^{2-}) والكالسيوم (Ca^{2+}) وأيونات البيكربونات (HCO_3^-) بالإضافة إلى عناصر أخرى*	***	*	*
الرواسب	المقاسة في الماء، مثل إجمالي المواد الصلبة العالقة أو وحدات العكارة – خاصة من تصريف الأحواض خلال الحصاد	***	***	*
المواد العضوية	المواد الكيميائية أو البيوكيميائية التي تتطلب الأكسجين الذائب في المياه من أجل التخفيف (المواد العضوية، مثل المادة النباتية وفضلات الحيوانات)	*	***	**
مسببات الأمراض	البكتيريا ومؤشرات مسببات الأمراض، بما في ذلك الإشريكية القولونية، والقولونيات الإجمالية، والقولونيات البرازية، والمكورات المَعَوية	*	***	*
المعادن	وتشمل السيلينيوم، والرصاص، والنحاس، والزئبق، والزرنيخ، والمنغنيز وغيرها	*	*	*
الملوثات الناشئة	مخلفات الأدوية والهرمونات وإضافات الأعلاف، إلخ	–	***	**

* تقاس في الماء، مباشرة كإجمالي المواد الصلبة الذائبة، أو بشكل غير مباشر كالموصِّلية الكهربائية

** تقاس في الماء كالطلب على الأكسجين الكيميائي والطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي

المصدر: منظمة الأغذية والزراعة/برنامج المجموعة الاستشارية للبحث الزراعي الدولي بشأن المياه والأرض والأنظمة البيئية.

الغذاء (الذي لا يتغذى عليه الأسماك) أثناء تربية الأحياء المائية كثيفة التغذية يمكن أن يساهم بشكل كبير في تكوين أعباء للعناصر المغذية في المياه.

ويمكن أن تؤدي أعباء العناصر المغذية إلى إغناء البحيرات والخزانات والبرك، مما يتسبب في انتشار الطحالب التي تثبط النباتات والحيوانات المائية الأخرى (منظمة الأغذية والزراعة، 2002). وقد يؤدي التراكم المفرط للعناصر المغذية إلى زيادة التأثيرات الضارة على الصحة مثل متلازمة الطفل الأزرق، والتي يمكن أن تنتج عن ارتفاع مستويات النترات في مياه الشرب (منظمة الصحة العالمية، 2006 أ).

مبيدات الآفات

تستخدم المبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب ومبيدات الفطريات بكثرة في الزراعة في العديد من البلدان (Schreinemachers and Tipraqsa, 2012). وعندما يتم اختيار هذه المبيدات وإدارتها بشكل غير صحيح، فإنها قد تلوث موارد المياه بمواد مسرطنة ومواد سامة أخرى يمكن أن تؤثر على البشر والعديد من أشكال الحياة البرية. كما يمكن أن تؤثر المبيدات الحشرية على التنوع البيولوجي عن طريق تدمير الأعشاب والحشرات، مما قد يسبب آثاراً سلبية على السلسلة الغذائية. وفي البلدان المتقدمة حيث ما زالت مبيدات الآفات القديمة تُستخدم على نطاق واسع، هناك اتجاه نحو استخدام مبيدات جديدة أكثر انتقائية وأقل سمية للإنسان والبيئة، وهي تتطلب تطبيق أقل لكل هكتار حتى تكون فعالة.

وتُستخدم ملايين الأطنان من مكونات مبيدات الآفات النشطة في الزراعة في الوقت الحالي (قاعدة البيانات الإحصائية لمنظمة الأغذية والزراعة – بدون تاريخ ب) وهناك حالات كثيرة لأمراض ووفيات ناتجة عن التسمم الحاد بمبيدات الآفات في أنحاء العالم، لا سيما في البلدان النامية (منظمة الصحة العالمية، 2008)، حيث يستخدم المزارعون الفقراء مبيدات شديدة الخطورة بدلاً من بدائل أكثر أماناً.

الأملاح

على مدار العقود المنصرمة، تزايد إنتاج مياه الصرف المالحة ومياه الترشيح الناتجة عن الزراعة بشكل متناسب مع زيادة الري.

يمكن تعبئة الأملاح المتراكمة في التربة عن طريق الري (كسور الترشيح)، ونقلها عن طريق مياه الصرف الزراعي، ويمكن أن تسبب تملح المسطحات المائية المستقبِلة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي الري المفرط إلى رفع منسوب طبقات المياه الجوفية المالحة، وهذا يمكن أن يزيد من تسرب المياه الجوفية المالحة إلى المجاري المائية ويزيد من تملحها. ويُعدّ تسرب مياه البحر المالحة إلى طبقات المياه الجوفية سبباً مهماً آخر لتملّح موارد المياه في المناطق الساحلية. وكثيراً ما يكون هذا التسرب نتيجة الاستخراج المفرط للمياه الجوفية لاستخدامها في أغراض الزراعة (Mateo –Sagasta and Burke, 2010).

لقد تم رصد مشاكل كبيرة خاصة بملوحة المياه في الولايات المتحدة الأمريكية، وأستراليا، والصين، والهند، والأرجنتين، والسودان، والعديد من البلدان في آسيا الوسطى (منظمة الأغذية والزراعة، 2011). وفي عام 2009، عاش ما يقرب من 1.1 مليار شخص في مناطق كانت بها مياه جوفية مالحة في أعماق ضحلة ومتوسطة (van Weert et al., 2009).

وتتسبب المياه شديدة الملوحة في تغيير الدورات الجيوكيميائية الخاصة بالعناصر الرئيسية الأخرى مثل الكربون، والنيتروجين، والفسفور، والكبريت، والسليكا، والحديد (Herbert et al., 2015)، إلى جانب التأثيرات الشاملة على النظم البيئية. وقد تؤثر الملوحة على الكائنات الحية التي تعيش في المياه العذبة على ثلاثة مستويات: (1) تغيرات في الأنواع؛ (2) تغيرات في تكوين المجتمع؛ (3) خسارة في التنوع البيولوجي والهجرة. وبشكل عام، عندما ترتفع مستويات الملوحة، يلاحظ حدوث انخفاض في التنوع البيولوجي (بما في ذلك الكائنات الدقيقة، والطحالب، والنباتات، والحيوانات) (Lorenz, 2014).

الرواسب والملوثات الأخرى

يُعد الاستخدام غير المستدام للأراضي ووسائل الحراثة وإدارة التربة غير الملائمة في الزراعة من الأسباب الرئيسية للتعرية وتصريف الرواسب إلى الأنهار والبحيرات والخزانات. والرواسب في النظم النهرية هي خليط معقد من المواد المعدنية والعضوية، والتي يمكن أن تسبب تراكمات في الخزانات وتؤثر على الحياة المائية عن طريق تغيير وخنق الموائل والتسبب في انسداد خياشيم الأسماك. كما يمكن أن تكون الرواسب ناقلة للملوثات الكيميائية، مثل مبيدات الآفات أو الفوسفات.

وقد تكون الزراعة أيضاً مصدراً لعدة أنواع أخرى من الملوثات، بما في ذلك المواد العضوية ومسببات الأمراض والمعادن والملوثات الناشئة. فالفائض من المادة العضوية يستنزف الأكسجين من المسطحات المائية ويزيد من خطر الإغناء والتكاثر الطحلبي في البحيرات والخزانات. وقد ظهرت على مدار السنوات العشرين الماضية ملوثات زراعية جديدة مثل المضادات الحيوية، واللقاحات، ومحفزات النمو، والهرمونات التي قد تتسرب من مزارع الماشية ومزارع تربية الأحياء المائية إلى المياه، مما يؤدي إلى زيادة المخاطر على النظم الإيكولوجية وصحة الإنسان. كما أن مخلفات المعادن الثقيلة في المدخلات الزراعية مثل الأسمدة أو أعلاف الحيوانات تشكل تهديدات ناشئة.

7-1-2 تدابير التصدي للتلوث الزراعي

المعرفة والبحث

هناك فجوات معرفية كبيرة تتعلق بتلوث المياه بسبب الزراعة. والمساهمة الفعلية للزراعة والإنتاج الحيواني وتربية الأحياء المائية في تلوث المياه ليست معروفة في معظم الأحواض والبلدان، لا سيما في العالم النامي. هذه المعرفة ضرورية للحكومات الوطنية لفهم حجم المشكلة ووضع سياسات مجدية وفعالة من حيث التكلفة.

علاوة على ذلك، إذا لم يكن مصدر التلوث معروفاً، فلا يمكن تطبيق مبدأ تغريم الملوث. هناك حاجة إلى جهد بحثي مستدام واستحداث نماذج، على أن يكون ذلك مدعوماً بمراقبة نوعية المياه من أجل فهم أفضل لمسارات الملوثات. كما أن هناك حاجة لتقييمات سليمة لفهم المسارات، فضلاً عن المخاطر الصحية والبيئية للملوثات الزراعية الناشئة مثل هرمونات الحيوانات، والمواد المضادة للميكروبات وغيرها من المستحضرات الصيدلانية.

السياسات والمؤسسات

هناك حاجة إلى إطار سياسة ملائم لتمكين المكافحة الفعالة لتلوث المياه من الزراعة. ويمكن تنفيذ السياسات من خلال عدة أنواع من الأدوات: القوانين واللوائح، الخطط والبرامج، الأدوات الاقتصادية والمعلومات، وبرامج التوعية والتعليم (منظمة الأغذية والزراعة، 2013 ب). وتحتاج مثل هذه الأدوات إلى تزويد المزارعين بالحوافز المناسبة لاعتماد ممارسات زراعية جيدة لمكافحة التلوث.

وحيث تقوم الوزارات المختلفة بوضع سياسات الإنتاج البيئي والغذائي، فإن الإحساس بالمسؤولية المشتركة عن تشريعات التلوث ومكافحته غير موجود بشكل عام. فهناك العديد من الحالات التي أدى فيها ذلك إلى وجود تعارض بين السياسات التي تهدف إلى زيادة الإنتاج الغذائي والدخل الزراعي من جهة والتخفيف من حدة التلوث في المسطحات الداخلية والساحلية من جهة أخرى. وهناك حاجة لآليات تعاون معززة فيما بين الوزارات لوضع سياسات أكثر ترابطاً. ويجب اعتماد الخطط والبرامج الخاصة بمكافحة تلوث المياه على مستوى الأحواض أو مستجمعات المياه، كما يجب أن تغطي هذه البرامج مصادر مختلفة للتلوث – بما في ذلك الصناعة والمناطق الحضرية، بالإضافة إلى الزراعة – وتحدد بشكل مثالي الحالات التي يمكن أن تصبح فيها المياه العادمة المنصرفة من أحد القطاعات مورداً لقطاع آخر، في اقتصاد دائري.

الممارسات في المزارع

تلعب الممارسات في المزارع دوراً حاسماً في إدارة التلوث الزراعي والحد منه. ففي إنتاج المحاصيل، تشمل التدابير الإدارية للحد من مخاطر تلوث المياه بواسطة الأسمدة العضوية وغير العضوية ومبيدات الآفات ما يلي: (1) الحد من وتحسين استخدام الأنواع والكميات وتوقيت استخدام الأسمدة ومبيدات الآفات في المحاصيل؛ (2) إنشاء خطوط عازلة على طول مجاري المياه السطحية؛ (3) إنشاء مناطق حماية حول مصادر إمدادات المياه الجوفية. وعلاوة على ذلك، يمكن لخطط الري الفعالة التقليل إلى حد كبير من فقد المياه والأسمدة (Mateo Sagasta and Burke, 2010). ومن أجل مكافحة التعرية، هناك حاجة إلى إدارة جيدة (مثل الحرث العمودي) أو فرض قيود على زراعة التربة المنحدرة بشدة (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، 2003).

تنشأ مشكلة نوعية المياه في قطاع الثروة الحيوانية وتربية الأحياء المائية من الفضلات الصلبة والسائلة (منظمة الأغذية والزراعة، 2013 ب). فالسماد المنتج من الثروة الحيوانية، على سبيل المثال، يعتبر مادة قيّمة لتحسين خصوبة التربة وقد يُسهم في توفير تكاليف استخدام الأسمدة. ومع ذلك، فهذا السماد يكون ملوثاً للغاية إذا انتشر في الوقت أو في المكان الخطأ. وبدون أخذ الاحتياطات الكافية، يمكن أن تساهم ممارسات الإنتاج الحيواني وتربية الأحياء المائية في التلوث الميكروبيولوجي للأنهار والمياه الجوفية. ولذلك، فإنه من الضروري اتخاذ تدابير لمكافحة انتشار مسببات الأمراض (أي البكتريا الموجودة في وحل الماشية) وغيرها من الملوثات (أي النترات).

كما تجب إدارة المخاطر المرتبطة بمياه الصرف الزراعي المالحة أو شديدة الملوحة (التدفق العائد). وتشمل خيارات إدارة المياه تقليل التصريف عن طريق الحفاظ على المياه، ومعالجة مياه الصرف (أي برك التبخير لمياه الصرف المالحة)، أو إعادة استخدام المياه. ويمكن إعادة استخدام مياه الصرف المالحة أو شديدة الملوحة مباشرة باتجاه التيار أو مزجها بالمياه العذبة. وتتطلب هذه الأساليب التخطيط على مستوى مستجمعات المياه لمواءمة الممارسات الزراعية والمحاصيل مع زيادة محتوى الأملاح بعد دورات مختلفة من إعادة الاستخدام، والتي يمكن أن تشمل أيضاً إنتاج القريدس والأسماك في المياه المالحة أو شديدة الملوحة.

إن التكامل بين الزراعة وتربية الأحياء المائية (انظر الشكل 7-1)، حيث تدار المحاصيل والخضراوات والثروة الحيوانية والأشجار والأسماك بصورة جماعية، يمكن أن يُسهم في زيادة استقرار الإنتاج وكفاءة استخدام الموارد والاستدامة البيئية. ويُتيح التكامل في الزراعة للنفايات

الشكل 7-1 التكامل بين الزراعة وتربية الأحياء المائية

المصدر: (منظمة الأغذية والزراعة، 2013 ب، شكل 7-3، ص 93).

الناتجة من مشروع واحد أن تصبح مصدراً لمزرعة أخرى. وبهذه الطريقة، يتم تحسين استخدام الموارد والحد من التلوث (منظمة الأغذية والزراعة، 2013 ب).

2-7 الزراعة كمستخدم للمياه العادمة

مع تزايد الطلب على السلع الزراعية، يبحث المزارعون عن مصادر مياه غير تقليدية. ونظراً لما تحتويه المياه العادمة المنصرفة من المنازل والبلديات من عناصر مغذية عالية، فإنها تمثل خياراً جذاباً، لا سيما عندما تكون موارد المياه التقليدية نادرة أو معدومة.

ومع ذلك، فإذا استخدمت المياه العادمة في الزراعة دون اتخاذ احتياطات السلامة اللازمة، فمن الممكن أن تتراكم الملوثات الميكروبيولوجية والكيميائية في المحاصيل والمنتجات الحيوانية والتربة أو في الموارد المائية، مما يؤدي إلى تأثيرات صحية شديدة على مستهلكي الأغذية المكشوفة وعمال المزارع. أما إذا تمت معالجة المياه العادمة بطريقة مناسبة واستخدمت بطريقة آمنة، فإنها عندئذ تصبح مصدراً قيماً للمياه والعناصر المغذية، مما يسهم في تحقيق الأمن الغذائي وتحسين سبل المعيشة.

يمكن استخدام المياه العادمة بشكل مباشر أو غير مباشر في الزراعة. ويعني الاستخدام المباشر الاستخدام المخطط والمتعمد للمياه العادمة المعالجة أو غير المعالجة في بعض الأغراض المفيدة مثل الري، وتربية الأحياء المائية، والثروة الحيوانية. أما الاستخدام غير المباشر فيحدث عندما تُصرف المياه العادمة المعالجة أو المعالجة جزئياً أو غير المعالجة إلى الخزانات والأنهار وغيرها من المسطحات المائية، بما في ذلك المياه الجوفية، والتي توفر المياه للزراعة. وللاستخدام غير المباشر نفس المخاطر الصحية التي يمثلها الاستخدام المباشر، غير أنه تزداد احتمالية حدوث المشاكل الصحية لأن مستخدم المياه غير مدرك لوجود المياه العادمة (منظمة الأغذية والزراعة، 1997).

> إذا ما تمت معالجة المياه العادمة بطريقة مناسبة واستخدمت بطريقة آمنة، فإنها عندئذ تصبح مصدراً قيماً للمياه والعناصر المغذية، مما يسهم في تحقيق الأمن الغذائي وتحسين سبل المعيشة

وهناك طريقة أخرى مهمة تُستخدم فيها المياه العادمة بطريقة غير مباشرة في الزراعة، وذلك عن طريق إعادة التغذية المدارة لطبقات المياه الجوفية (MAR) التي تتسرب فيها المياه العادمة المعالجة أو المعالجة جزئياً إلى طبقات المياه الجوفية من خلال الأحواض الأرضية أو الخنادق أو البحيرات أو آبار الحقن ومن ثم يعاد سحبها (Dillon et al., 2012). وفي كثير من الأحيان، تساعد التربة والمنطقة غير المشبعة من طبقة المياه الجوفية على إزالة الملوثات من المياه العادمة بحيث يمكن استخدام المياه الجوفية المعاد سحبها في جميع أنواع الزراعات.

إن المياه العادمة غنية عادة بالمواد الصلبة العالقة (الجسيمات) والعناصر المغذية الذائبة. ولتعظيم الاستفادة من إعادة استخدام المياه، فإن نوعيتها وكميتها وموقعها تعد كلها عوامل مهمة يجب أخذها بعين الاعتبار (Iannelli et al., 2011).

1-2-7 استخدام المياه العادمة: فرصة للزراعة

الري

وفقاً لقاعدة بيانات النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة التابع لمنظمة الأغذية والزراعة (بدون تاريخ. ب)، يتم سحب حوالي 3928 كيلومتراً مكعباً من المياه سنوياً في جميع أنحاء العالم (انظر الشكل 1، المقدمة)، حيث يستهلك 44% (1716 كيلومتراً مكعباً في السنة) منها ويصرف الباقي 56% (2212 كيلومتراً مكعباً في السنة) كمياه عادمة، بما في ذلك مياه الصرف الزراعي ومياه الصرف الصحي.

وتشكل المياه العادمة التي تُصرف من البلديات الغالبية العظمى من المياه العادمة المستخدمة مباشرة في الزراعة. ويشكل الطلب على المياه العادمة التي تُصرف من البلديات 11% من إجمالي سحوبات المياه على مستوى العالم (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة، بدون تاريخ. ب). ويتم استهلاك 3% فقط من تلك المياه ويتم تصريف نسبة الـ8% المتبقية كمياه عادمة، أي ما يعادل 330 كيلومتراً مكعباً في السنة (Mateo -Sagasta, et al., 2015)، والتي يمكن استخدام معظمها في الري الزراعي.

ومن ناحية أخرى، تشكل مياه الصرف الزراعي والمياه العادمة 32% (1257 كيلومتراً مكعباً سنوياً) من إجمالي سحوبات المياه. وهذا يسلط الضوء على حقيقة أن السياسات والتخطيط والتنفيذ لا ينبغي أن لا تركز بالكامل على إدارة المياه العادمة التي تُصرف من البلديات، ولكن أيضاً على الصرف الزراعي المستدام والتدفقات العائدة وإدارة المياه العادمة. وكما نوقش أعلاه، يمكن أن يكون لإعادة استخدام المياه في الزراعة فوائد صحية كبيرة، منها تعزيز الأمن الغذائي وتحسين التغذية.

واليوم، يعتبر الاستخدام المخطط للمياه العادمة التي تُصرف من البلديات نموذجاً شائعاً في بلدان الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، وأستراليا، والبحر الأبيض المتوسط وكذلك في المكسيك، والصين، والولايات المتحدة الأمريكية (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه

والزراعة، بدون تاريخ ب). ومع ذلك، لا يوجد جرد شامل لكمية المياه العادمة المعالجة أو غير المعالجة المستخدمة في الزراعة، باستثناء الجهود الأولية لمؤسسات مثل النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة (بدون تاريخ أ). إن المعالجة غير الوافية للمياه العادمة وما ينتج عنها من تلوث كبير للمياه تشير إلى أن المساحة المروية بالمياه العادمة غير الآمنة ربما تكون عشر أضعاف المساحة المروية بمياه عادمة معالجة (Drechsel and Evans, 2010).

ووفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة، تبلغ مساحة الأراضي المرويَّة بالفعل على مستوى العالم نحو 2.75 مليون كيلومتراً مربعاً (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة، 2014). إن المياه العادمة التي تصرف من البلديات والمقدرة بحوالي 330 كيلومتراً مكعباً سنوياً يمكن أن تُستخدم في ري 40 مليون هكتار (بمقدار حوالي 8000 متر مكعب لكل هكتار) (Mateo -Sagasta, et al., 2015)، أي 15% من إجمالي الأراضي المروية. ولا تزال التقديرات الخاصة بالمساحة الإجمالية المروية بالمياه العادمة غير المعالجة والمخففة غير وافية، ولكن من المرجح أن تتراوح تلك المساحة ما بين 5 إلى 20 مليون هكتار، مع وجود المساحة الأكبر على الأرجح في الصين (Drechsel and Evans, 2010)، والتي تشكل ما بين 2% و7% من إجمالي المساحة المروية في العالم.

إن انخفاض النسبة المئوية للمياه العادمة المستخدمة في الزراعة بطريقة مخططة – وتطبيقاتها غير الآمنة في معظم الحالات – أمر يؤكد على الإمكانية الهائلة لتحسين وزيادة استخدام المياه العادمة (الناتجة من مصادر بلدية وصناعية وزراعية) لتلبية الطلب على المياه من أجل إنتاج الغذاء عالمياً.

تربية الأحياء المائية والثروة الحيوانية

إن الهدف من تسميد بركة لتربية الأحياء المائية بالفضلات أو المياه العادمة هو توفير أغذية طبيعية للأسماك (انظر الإطار 5-4). وقد تم تربية أصناف كثيرة من الأسماك بهذه الطريقة. ويمكن تربية الأسماك في الأحواض التي تستقبل المياه العادمة أو الحمأة، حيث يمكن أن تتغذى الأسماك على الطحالب وغيرها من الكائنات الحية التي تنمو في تلك المياه الغنية بالعناصر المغذية. وبالتالي، فإن الأسماك تزيل المواد المغذية من المياه العادمة ثم يتم حصاد الأسماك في النهاية للاستهلاك البشري أو استخدامها كعلف.

سيكون لجودة الأسماك وحالتها تأثير على القبول المحلي، (bacterial flora) للأسماك يعكس حالة المياه التي تؤخذ منها تلك الأسماك (على سبيل المثال في الجهاز الهضمي أو على الجلد أو في سوائل تجاويف الجسم). وقد يكون هناك قلق حول تلوث الأسماك، خاصة عندما يتم صيدها وتنظيفها وتحضيرها. فإذا ما تم طهيها جيداً فستكون آمنة، ولكن من الأفضل نقلها إلى بركة مياه نقية لعدة أسابيع قبل أن يتم صيدها للاستهلاك البشري.

> **تُستخدم ملايين الأطنان من مكونات مبيدات الآفات النشطة في الزراعة في الوقت الحالي وهناك حالات كثيرة لأمراض ووفيات ناتجة عن التسمم الحاد بمبيدات الآفات في أنحاء العالم، لا سيما في البلدان النامية**

إن معدل استخدام المواشي للمياه وإسهامها في استنفاد إمدادات المياه مرتفع ومتزايد (منظمة الأغذية والزراعة، 2006). حيث تتطلب المنتجات الحيوانية حصص مائية كبيرة لكل وحدة من الطاقة الغذائية المنتَجة وذلك مقارنة بالأغذية ذات المنشأ النباتي (Gerbens -leenes et al., 2013). وقد يكون للمياه العادمة الآمنة دور مهم حيث يمكن أن تُستخدم بدلاً من المياه العذبة في إنتاج الأعلاف المحصودة (مثل القش أو العشب) أو تحل محل مياه الخدمة (مثل مرافق التبريد والتنظيف). إن استخدام المياه العادمة في قطاع الثروة الحيوانية، سواء الناتجة من الإنتاج البلدي/الصناعي أو من نفس مرفق الثروة الحيوانية، يتوقف في المقام الأول على نوعية تلك المياه. ويُنصح عموماً بالحد الأدنى من المعالجة الثانوية والتطهير قبل الاستخدام. بالإضافة إلى ذلك، يجب معالجة المياه المنقّاة والمعدة لاستخدام الماشية وذلك لإزالة الديدان الطفيلية منها. ويمكن أن تجرى هذه المعالجة إما في برك الترسيب (لمدة 25 يوماً أو أكثر) أو بطريقة معتمدة للترشيح مثل الترشيح الرملي أو الغشائي (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، 2002).

7-2-2 المخاطر

يُعد استخدام المياه العادمة في أغراض الري أكثر نجاحاً في المناطق الحضرية وشبه الحضرية، حيث تتوافر المياه العادمة بسهولة وبشكل مجاني، وحيث يوجد سوق للمنتجات الزراعية. وفي بعض الأحيان، قد يكون من الضروري تخزين المياه العادمة لتوفير معالجة جزئية أو لأن اتجاهات العرض قد لا تتطابق مع الطلب (في حالة التغيرات الموسمية على سبيل المثال).

وتخضع المياه العادمة المجمَّعة لإجراءات معالجة معينة في محطة المعالجة وذلك قبل استخدامها في الري أو في أي غرض آخر. وعلى الرغم من أن مستويات المعالجة المطلوبة تختلف وفقاً لمصدر المياه العادمة (نوع وتركيز الملوثات) والاستخدام المتوقع (نوع المحاصيل، طريقة الحصاد، وما إلى ذلك)، فغالباً ما تخضع المياه العادمة لمعالجة ثانوية كافية قبل استخدامها في الزراعة.

> يمكن أن يكون لإعادة استخدام المياه في الزراعة فوائد صحية كبيرة، منها تعزيز الأمن الغذائي وتحسين التغذية

بعد ذلك، تمر المياه العادمة المعالجة و/أو المياه المعاد استخدامها عبر تقنيات تطبيق خاضعة للرقابة بشكل مناسب، وربما تخضع لمعالجة إضافية إذا لزم الأمر.

المخاطر الصحية

يشكل استخدام المياه العادمة خطراً على صحة المزارعين والعاملين في سلسلة الغذاء والمستهلكين نتيجة لاحتمال وجود تلوث ميكروبي وكيميائي بهذه المياه. ويُعد استخدام العمالة منخفضة التكلفة أمراً شائعاً بين المزارعين الذين يستخدمون المياه العادمة، والكثير من هذا العمل تقوم به النساء. ونتيجة لذلك، فهن يتعرضن لمخاطر صحية أكبر، بما في ذلك التعرض لمسببات الأمراض وإمكانية انتقالها إلى أفراد العائلة (Moriarty et al., 2004).

وقد تم اقتراح طرق مختلفة للحد من المخاطر الصحية، ركز أكثرها على نوعية المياه وفرض لوائح صارمة عند نقطة الاستخدام، مما يجعل معالجة المياه العادمة عنصراً أساسياً لإعادة استخدام المياه (Asano and Levine, 1998; Mara and Cairncross, 1989). ففي الاتحاد الأوروبي، على سبيل المثال، يقترح مشروع Aquarec سبع فئات جودة (قائمة على المعالجة) لأنواع مختلفة من إعادة الاستخدام، مع وجود حدود ميكروبية وكيميائية لكل فئة (Salgot et al., 2006).

وبرغم ذلك، فكثيراً ما يُنظر، في البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض، إلى المعايير الصارمة المفروضة على نوعية المياه لإعادة استخدامها على أنها لا يمكن تَحمُّلها، ومن ثم فإن تطبيقها يفشل عملياً. وتقر *توجيهات منظمة الصحة العالمية الخاصة باستخدام المياه العادمة والفضلات والمياه الرمادية في الزراعة* (منظمة الصحة العالمية، 2006 أ) بالمخاطر الصحية المحتملة للمياه العادمة المنصرفة بدون معالجة أو بدون معالجة وافية، وضرورة الحد من هذه المخاطر. وتقترح هذه الدلائل استخدام عدد من الحواجز (طريقة الحواجز المتعددة) لحماية الصحة العامة على طول سلاسل الصرف الصحي والغذاء، من توليد المياه العادمة إلى الاستهلاك، بدلاً من التركيز فقط على نوعية المياه العادمة عند نقطة الاستخدام (انظر الإطار 7-1).

المخاطر البيئية

قد تكون هناك فوائد بيئية متعددة لاستخدام المياه العادمة المعالجة وتعظيم الاستفادة من العناصر المغذية في التربة المروية بالمياه العادمة، لكن هناك بعض المخاطر البيئية المرتبطة باستخدام المياه العادمة غير المعالجة أو المعالجة جزئياً في الري. وتشمل هذه المخاطر تلوث التربة، وتلوث المياه الجوفية، وتدهور المياه السطحية.

يُعتبر تداول المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية والمعالجة جزئياً (لأغراض الري) مقابل الحصول على مصادر المياه العذبة (للاستخدامات الأخرى في المناطق الحضرية وشبه الحضرية) أحد العوامل التي يمكن أن تُسهم في تحسين إدارة الموارد المائية بشكل عام والحد من الآثار السلبية على الصحة والبيئة (Hanjra et al., 2012).

إن تنقل الملوثات وقدرتها على التراكم يزيد من التهديد الذي تشكِّله للبيئة والمجتمع.

التربة: يعمل استخدام المياه العادمة في الري على إضافة العناصر المغذية والمواد الصلبة الذائبة والأملاح والمعادن الثقيلة للتربة. وقد تتراكم كميات كبيرة من هذه العناصر في منطقة الجذر بمرور الوقت، مما قد يترك آثاراً ضارة على التربة. ويمكن أن يتسبب استخدام المياه العادمة على المدى الطويل في حدوث ملوحة بالتربة وتشبعها بالمياه وانهيار بنيتها وانخفاض قدرتها الإنتاجية بشكل عام وكذلك انخفاض غلة المحاصيل. وتتوقف الآثار على عوامل مثل المصدر وكثافة الاستخدام وتكوين المياه العادمة وكذلك خصائص التربة والخصائص الفيزيائية الحيوية الخاصة بالمحاصيل.

المياه الجوفية: قد يؤدي استخدام المياه العادمة إلى إعادة تغذية طبقات المياه الجوفية (عوامل خارجية إيجابية) وتلوث موارد المياه الجوفية (عوامل خارجية سلبية). وقد يؤدي ترسب العناصر المغذية الزائدة والأملاح ومسببات الأمراض في التربة إلى تدهور المياه الجوفية، لكن التأثير الفعلي يتوقف على مجموعة من العوامل، منها نطاق استخدام المياه العادمة ونوعية المياه الجوفية وعمقها وتصريف التربة وخصائصها (مثل المسامية والرملية). وقد يكون للري بالمياه العادمة المعالجة بشكل وافٍ تأثير كبير على نوعية المياه الجوفية، وذلك في المناطق المروية بمياه جوفية ذات منسوب ضحل.

المياه السطحية: عندما يتدفق الصرف السطحي من شبكات الري إلى المياه السطحية، لا سيما إلى البحيرات الصغيرة والمسطحات المائية المحدودة، فإن بقايا العناصر المغذية قد تؤدي إلى حدوث إغناء، خاصة إذا تواجد الفوسفات في شكل أملاح. وقد تؤثر الاختلالات التي تحدث في المجتمعات النباتية والميكروبيولوجية في المسطحات المائية بدورها على أشكال أخرى أعلى من الحياة المائية وكذلك على التنوع البيولوجي. وإذا كانت هذه المسطحات المائية تخدم المجتمعات المحلية، فيمكن أن تتحول التأثيرات البيئية إلى تأثيرات اقتصادية.

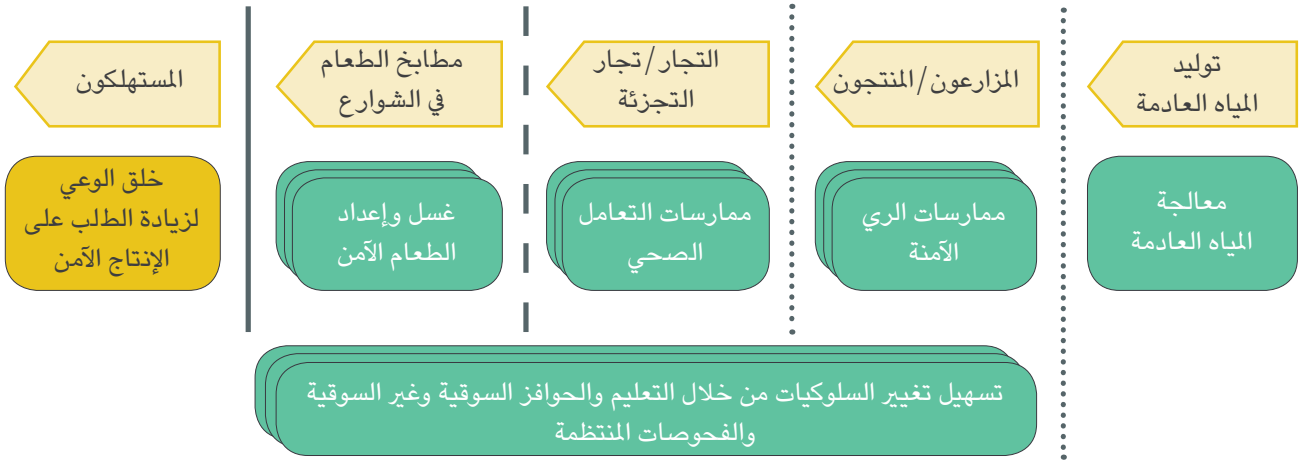
> تتجاوز طريقة الحواجز المتعددة نوعية مياه الري إلى معالجة مخاوف حدوث تلوث ما بعد الحصاد وذلك بوضع حواجز في نقاط التحكم الحرجة على امتداد سلسلة الإنتاج الغذائي

الإطار 7-1 طريقة الحواجز المتعددة للحد من المخاطر الصحية الناجمة عن الري بالمياه العادمة

وضعت *توجيهات منظمة الصحة العالمية الخاصة باستخدام المياه العادمة والفضلات والمياه الرمادية في الزراعة* (منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ)) نهجاً شاملاً لتقييم وإدارة المخاطر لحماية الصحة العامة، سعياً وراء زيادة الفوائد الصحية لإعادة استخدام المياه المأمونة (منظمة الصحة العالمية، 2010). كما يوفر دليل تخطيط سلامة الصرف الصحي (منظمة الصحة العالمية، 2016 ب) إرشادات عملية تفصيلية بشأن تنفيذ منهج تقييم المخاطر وإدارتها.

تتجاوز طريقة الحواجز المتعددة نوعية مياه الري إلى معالجة مخاوف حدوث تلوث ما بعد الحصاد وذلك بوضع حواجز في نقاط التحكم الحرجة على امتداد سلسلة الإنتاج الغذائي (انظر الشكل 7-1 (أ)). وتهدف هذه الحواجز إلى الحد من المخاطر ويمكن أن تكون فعالة بشكل جماعي حتى في حالة فشل أحدها. ويتم تطبيق هذه الطريقة في كلٍّ من البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض، حيث ينتشر الري بالمياه العادمة غير المعالجة وتقل معالجة المياه العادمة، وكذلك في البلدان المتقدمة التي تطبق نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة. (Ilic et al., 2010).

الشكل 7-1 (أ) طريقة الحواجز المتعددة للحد من المخاطر المرتبطة بالاستهلاك على امتداد السلسلة الغذائية، كما هو مطبّق في الري بالمياه العادمة



المصدر: Amoah et al. (2011)، الشكل 1 ص 3.

تم تطبيق هذه الطريقة في الأردن، حيث تم الترويج للاستخدام المخطط للمياه العادمة منذ عام 1977، وحيث يتم حالياً استخدام أكثر من 90% من المياه العادمة المعالجة في الري. ولمواجهة المخاوف الصحية وقدرات الرصد المحدودة، قدمت السلطات الأردنية إرشادات بشأن نوعية مياه الري في عام 2014. وكجزء من الاستراتيجية الوطنية للمياه 2016 – 2025، اعتمدت تلك الإرشادات أسلوب الأهداف الصحية الأكثر مرونة المذكور في توجيهات منظمة الصحة العالمية عام 2006، (وزارة المياه والري الأردنية، 2016 (أ)).

بمساهمة من منظمة الصحة العالمية.

الفصل الثامن

برنامج الأمم المتحدة للبيئة: بيرغوي لاميزانا -ديالو، وكارلا فريدريك

مع مساهمات من: منظور قادر (جامعة الأمم المتحدة - الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة)؛ خافيير ماتيو -ساجاستا وماثيو ماكارتني (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ مايتي م. ألدايا (مرصد المياه، مؤسسة بوتان، جامعة نافارا العامة)؛ وبول ويدراوغو (اتفاقية رامسار)

النظم الإيكولوجية

أراضٍ رطبة لمعالجة مجمعات مياه المجاري في واشنطن إنديانا (الولايات المتحدة الأمريكية)، صممتها مجموعة لوتشن موللر (Lochmueller Group)

يدرس هذا الفصل دور النظم الإيكولوجية في إدارة المياه العادمة واستخدام المياه العادمة لتعزيز خدمات النظام الإيكولوجي.

يمكن أن تكون للمياه العادمة، عند إدارتها بطريقة غير سليمة، آثار ضارة على النظم الإيكولوجية. ومع ذلك، فهناك العديد من الفرص لخلق التآزر بين خدمات النظام الإيكولوجي وإدارة المياه العادمة. ويمكن دراسة هذه التفاعلات من منظورين. أولاً، يمكن لخدمات النظام الإيكولوجي أن تُسهم في معالجة المياه العادمة كبديل أو مكمِّل للنظم التقليدية لمعالجة المياه. ويمكن لعملية تنقية المياه التي تتيحها النظم الإيكولوجية المائية والأرضية أن توفر إمدادات المياه النظيفة الصالحة للشرب، ولقطاع الصناعة، والترفيه، وموائل الحياة البرية. ثانياً، يمكن استخدام الموارد المتضمنة في المياه العادمة – بما فيها المياه والعناصر المغذية والكربون العضوي – في الظروف الملائمة لتجديد وإصلاح النظام الإيكولوجي، وتعزيز خدمات النظم الإيكولوجية، مع فوائد رئيسية للاقتصادات والمجتمعات.

1-8 دور النظم الإيكولوجية وحدودها في إدارة المياه العادمة

هناك علاقة واضحة بين الإدارة المستدامة للمياه العادمة والنظم الإيكولوجية الصحية، وقد تكون هذه العلاقة مفيدة للطرفين إذا ما أديرت بشكل جيد. ويشير مصطلح «البنية التحتية المراعية للبيئة» (GI) إلى النظم الإيكولوجية الطبيعية (مثل المعازل المشاطئة لضفاف الأنهار، والأراضي الرطبة، وأشجار المانغروف) أو النظم الإيكولوجية شبه الطبيعية (مثل الأراضي الرطبة المبنية، وحدائق الأمطار، وبرك المياه الحيوية)، التي يمكن أن توفِّر خدمات مثل ترشيح الرواسب وإزالة التلوث، ويمكن مقارنتها بوظائف معينة من «البنية التحتية الرمادية» (مثل نظم الصرف التقليدية ونظم معالجة المياه). ويعتمد نهج البنية التحتية المراعية للبيئة على توفير خدمات النظام الإيكولوجي لتقديم منافع أساسية لإدارة المياه والمياه العادمة، مصحوبة بمجموعة واسعة من الفوائد الثانوية المشتركة (مثل عزل الكربون، وحماية التنوع البيولوجي، والترفيه)، بطريقة فعالة من حيث التكلفة والاستدامة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة – شراكة دي اتش آي/الاتحاد الدولي لصون الطبيعة/منظمة حفظ الطبيعة/معهد الموارد العالمية، 2014). إن حماية واستعادة نظم البنية التحتية المراعية للبيئة هذه تعود بالفائدة على المجتمع البشري وتُسهم في النظم الإيكولوجية السليمة.

وتمثِّل المعازل المشاطئة لضفاف الأنهار مناطق نباتية بجوار موارد المياه التي تعمل كمرشحات وتحمي نوعية المياه، وتوفر الاستقرار على ضفتي النهر، وموائل الأحياء المائية والحياة البرية (انظر الجدول 8-1) (Lowrance et al., 1995).

الجدول 8-1 تأثيرات المعازل المشاطئة لضفاف الأنهار ذات الأحجام المختلفة على خفض الرواسب والمواد المغذية الناتجة عن الصرف السطحي من الحقول

عرض المعزل (م)	نوع المعزل	الترسيبات			نيتروجين			فوسفور		
		المُدْخَل (ملغم/لتر)	المُخْرَج (ملغم/لتر)	انخفاض (%)	المُدْخَل ملغم/لتر	المُخْرَج (ملغم/لتر)	انخفاض (%)	المُدْخَل (ملغم/لتر)	المُخْرَج (ملغم/لتر)	انخفاض (%)
4.6	عشب	7 284	2 841	61.0	14.1	13.6	4.0	11.3	8.1	28.5
9.2	عشب	7 284	1 852	74.6	14.1	10.9	22.7	11.3	8.6	24.2
19.0	غابة	6 480	661	89.8	27.6	7.1	74.3	5.0	1.5	70.0
23.6	عشب / غابة	7 284	290	96.0	14.1	3.5	75.3	11.3	2.4	78.5
28.2	عشب / غابة	7 284	188	97.4	14.1	2.8	80.1	11.3	2.6	77.2

المصدر: Lowrance et al., 1995 (الجدول 6، ص. 30).

> يمكن أن تكون للمياه العادمة، عند إدارتها بطريقة غير سليمة، آثار ضارة على النظم الإيكولوجية. ومع ذلك، فهناك العديد من الفرص لخلق التآزر بين خدمات النظام الإيكولوجي وإدارة المياه العادمة

تُعرف النظم الإيكولوجية الطبيعية بأنها مثل الكليتين للبيئة، فهي تزيل الملوثات (انظر الإطار 8-1)، وتنظّم تدفق المياه وتخزّن الرواسب. ويمكنها أن تكون فعالة للغاية واقتصادية من حيث توفير خدمات معالجة المياه العادمة، شريطة أن تكون هذه النظم الإيكولوجية صحية، وأن يكون عبء الملوثات (وأنواع الملوثات) في النفايات السائلة منظَّماً، وألا تتجاوز الملوثات قدرة النظام الإيكولوجي على تحملها. وهناك حدود طبيعية للقدرة الاستيعابية للنظم الإيكولوجية، إذ يمكن لهذه النظم أن تتعرض للتهديدات ولا تؤدي دور التنقية بعد إذا تم تجاوز هذه الحدود. فبمجرد وصول تركيز الملوثات في الصرف السطحي إلى مستويات حرجة، يبرز خطر حدوث تغيّر بيئي مفاجئ لا رجعة فيه (Steffen et al., 2015).

وتُعرف الأراضي الرطبة ونظم البرك بأنها تكنولوجيا موثوقة لمعالجة المياه العادمة (انظر الإطار 8-2). ففي هذه النظم، يزيد الغطاء النباتي المزروع مساحة التلامس السطحي بشكل كبير، ما يساعد على إزالة الملوثات على طول الطبقة المرشحة التي تتكون عادة من مزيج من الرمل والحصى.

8-2 الاستخدام المخطَّط للمياه العادمة لخدمات النظام الإيكولوجي

لم يعد استرداد المياه وإعادة استخدامها ترفاً، بل ضرورة، خاصة في البلدان التي تعاني من ندرة المياه، حيث تستخدم عديد من المدن والوكالات البيئية بالفعل المياه العادمة المعالَجة جزئياً لإنشاء بحيرات صناعية أو أراضٍ رطبة، أو لإعادة تغذية المياه الجوفية المستنفدة، أو استعادة الأراضي الرطبة الطبيعية أو ري ملاعب الغولف، والمتنزهات والحدائق (انظر الجدول 8-2). وإضافة إلى ري المناظر الطبيعية، تستخدَم المياه المستردة لإدارة الأراضي الرطبة الطبيعية في إسبانيا والمكسيك (Otoo et al., 2015) للتأكد من الحفاظ على مستويات المياه حتى في فترات الجفاف.

إن الاستخدام المخطَّط للمياه العادمة المعالجة والمياه العادمة المعالَجة جزئياً لخدمات النظم الإيكولوجية حديث العهد نسبياً. ويمكن أن يزيد هذا الاستخدام من كفاءة الموارد وإتاحة فوائد للنظم البيئية من خلال:

- الحد من استخراج المياه العذبة؛
- إعادة تدوير العناصر المغذية الأساسية وإعادة استخدامها، ما يقلّل من استخدام الأسمدة وانبعاثات غازات الدفيئة؛
- خفض تلوث المياه إلى أدنى حد والحفاظ على نوعية مياه النهر بمستوى كافٍ لتزدهر مصائد الأسماك والنظم الإيكولوجية المائية الأخرى؛
- إعادة تغذية طبقات المياه الجوفية المستنفدة لاستخدامات مفيدة مختلفة، مثل إعادة الاستخدام غير المباشر لمياه الشرب (انظر القسمين 16-1-2 و 16-1-5).

الإطار 8-1 أرض ناكيفوبو الرطبة التي تتلقى الكثير من المياه العادمة المحلية والمياه العادمة المنصرفة من الصناعات في كمبالا (أوغندا)

تتلقى أرض ناكيفوبو الرطبة المياه العادمة غير المعالَجة مباشرة من حوالي 100000 أسرة معيشية وعدة صناعات في كمبالا، ولا يخدم نظام صرف المجارير الرئيسية أياً منها. كما تتلقى هذه الأرض الرطبة، التي تبلغ مساحتها 5.3 كيلومتراً مربعاً، النفايات السائلة من محطة معالجة المياه العادمة الرئيسية بالمدينة.

وتحمي هذه الأرض الرطبة، التي تؤدي دور التنقية، خليج مورشيون وبحيرة فيكتوريا من آثار مياه الصرف. وبما أن مأخذ إمدادات المياه في كمبالا يقع على بعد 3 كيلومترات فقط من قناة التدفق الخارجي الرئيسية للأرض الرطبة، فإن هذه الحماية حيوية. وتقدَّر القيمة الاقتصادية لخدمات تنقية المياه في الأرض الرطبة في ناكيفوبو بحوالي 980000 دولار أمريكي و1808000 دولار أمريكي في السنة، مع فوائد مشتركة إضافية يبلغ مجموعها 200000 دولار أمريكي سنوياً ناتجة عن زراعة المحاصيل، وحصد أوراق البردي، وصناعة الطوب وتربية الأسماك (De Groot et al., 2006).

مساهمة من بول اودراغو (اتفاقية رامسار).

الجدول 8-2 أمثلة على استخدام المياه العادمة المعالَجة لدعم خدمات النظام الإيكولوجي

اسم مشروع إعادة الاستخدام	البلد	نوع إعادة استخدام المياه	دوافع إعادة استخدام المياه	الغرض من إعادة استخدام المياه	التكنولوجيا المستخدمة في معالجة المياه العادمة
محطة كويغ وبيجياوهي لاستعادة المياه	الصين	تخضير المناظر الطبيعية	توفير تكاليف المياه؛ وعدم كفاية الموارد المائية البديلة	ري المناظر الطبيعية؛ تغذية المياه الجوفية	الترشيح الدقيق: والتناضح العكسي
محطة معالجة المياه العادمة بمراكش	المغرب				
محطة الصليبية لتنقية مياه الصرف الصحي	الكويت				
مشروع أنهار جونان الثلاثة	اليابان	استعادة الأراضي الرطبة وخزانات المياه	تجفيف موارد المياه الطبيعية – ترميم القنوات المائية والبحيرات والأنهار	ترميم القنوات المائية والأنهار	الحمأة المُنَشَّطة؛ والترشيح بالرمل؛ والمعالجة المتقدِّمة بعملية إزالة العناصر المغذية
بحيرة تكسكوكو	المكسيك				

المصدر: بتصرّف من Otoo et al., (2015. Table 10.2, pp. 177 -180).

الإطار 8-2 الأراضي الرطبة المبنية لمعالجة المياه العادمة، إنديانا، الولايات المتحدة الأمريكية

في واشنطن، إنديانا (الولايات المتحدة الأمريكية)، كانت مجمعات مياه المجارير (CSOs) تتسبَّب في تلويث المجاري المائية المحلية بانتظام. فشيدت المدينة أرضاً رطبة اصطناعية لمعالجة المياه العادمة، التي وفّرت للمدينة أكثر من 26 مليون دولار أمريكي مقارنة بالتكلفة التقديرية لبناء نظام معالجة تقليدي، إضافة إلى توفير 1.6 مليون دولار سنوياً من التكاليف التشغيلية. وتجاوزت المياه التي تم تصريفها من نظام الأرض الرطبة المبنية معايير نوعية المياه لمحطة معالجة المياه العادمة بالمدينة، وعادت الحياة البرية إلى المجاري المائية المحلية منذ بناء النظام.

المصدر: PR Newswire (برنامج الأمم المتحدة للبيئة– شراكة دي اتش آي/ الاتحاد الدولي لصون الطبيعة/ منظمة حفظ الطبيعة/ معهد الموارد العالمية، 2014)؛ ومدينة واشنطن، والتواصل الشخصي (2016).

الإطار 8-3 واحة استِوائية أُنشئت بواسطة المياه العادمة المعالَجة في ليما، بيرو

في مدينة من الغبار والرمال، يمكن للمتنزهات والحدائق أن تؤثر إيجاباً على رفاه الإنسان. ويستقبل منتزه هواسكار، وهو متنزه ترفيهي متعدد الأغراض، مياهه من إحدى محطات معالجة المياه العادمة في ليما البالغ عددها 15 محطة. ويجمع منتزه هواسكار بين معالجة المياه العادمة والمنتزه العام، وهي حالة مربحة للجانبين، حيث تعمل على تحسين استرداد الموارد في منطقة حضرية وتوفر فوائد للنظم الإيكولوجية. وتمدّ المياهُ العادمة المعالجة جزئياً المنتزه بالمياه وبعض العناصر المغذية، وهي قيّمة للغاية في ليما حيث التربة منخفضة الرطوبة والخصوبة. كما تحفظ المياه العذبة لاستخدامات أخرى وتحسّن توافر العناصر المغذية في التربة للغطاء النباتي، وبالتالي تخلق «واحة» ترفيهية في وسط العاصمة البيروفية.

وهي تقدم إذن خدمة نظام إيكولوجي محلي هام، إذ توفر المنطقة الخضراء بيئة مواتية لاسترخاء زوار المتنزه واستجمامهم، وبالتالي تدعم صحتهم العقلية والبدنية.

مساهمة من منظور قادر (جامعة الأمم المتحدة- الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة).

> ركزت الحكومات والشركات تقليدياً على الوفاء بمعايير الانبعاثات– سواء أكانت معايير النفايات السائلة أو معايير التصريف– دون أخذ معايير البيئة المحيطة في الاعتبار من وجهة نظر النظام الإيكولوجي

وعلى الرغم من أن تقييم استخدام المياه العادمة المعالجة لخدمات النظام البيئي يكشف عن فوائد بيئية واقتصادية مواتية (انظر الإطار 8-3)، فإن الأسواق الوظيفية للعديد من خدمات النظم الإيكولوجية هي حالياً بدائية أو غير موجودة (Qadir et al., 2015a).

ونظراً لتدهور الموائل الطبيعية للطيور المائية، تتيح الأراضي الرطبة المبنية بديلاً منطقياً.

3-8 الجوانب التشغيلية والسياسية

يتطلب الحد من التلوث الناجم عن تصريف المياه العادمة غير المعالَجة وزيادة استخدام المياه العادمة المعالَجة جهوداً متضافرة، يتعين بذلها عن طريق إدارة النظام الإيكولوجي ذي دورة الحياة المتكاملة وأهداف كفاءة استخدام الموارد. كما أن السياسات والمناهج التي تعترف بالمياه العادمة كمورد وتسلط الضوء على الصلة القوية بين خدمات النظم الإيكولوجية ورفاه الإنسان مطلوبة أيضاً.

إن تنفيذ المعايير الخاصة بنوعية المياه المحيطة أمر أساسي للوقاية من الآثار البيئية السلبية والحفاظ على النظم الإيكولوجية الطبيعية. وتشير معايير البيئة المحيطة إلى قدرة النظم الإيكولوجية الطبيعية على امتصاص أو استيعاب التلوث البيئي. وتقاس على أنها الكمية القصوى المسموح بها من مادة ما في مسطح مائي، تعطى كتركيز. وبما أن المعايير الخاصة بالبيئة المحيطة يمكن ضبطها على مستويات تفاضلية لمواقع مختلفة، فمن الممكن استخدامها لتقليل إجمالي العبء الأقصى وحماية النظم الإيكولوجية القيّمة بطريقة لن تكون ممكنة باستخدام ضوابط الانبعاثات (Markandya et al., 2001) (انظر الإطار 8-4). وعلى الرغم من أن معايير نوعية المياه المحيطة موجودة بالفعل في التشريعات الوطنية، إلا أنها لا تتوفر لجميع المواد ولا لجميع الأماكن (Hoekstra et al., 2011). وعندما توجد، فغالباً ما تكون القدرة على إنفاذها بشكل فعال غير موجودة، وخاصة في البلدان النامية (لكن ليس على وجه الحصر).

الإطار 8-4 القيمة المضافة لمعايير نوعية المياه المحيطة مقارنة بمعايير الانبعاثات

ركّزت الحكومات والشركات تقليدياً على الوفاء بمعايير الانبعاثات– سواء أكانت معايير النفايات السائلة أم معايير التصريف– دون أخذ معايير البيئة المحيطة في الاعتبار من وجهة نظر النظام الإيكولوجي. ثم إن تلبية معايير الانبعاثات شيء، والنظر في كيفية تأثير النفايات السائلة على قدرة المسطحات المائية على الاستيعاب شيء آخر. ويمكن ببساطة تنفيذ معايير النفايات السائلة– من حيث تركيز المواد الكيميائية في النفايات السائلة– باستخدام مزيد من المياه لتخفيف النفايات السائلة قبل التخلص منها، وهو ما قد يكون مفيداً في تلبية معايير النفايات السائلة. ومع ذلك، فهي لا تقلل إجمالي عبء المواد الكيميائية المضافة إلى البيئة والتأثير المصاحب على النظم الإيكولوجية، وما يتصل بها من زيادة في الاستخدام العام للمياه.

المصدر: Hoekstra et al., 2011

مساهمة من مايتي ألدايا (مرصد المياه، مؤسسة بوتان، جامعة نافارا العامة).

الجزء الثاني

الجوانب الإقليمية

الفصل التاسع: أفريقيا

الفصل العاشر: المنطقة العربية

الفصل الحادي عشر: آسيا والمحيط الهادئ

الفصل الثاني عشر: أوروبا وأمريكا الشمالية

الفصل الثالث عشر: أمريكا اللاتينية والكاريبي

الفصل التاسع

مكتب اليونسكو الإقليمي المتعدد القطاعات في أبوجا: سيمون غريغو وولاديل أوسيبانجو

أفريقيا

تحسين كفاءة وإعادة استخدام الماء

يتناول هذا الفصل التحديات الحرجة التي تواجه المستوطنات الحضرية السريعة النمو في أفريقيا والفرص التي يتيحها استخدام المياه العادمة.

1-9 المياه والمياه العادمة في أفريقيا جنوب الصحراء

تضم أفريقيا 15% من سكان العالم، بينما تمتلك 9% فقط من موارد المياه المتجدِّدة على مستوى العالم، موزعة بشكل غير متساوٍ في جميع أنحاء المنطقة (Wang et al., 2014). وتزداد الفجوة بين توافر المياه والطلب عليها بسرعة، ولا سيّما في المدن، حيث من المتوقع أن يتضاعف عدد سكان المناطق الحضرية أربع مرّات تقريباً بحلول عام 2037 (البنك الدولي، 2012). ويُسهم تحسين مستويات المعيشة والتغير في أنماط الاستهلاك في زيادة الطلب على المياه. ومن ناحية أخرى، يتناقص توافر المياه بسبب أوجه الطلب التنافسية من الزراعة والتعدين والصناعة، وتدهور نوعية المياه. وتعتمد أعداد كبيرة من الناس على المياه الجوفية كمصدر أساسي لهم أو كبديل للمياه، لكنّ التلوث والإفراط في استخراج المياه يهددان موارد المياه الجوفية (البنك الدولي، 2012).

وفي أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، لا يزال 319 مليون شخص، من أصل أكثر من مليار شخص، لا يحصلون على مصادر محسَّنة لمياه الشرب. وبالنسبة للصرف الصحي، تبدو الصورة أكثر قتامة، إذ لا يتوافر لـــ695 مليون شخص صرف صحي أساسي ولم يحقق أي بلد من بلدان أفريقيا جنوب الصحراء الهدف المتعلق بالصرف الصحي المنصوص عليه في الأهداف الإنمائية للألفية (اليونيسف/ منظمة الصحة العالمية، 2015).

ويمثل التعدين والنفط والغاز وقطع الأشجار والتصنيع الصناعات الرئيسية في المنطقة. وكل هذه الصناعات تنتج مياهاً عادمة، تُصرف غالباً في البيئة بأقل قدر من المعالجة أو من غير معالجة أصلاً. وعلى سبيل المثال، في نيجيريا، أفادت التقارير أن أقل من 10% من الصناعات تعالج نفاياتها السائلة قبل تصريفها في المياه السطحية (Taiwo et al., 2012; Ebiare and Zejiao, 2010). وعلاوة على ذلك، حيث توجد برك تثبيت تكون تركيزات الملوثات في النفايات السائلة أكبر خمس مرات من تلك التي تسجل في أوروبا (Li et al., 2011).

ويمثِّل الصرف السطحي الزراعي الذي يحتوي على مواد كيميائية زراعية ومخلفات النباتات والحيوانات مصدراً أساسياً لتلويث المسطحات المائية. وعلى سبيل المثال، أقيم رابط بين الإغناء الدوري بالمغذِّيات لخزان أويون في أوفا بولاية كوارا بنيجيريا، والصرف السطحي للأسمدة الفوسفاتية من المزارع المجاورة ومن روث الأبقار الذي يندفع من مستجمع المياه إلى الخزان (Mustapha, 2008).

وفي معظم المدن الأفريقية، تدفع مياه الأمطار النفايات الصلبة المنصرفة من البلديات والملوثات الأخرى إلى نظم صرف بدائية، ثم بعد ذلك تصرف إلى الأنهار القريبة (Taiwo, 2011) والمياه الجوفية.
ويزداد الوضع سوءاً بسبب ضعف إنفاذ المبادئ واللوائح التنظيمية للمدن وعدم الامتثال لها (Osibanjo and Majolagbe, 2012).

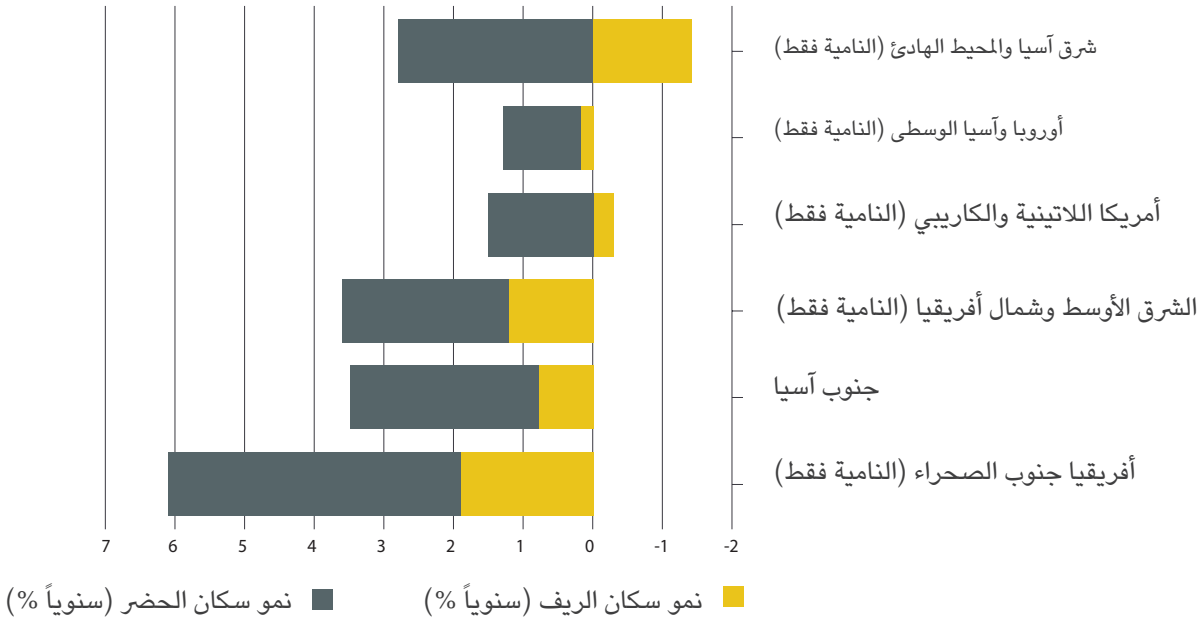
وبينما تمثل النفايات الزراعية والصناعية السائلة مصدراً كبيراً للتلوث في المنطقة، سينصب التركيز في هذا الفصل بشكل أساسي على المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية، نظراً لأهميتها في الفرص الجديدة التي يمكن أن تنشأ عن تحسين الإدارة، في سياق النمو الحضري المتسارع.

2-9 تحديات حرجة

1-2-9 المستوطنات الحضرية

تتمثّل إحدى التحديات الرئيسية المتعلقة بالمياه العادمة في أفريقيا في النقص العام في البنية التحتية لعملية الجمع والمعالجة. فإلى جانب الأحمال العضوية المرتفعة، ومدخلات النفايات غير المنظمة، وانقطاع التيار الكهربائي، وزيادة معدلات تدفق المياه العادمة، وارتفاع تكاليف الطاقة، ونقص إعادة الاستثمار (Nikiema et al., 2013)، يؤدي هذا إلى تلوث موارد المياه الجوفية والسطحية المحدودة أصلاً.

الشكل 9-1 سكان الحضر والريف (٪ نمو سنوي)، 2013



المصدر: استناداً إلى بيانات من البنك الدولي (بدون تاريخ).

ففي المناطق الحضرية، يميل تجميع المجاري إلى أن يكون محدوداً، فالوصلات من المنازل والمرافق إلى المجاري البلدية غير كافية. وإذا ما وُجِدَت البنية التحتية، تظهر مشاكل التشغيل غير السليم، وسوء الصيانة، ونقص المهنيين المؤهلين بشكل يحدّ بشدة من فعالية عملية المعالَجة، ما يؤدي إلى التركيز العالي للملوثات الموجودة في البيئة.

وعلى صعيد شبكات المياه القائمة، فإن عدم استقرار الدعم المالي يعيق صيانة مرافق المعالَجة وتطويرها وشراء واستخدام أدوات رصد كافية (Wang et al., 2014; Nikiema et al., 2013). ففي أديس أبابا، على سبيل المثال، كانت محطة كاليتي للمعالجة، التي صُمِّمت في البداية لخدمة 50 000 شخص، تخدم أقل من 13 000 شخص، وهو ما يعزى إلى نقص الاستثمار المخصص لربط المنازل بشبكات الصرف الصحي، ما أدى إلى انخفاض معدل الربط بالشبكة. وفي عام 2009، قدِّر أن ما يقل عن 3% من المياه العادمة التي تنتجها المدينة وصلت إلى مرافق معالجة المياه العادمة (Abiye et al., 2009).

وثمة تحدٍّ آخر يعرقل قدرة البلدان الأفريقية على إدارة المياه العادمة يتمثَّل في عدم كفاية القدرة على الرصد الفعال للمياه العادمة قبل المعالَجة وبعدها. ففي نيجيريا، على سبيل المثال، تشير دراسة حديثة (اليونسكو، 2016 (أ)) إلى أن عدداً قليلاً فقط من المختبرات في البلد لديها القدرة على اكتشاف الملوثات الناشئة.

9-2-2 الحوكمة والاحتياجات من البيانات

إن سوء الحوكمة، بما فيها السياسات والمؤسسات غير الفعالة، وعدم إنفاذ التشريعات، والفساد، وعدم كفاية البنية التحتية، ونقص الاستثمارات في القدرات البشرية، يُسهم في استمرار مشاكل نوعية المياه والمياه العادمة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2010).

وتتمثّل إحدى القضايا الحرجة التي تحد من إمكانية وضع سياسات ملائمة لنوعية المياه في نقص البيانات المتاحة بشأن المياه العادمة. ففي أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، لا يتوفر إلا القليل من البيانات الكميّة بشأن توليد المياه العادمة ومعالجتها واستخدامها ونوعيتها. ولا تتوفر معلومات شاملة إلّا عن السنغال وسيشيل وجنوب أفريقيا، وترجع البيانات الخاصة بسيشيل وجنوب أفريقيا إلى أوائل عام 2000 (Sato et al., 2013).

وإضافة إلى ذلك، فإن القوانين والتشريعات الحالية لقطاع المياه على جميع مستويات الحكومة لا تأخذ عادة المياه العادمة في الاعتبار. ففي نيجيريا، على سبيل المثال، لا يوجد إلا القليل من القوانين الفيدرالية وقوانين الولايات بشأن المياه العادمة أو لا يوجد (Ajiboye et al., 2012; Goldface Irokalibe, 1999 and 2002; Goldface Irokabile et al., 2001). ويكاد يكون إنفاذ اللوائح التنظيمية (أي للصناعات المتصلة بالصرف الصحي) معدوماً في معظم البلدان، ما يؤثّر بشكل مباشر على نوعية المياه في اتجاه مجرى النهر.

الشكل 9-2 تحديات إدارة المياه المنصرفة من المناطق الحضرية مقابل القدرات المؤسسية والاقتصادية

المصدر: البنك الدولي (2012, الشكل 1، صفحة 5).

* ملاحظات: اختصارات المدن: ABJ، أبيدجان، كوت ديفوار؛ ABV، أبوجا، نيجيريا؛ ACC، أكرا، غانا؛ ADD، أديس أبابا، إثيوبيا؛ BLZ، بلانتاير، ملاوي؛ BZV، برازافيل، الكونغو؛ CKY، كوناكري، غينيا؛ COO، كوتونو، بنين؛ CPT، كيب تاون، جنوب أفريقيا؛ DAK، داكار، السنغال؛ DLA، دولا، الكاميرون؛ DSM، دار السلام، تنزانيا؛ DUR، دوربان، جنوب أفريقيا؛ HRE، هراري، زمبابوي؛ IBA، إيبادان، نيجيريا؛ JHB، جوهانسبرغ، جنوب أفريقيا؛ KAN، كانو، نيجيريا؛ KIN، كينشاسا، جمهورية الكونغو الديمقراطية. KMS، كوماسي، غانا؛ KRT، الخرطوم، السودان؛ LLW، ليلونغوي، ملاوي؛ LAD، لواندا، أنغولا؛ LOS، لاغوس، نيجيريا؛ LUN، لوساكا، زامبيا؛ MBU، مبوجي –مايي، جمهورية الكونغو الديمقراطية؛ MPM، مابوتو، موزمبيق؛ NBO، نيروبي، كينيا؛ OUA، واغادوغو، بوركينا فاسو؛ YAO، ياوندي، الكاميرون..

** ملاحظة حول المنهجية: يعرض هذا الشكل فهرساً يصنِّف المدن عن طريق بُعدين: الأول هو التحديات المرتبطة بالمياه والثاني هو القدرات المؤسسية والاقتصادية. ومقابل بُعد منهما، حُدِّد عدد من المتغيرات، التي اختيرت المؤشرات لأجلها. وبالنسبة لبُعد التحديات المتعلقة بالمياه، اختيرت مؤشرات للمتغيرات التالية: تحديات النمو الحضري، وإدارة النفايات الصلبة، وخدمات إمدادات المياه، وخدمات الصرف الصحي، ومخاطر الفيضانات، وتوافر الموارد المائية. أما بالنسبة لبُعد القدرات المؤسسية والاقتصادية، فقد اختيرت مؤشرات للمتغيرات التالية: سياسات البلد ومؤسساته، والقوة الاقتصادية، والمؤسسات ذات الصلة بالمياه، وحوكمة مرافق المياه. وقد جرى تطبيع المؤشرات، وبالتالي فإن قيمة الوحدات تتباين من 0 إلى 1. وأُضيفت أوزانٌ متساوية إلى المؤشرات وجُمِّعت لكل بُعد من البُعدَيْن.

3-2-9 النمو الحضري السريع

في عام 2013، كان معدل النمو السنوي لسكان الحضر (انظر الشكل 9-1) في البلدان النامية في أفريقيا جنوب الصحراء (6%) أعلى بثلاث مرات من الريف (2%). ومن المتوقع زيادة نسبة الذين يعيشون في المناطق الحضرية في أفريقيا من 40% إلى 45% بين عامي 2015 و2025 (إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة، 2014). وتشير هذه الأرقام إلى احتمال حدوث زيادة كبيرة في إنتاج المياه العادمة في المدن الأفريقية (البنك الدولي، 2012).

وتنمو المدن الأفريقية بسرعة، ولا تستطيع نظمها الحالية لإدارة المياه مواكبة الطلب المتزايد. وتشير التقديرات إلى أن نصف البنية التحتية في المناطق الحضرية التي ستشكل المدن الأفريقية بحلول

> تزداد الفجوة بين توافر المياه والطلب عليها بسرعة، ولا سيّما في المدن، حيث من المتوقع أن يتضاعف عدد سكان المناطق الحضرية أربع مرّات تقريباً بحلول عام 2037

عام 2035 لم تُبْنَ بعد (البنك الدولي، 2012). ويطرح هذا السيناريو تحدياتٍ عدة ويتيح، في الوقت نفسه، فرصاً للابتعاد عن المنهجيات السابقة (غير الملائمة) لإدارة المياه والانتقال إلى حلول مبتكرة لإدارة المياه، مثل الإدارة المتكاملة للمياه في المناطق الحضرية (IUWM)، التي تتضمن استخدام المياه العادمة المعالجة للمساعدة في تلبية الطلب المتزايد على المياه.

وتمثّل محدودية القدرات البشرية والمالية والمؤسسية المتعلقة بإدارة المياه تحدياتٍ للمدن الأفريقية. فعلى الرغم من أن التحديات الرئيسية من حيث الحجم موجودة في المدن الكبرى، إلا أنها في وضع أفضل نسبياً من حيث القدرة المؤسسية والاقتصادية (انظر الشكل 9-2) للتصدي للمشاكل من خلال وفورات الحجم. وتفتقر معظم المدن الأصغر إلى هذه الميزة وتحتاج بوضوح إلى التركيز على بناء القدرات كخطوة ضرورية نحو تحسين نظم إدارة المياه والمياه العادمة.

9-3 سبيل المضيّ قدماً

9-3-1 استخدام المياه العادمة في المزارع الحضرية وشبه الحضرية

إن قيمة المياه العادمة كمورد غير مستغَل أمرٌ معترف به على نطاق واسع، حتى في غياب السياسات الوطنية التي تنظِّم إعادة استخدام المياه في عديد من البلدان الأفريقية. ويتحول كثير من المزارعين في المناطق الحضرية وشبه الحضرية من الري التقليدي بالمياه العذبة إلى الري بالمياه العادمة. ويتجلى ذلك في أعمال الريّ غير المعالَجة بالمياه العادمة في كوماسي وأكرا بغانا (انظر الإطار 9-1)، حيث تُستخدَم المياه العادمة لري المحاصيل وإنتاج الخضراوات. وفي حين يخلق هذا فرصاً للأعمال وتحسين سبل المعيشة، فإنه ينطوي على آثار صحية خطيرة على الزبائن والمزارعين (Keraita and Drechsel, 2004; Drechsel et al., 2010).

الإطار 9-1 استخدام المياه العادمة في كوماسي وأكرا، غانا

تقدِّم غانا مثالاً جيداً على الزراعة الحضرية وشبه الحضرية التي تنمو من خلال الري غير الرسمي بالمياه العادمة غير المعالجة من الجداول والمصارف. وفي كوماسي وأكرا، حيث تعمل محطات معالجة المياه العادمة المركزية بالكاد، تُستخدم المياه العادمة بانتظام لري المحاصيل. وتوفِّر هذه الممارسة، الشائعة في المراكز الحضرية في عديد من بلدان أفريقيا، الغذاء للسكان، كما توفِّر فرص العمل وتخفِّف من الفقر لعدد من الغانيين، وتساعد أيضاً في الحفاظ على موارد المياه العذبة.

وفي أكرا، يروي المزارعون أكثر من 15 صنفاً من الخضراوات بالمياه العادمة غير المعالجة. وتتراوح أحجام قِطَع الأراضي الحضرية ما بين 22 متراً مربعاً إلى 3000 متر مربع لكل مزارع. ويمكن لزراعة الخضراوات المروية على مدار السنة أن تحقق متوسط دخل سنوي يتراوح ما بين 400 إلى 800 دولار أمريكي لكل مزارع. وتقدَّر القيمة السوقية السنوية للإنتاج بحوالي 14 مليون دولار أمريكي وينتفع حوالي 200 000 شخص من سكان الحضر من جميع الفئات من هذا الإنتاج. وتقدَّر مساحة الأراضي المزروعة في كوماسي بحوالي 115 كيلومتراً مربعاً، أي ضعف المساحة الكلية المسجلة للري الرسمي في جميع أنحاء البلد.

ومع ذلك، تبرز مخاوف صحية عامة، ولا سيّما فيما يتعلق بتلوث هذه المنتجات الزراعية تلوّثاً جرثومياً. وقد أظهر تحليل الخضراوات المبيعة في الأسواق وجود بكتيريا القولون البرازية وبيض الديدان الطفيلية (Keraita and Drechsel, 2004).

المصدر: Bahri et al. (2008).

وفي المنطقة، تبرز العديد من الأمثلة على استرداد الحمأة لأجل الاستخدام الزراعي، ما يخلق فرصاً لتحسين سبل العيش للمزارعين في الوقت الذي تساعد فيه على تقليل كمية الحمأة المنصرفة في البيئة. وأنشئت محطة تجريبية لصناعة السماد في كوماسي بغانا، ورُصدت عملياتها لمدة 12 شهراً (Mensah et al., 2003). وتشير النتائج الإيجابية، بما فيها تقبّل المزارعين لاستخدام السماد العضوي كسماد، إلى أن استرداد العناصر المغذية من الحمأة هو خيار قابل للتطبيق للحدّ من تأثير المياه العادمة على نوعية المياه وتحسين سبل معيشة المزارعين في المناطق الحضرية وشبه الحضرية.

9-3-2 استخدام المياه العادمة المعالَجة

تقدِّم ناميبيا وجنوب أفريقيا مثالين جيّدين لاستخدام المياه العادمة التي يمكن أن تكون مصدراً آمناً للمياه لأغراض الشرب والصناعات إذا ما عولجت معالجة ملائمة. ويبين الإطار 9-1 كيف تعالَج المياه العادمة في ويندهوك بناميبيا لتلبية معايير نوعية مياه الشرب، في حين يصف الإطار 9-2 كيف يعاد تدوير المياه العادمة في الصناعة.

9-3-3 خلق بيئة مواتية للتغيير الإيجابي

يمكن لأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى أن تتصدى للنمو القوي في الطلب على المياه المتوقَّع لعام 2030 وتفي بالهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، شريطة أن تبدأ في التصدي لتحديات المياه التي تواجهها الآن وتتبنّى الفرص التي يمكن أن يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة. وستتطلب هذه الخطوة هيكل حوكمة أفضل، ومؤسسات وسياسات فعالة، وبنية تحتية أفضل لجمع المياه العادمة ومعالجتها، وتحسين صيانة هذه البنية التحتية. ومن الأهمية بمكان أيضاً زيادة بناء القدرات البشرية والمؤسسية لمعالجة المياه العادمة، ورصد وإدارة البيانات، ووضع إطار تنظيمي أقوى، ورصد الإنفاذ والامتثال.

وحتى يتحقق النجاح في تنفيذ العناصر السابقة، فمن الضروري وجود إرادة سياسية قوية. ولذلك، تبرز حاجة إلى الدعوة القوية لإقناع صانعي السياسة وأعضاء الطبقة السياسية بـ«التكلفة» الهائلة الناتجة عن «التقاعس عن التحرك» من حيث التنمية الاجتماعية الاقتصادية، ونوعية البيئة والصحة البشرية.

وأخيراً، يعدّ إنشاء آليات مالية كافية عنصراً أساسياً. فقد يتردد المستثمرون في تمويل مشاريع البنية التحتية للمياه، ويطالبون بالدفع المسبق العالي وفترات تنمية طويلة. ومن ثم ينبغي استكشاف الخيارات المختلفة لتمويل إدارة المياه العادمة مع الحكومات الوطنية، مثل دفع رسوم المياه/المياه العادمة، ومشاركة القطاع الخاص من خلال الاستثمار في أفضل التكنولوجيات المتاحة الفعالة ذات التكلفة المنخفضة والشراكة بين القطاعين العام والخاص (انظر الفصل الخامس عشر). وينبغي السعي للحصول على دعم المانحين لمشاريع تجريبية/إيضاحية للنماذج المبتكرة للأعمال/التسليم، فضلاً عن تكنولوجيات ابتكارية فعالة من حيث التكلفة ومجرَّبة.

> يمكن لأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى أن تتصدى للنمو القوي في الطلب على المياه المتوقَّع لعام 2030 وتفي بالهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، شريطة أن تبدأ في التصدي لتحديات المياه التي تواجهها الآن وتتبنّى الفرص التي يمكن أن يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة

الإطار 9-2 إعادة تدوير المياه العادمة في توليد الطاقة الحرارية، جنوب أفريقيا

ارتادت جنوب أفريقيا عملية المعالجة الداخلية وإعادة التدوير للمياه المعالجة في الصناعات منذ عام 1980. وتتسم هذه الممارسة بميزة الحد من الطلب على النفايات السائلة التي يتم تصريفها والحدّ من كمية هذه النفايات.

إسكوم (ESKOM) هي شركة الكهرباء العامة الرئيسية في جنوب أفريقيا، وإحدى كبريات الشركات في أفريقيا. وتستخدم كميات كبيرة من المياه في محطات توليد الطاقة الحرارية الداخلية الخاصة بها، ولا سيما لأغراض التبريد، مع إنتاج كميات كبيرة من المياه «المُصرَّفة من أسفل» (أي المياه التي تُفرَّغ من معدات التبريد). ولا يمكن إطلاق هذه المياه دون معالجة، بسبب ملوحتها العالية ووجود مسببات الأمراض والمواد الكيماوية المضافة.

وفي أوائل الثمانينيات، بدأت إسكوم في تركيب محطات التناضح العكسي لمعالجة المياه المُصرَّفة من أسفل المعدات. وحالياً، تُركَّب محطة تناضح عكسي في محطة ليتابو للكهرباء وساسولبورغ وفري ستيت، بطاقة إجمالية تبلغ 12 مليون لتر في اليوم. ويرجع جزء من هذه المياه النظيفة إلى نظام مياه التبريد المركّز ويُستخدَم جزء آخر كماء تغذية لعملية التبادل الأيوني- وهي عملية تحلية أخرى. وللمياه الناتجة عن عملية التبادل الأيوني مستويات منخفضة جداً من إجمالي المُركّبات الصلبة الذائبة (TDS) ويُعاد استخدامها في المحطة.

المصدر: Schutte (2008).

الفصل العاشر

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة: كارول شوشاني شيرفان

وبمساهمات من: علي كرنيب (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة) ومنظور قادر (جامعة الأمم المتحدة – الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة)

المنطقة العربية

محطة مياهنا لمعالجة المياه العادمة في عمّان (الأردن)

يتناول هذا الفصل إنتاج المياه العادمة وجمعها ومعالجتها في المنطقة العربية، مع التركيز بشكل خاص على الأطر السياسية التي تعزّز الاستخدامات المختلفة للمياه العادمة المعالَجة.

1-10 السياق

المنطقة العربية هي الأكثر جفافاً في العالم، إذ يقع 18 بلداً من أصل 22 بلداً عربياً تحت خط الفقر المائي البالغ 1000 متر مكعب للفرد في عام 2014 (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة، بدون تاريخ. ب). وقد أصبح استخدام المياه العادمة المعالَجة بأمان وسيلة متبعة لزيادة توافر المياه في العديد من الدول العربية وعنصراً أساسياً في خطط إدارة موارد المياه على الصعيدين الإقليمي والوطني.

ويشهد الوصول إلى مرافق الصرف الصحي المحسَّنة انتشاراً واسعاً في المنطقة العربية، غير أن الربط بشبكات الصرف الصحي ومرافق معالجة المياه العادمة لا يزال محدوداً. وتتوافر تغطية الشبكة بشكل عام في المراكز الحضرية الكبيرة، في حين أن خزانات الصرف الصحي والحفر الامتصاصية ما زالت شائعة في المناطق الريفية وفي أقل البلدان نمواً في المنطقة (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة، 2013). غير أن نظم الصرف الصحي خارج الشبكة تعقِّد عملية جمع المياه العادمة ومعالجتها وتقلِّل القدرة على إدارة المياه العادمة على نحو مستدام كمورد في معظم المناطق.

وتجري عمليات رصد خدمات المياه والصرف الصحي والمياه العادمة إقليمياً ووضع التقارير عنها تحت إشراف المجلس الوزاري العربي للمياه من خلال مبادرة تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية +MDG[8]. وتبين بيانات مبادرة +MDG الواردة في الجدول 10-1 أن 69% من المياه العادمة التي جُمعت في عام 2013 في الدول العربية قد عولجت بأمان، وأن 46% منها خضع لمعالجة ثانية، وأن 23% منها خضعت لمعالجة ثالثة. وعلاوة على ذلك، خضع 84% من مجمل المياه العادمة التي جُمعت في بلدان مجلس التعاون الخليجي التي تعاني من ندرة المياه إلى معالجة ثالثة، واستخدم 44% من إجمالي المياه العادمة المعالَجة بشكل آمن. وعلى المستوى الإقليمي العربي، يتم استخدام 23% من المياه العادمة المعالَجة بأمان، معظمها لأغراض الري وإعادة تغذية المياه الجوفية.

8 مبادرة +MDG هي مبادرة إقليمية وحكومية تجمع البيانات القُطرية من فرق الرصد الوطنية، التي تتألف من الوزارة الوطنية المسؤولة عن مرافق المياه والصرف الصحي، والمكاتب الإحصائية في كل دولة عربية. وتقوم المبادرة بجمع البيانات عن الحصول على إمدادات المياه والصرف الصحي وخدمات معالجة المياه العادمة في المنطقة العربية. وتوضح مؤشرات المياه العادمة التي تقيسها مبادرة +MDG كمية المياه العادمة المعالَجة حسب المستوى وكمية مياه الصرف المعالَجة المستخدمة ولأي غرض والتعريفة المطبقة على خدمات الصرف الصحي. ويمكن الاطلاع على الوصف التفصيلي وأساليب حساب مؤشرات مبادرة +MDG في اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة (2013).

2-10 التحديات

1-2-10 خدمة السكان النازحين والفيضانات

أصبح توفير المياه وتقديم خدمات الصرف الصحي ومعالجة المياه العادمة للاجئين في المخيمات والمستوطنات غير الرسمية والمجتمعات المضيفة في الدول العربية يمثل تحدياً خطيراً. إذ تستضيف الأردن أكثر من 700000 لاجئ مسجَّل من العراق وسوريا، يعيش 90% منهم خارج المخيمات (مفوضية الأمم المتحدة لشؤون اللاجئين، 2016)؛ في حين تكافح البنية التحتية للمياه في لبنان لخدمة 1.5 مليون لاجئ يمثلون ما يعادل ثلث السكان اللبنانيين (مكتب الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية، 2016). وأدى النزاع والتشرد الداخلي للأشخاص في العراق، وليبيا، وفلسطين، والصومال، وسوريا إلى إجهاد القدرة التشغيلية لمرافق الصرف الصحي وشبكات المجارير المتضررة.

ونظراً لعدم وجود نظم كافية لتصريف مياه الأمطار وغياب خطط التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية غالباً ما تكون محطات المعالَجة غير قابلة للتشغيل عند هطول الأمطار الشديدة التي تزداد في تواترها وشدّتها بسبب تغيّر المناخ. وقد أدّت الفيضانات إلى تكاليف اقتصادية وبيئية وألحقت أضراراً بالبنية التحتية والممتلكات والمناطق المحمية، كما حدث في جزر سقطرى في اليمن، والخليج العربي، وكذلك على طول السواحل المصرية واللبنانية والفلسطينية على مدى السنوات القليلة الماضية.

2-2-10 المياه العادمة المنصرفة من الصناعات

إن إدارة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات مكلفة ومثيرة للجدل في المنطقة. وتؤثر النفايات السائلة الكيميائية والبيولوجية الناتجة عن صناعات النسيج والدباغة في مصر والمغرب وبلدان عربية أخرى على إمدادات المياه السطحية والجوفية، بيد أن إغلاق هذه المشاريع الصغيرة يهدد سبل العيش التقليدية.

وعلى نطاق أوسع، يشتمل المحلول الملحي الذي يُطلَق من محطات تحلية المياه على مخلفات كيميائية تؤثر سلباً على النظم الإيكولوجية الساحلية. وتؤدي المياه الزيتية التي تُجْلَب إلى السطح أثناء استخراج النفط إلى تلويث نظم المياه الجوفية وتبديد موارد الأراضي.

اعتمد ما لا يقل عن 11 دولة من أصل 22 دولة عربية تشريعات تسمح باستخدام المياه العادمة

الجدول 10-1 حجم المياه العادمة المجمَّعة، ومعالجة المياه العادمة واستخدامها (مليون متر مكعب في السنة)، 2013

الدولة	حجم المياه العادمة المجمَّعة	معالجة أولى	معالجة ثانية	معالجة ثالثة	حجم المياه العادمة المعالَجة بأمان	حجم المياه العادمة المستخدَمة	المياه العادمة المستخدَمة (% من المياه العادمة المعالَجة بأمان)
دول مجلس التعاون الخليجي							
البحرين	122.8	0	0	122.8	122.8	38.1	31
الكويت	غير متوفر	0	58.0	250.3	308.3	308.3	100
عمان	26.2	0	0	26.2	26.2	20.4	78
قطر	176.8	0	0	158.7	158.7	115.9	73
السعودية	1317.2	0	580.2	736.9	1317.1	237.1	18
الإمارات العربية المتحدة	615.7	0.3	11.7	593.6	605.3	397.2	65.6
دول المشرق							
مصر	3030.4	724.3	2054.8	57.1	2111.9	غير متوفر	غير متوفر
العراق*	620.4	0	415.7	0	415.7	0	0
الأردن	130.8	0	130.8	0	130.8	113.3	87
لبنان	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر
فلسطين*	61.0	0.3	45.3	0	45.3	0	0
دول المغرب							
الجزائر	1570.4	0	275.2	0	275.2	19.3	7
ليبيا*	291.1	0	45.8	0	45.8	14.7	32
المغرب	144.2	38.2	0.1	6.1	6.2	غير متوفر	غير متوفر
تونس	235.0	0	222.0	6.6	228.6	60.0	26
أقل البلدان نمواً							
موريتانيا	0.65	0	0.65	0	0.65	0.12	18
السودان	18.0	18.0	0	0	0	0	0
اليمن*	159.4	58.1	42.2	22.0	64.3	غير متوفر	غير متوفر
المجموع	**8520**	**839.2**	**3882.5**	**1980.3**	**5562.8**	**1324.4**	**23**

* تمثل البيانات سنة 2012.

المصدر: مجمَّعة من جامعة الدول العربية/اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة/الجمعية العربية لمرافق المياه (أكوا) (2016).

10-2-3 عدم كفاية التكامل والاستثمار

على الرغم من ضخ الاستثمارات في محطات المعالَجة الثانية، تعاني العديد من المرافق من العبء المفرط فتنتج مياهاً سائلة أقل في جودتها من المتوقع، بسبب الضغوط السكانية المتغيِّرة والفترة الزمنية الفاصلة بين التصميم والبناء (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة، 2013). وكثيراً ما تُتخذ خيارات الاستثمار أيضاً دون إيلاء اعتبار كافٍ للظروف المناخية الحارة والجافة التي تتسم بها المنطقة، التي ينبغي النظر فيها، ولا سيّما عند تقييم خيارات المعالجة الهوائية واللاهوائية. ثم إن القدرات الفنية والميزانيات لتشغيل المرافق التي تقوم بالمرحلتين الثانية والثالثة من معاجة مياه النفايات وصيانتها متخلفة أيضاً في بعض البلدان العربية. وهذا يقيِّد فرص الاستثمار ويطيل الوقت اللازم لتشغيل المحطات.

وقد تتقادم الخطط الرئيسية للمياه العادمة بسرعة، نظراً للديناميات الإقليمية (انظر الإطار 10-1). وقد تكون الترتيبات المؤسسية لإدارة المياه العادمة غير واضحة أيضاً. وعلاوة على ذلك، غالباً ما يحصل نقص في التنسيق ما بين الجهات الفاعلة الوطنية والبلدية المسؤولة عن توسيع شبكات الصرف الصحي، وبين مديري موارد المياه ومرافق المياه المسؤولة عن تشغيل مرافق المياه العادمة (انظر الفصل الثالث).

10-3 الاستجابات

في عام 2011، اعتمد المجلس الوزاري العربي للمياه استراتيجية وخطة عمل إقليميتين بشأن الأمن المائي، ودعت هذه الاستراتيجية إلى توسيع نطاق تحلية المياه واستخدام المياه العادمة المعالَجة ومياه الصرف الزراعي باعتبارهما موردين غير تقليديين للمياه يمكن تطويرهما للتعويض عن العجز المائي في المنطقة العربية (المجلس الوزاري العربي للمياه، 2011). وإضافة إلى ذلك، أطلق المجلس مبادرة MDG+ (الأهداف الإنمائية للألفية) لرصد خدمات إمدادات المياه والصرف الصحي في الدول العربية ووضع تقارير عنها، استناداً إلى مجموعة من المؤشرات الخاصة بكل منطقة تدرس المياه والمياه العادمة في سياق البيئات التي تعاني من ندرة المياه (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة، 2013).

10-3-1 أطر السياسات

اعتمد ما لا يقل عن 11 دولة من أصل 22 دولة عربية تشريعات تسمح باستخدام المياه العادمة المعالَجة، قامت بسنِّها المؤسسات الوطنية المسؤولة عن استخدام المياه العادمة وتصريفها، سواء أكانت الوزارات المسؤولة عن البيئة في الكويت، ولبنان، وعمان، ووزارة الصحة في العراق، ووزارة الزراعة في تونس، ووزارة الصحة والسكان في مصر، أم المعاهد المسؤولة عن المعايير في الأردن واليمن (منظمة الصحة العالمية، 2006ب).

وتتصدى الأردن وتونس لمشكلة المياه العادمة في سياق سياساتهما وخططهما الوطنية المتعلقة بالمياه. واعتمد الأردن «سياسة إحلال المياه وإعادة استخدامها» في فبراير/شباط 2016، وهي سياسة تضفي الطابع الرسمي على استخدام المياه العادمة المعالَجة كسياسة وطنية وتتضمن خططاً لتحديد التعريفات لاستخدام المياه العادمة المعالَجة والمياه العادمة المعالَجة الممزوجة (وزارة المياه والري، 2016 (أ)). واستُكمِل ذلك بسياسة اللامركزية لإدارة المياه العادمة لخدمة المجتمعات الأصغر حجماً (وزارة المياه والري، 2016 (ب)) - وهي خطوة هامة إذ تمثِّل المياه العادمة المعالَجة حوالي 15% من موارد المياه المتاحة في الأردن (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة، 2015).

وقد عُزِّزت خطط التنسيق مع الجهات المانحة وخطط الاستثمار في قطاع المياه العادمة بشكل جيد في الأردن. وتخصص *خطة الاستجابة الأردنية للأزمة السورية 2016-2018* موارد كبيرة لتوسيع عملية جمع المياه العادمة في المجتمعات المضيفة في الأردن ومعالجتها. كما وُضعت خطط لإدماج كفاءة الطاقة وتدابير تلوث الهواء المحلية في محطات معالجة المياه العادمة، فضلاً عن الجهود

الإطار 10-1 الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه العادمة في لبنان

في عام 2012، قُدِّر عدد سكان لبنان بنحو 4.3 مليون نسمة. ومن أصل 310 ملايين متر مكعب من المياه العادمة المنتجة سنوياً، يأتي ما يُقدَّر بنحو 250 مليون متر مكعب من مصادر محلية و60 مليون متر مكعب من الصناعة (وزارة الطاقة والمياه، 2012).

وتشير التقديرات إلى أن 8% فقط من المياه العادمة الناتجة في لبنان تجري معالجتها. ويستخدم حوالي 11% من السكان نظم المياه العادمة المدارة بأمان في محافظتي الشمال والجنوب في لبنان مقابل 7% فقط و3% في بيروت الكبرى والبقاع على التوالي (Karnib, 2016). وتُصرف معظم المياه العادمة المجمعة في المياه السطحية والبحر الأبيض المتوسط. وقد تسببت خزانات الصرف الصحي في الموقع في تلوث موارد المياه الجوفية، مثل نبع جعيتا الذي يزوِّد بيروت الكبرى (BGR، بدون تاريخ). وتؤدي الآثار الضارة الناتجة عن عدم كفاية جمع المياه العادمة ونقلها ومعالجتها إلى زيادة المخاطر الصحية والبيئية.

وتتضمن الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه العادمة لعام 2012 خمس ركائز استراتيجية: (1) برنامج استثماري متكامل ومحدد الأولويات لجمع مياه الصرف ومعالجتها واستخدامها؛ (2) التدابير القانونية والتنظيمية والسياسية لوضع المعايير وتنظيمها؛ (3) اتخاذ تدابير مؤسسية لتحديد المسؤوليات وإيجاد القدرة على تقديم الخدمات؛ (4) اتخاذ التدابير المالية من أجل القابلية للنجاح وتقديم خدمات ميسورة التكلفة؛ (5) اتخاذ تدابير من أجل الاستفادة المثلى من مشاركة القطاع الخاص في قطاع الصرف الصحي. وقُدِّرت تكلفة التنفيذ بمبلغ 3.1 مليار دولار أمريكي للعمل المخطط له في الفترة الممتدة من عام 2012 إلى عام 2020. ولسوء الحظ، تعطل تنفيذ الاستراتيجية بسبب نقص التمويل وعدم الاستقرار الناجم عن حالة غموض الوضع السياسي والصراعات الجارية في المنطقة.

الرامية إلى ضمان وجود مرافق الصرف الصحي المراعية للجنسين في المدارس وعيادات الرعاية الصحية (وزارة التخطيط والتعاون الدولي، 2016). كما شاركت تونس في برنامج نشط لإعادة استخدام المياه (انظر الإطار 10-2).

10-3-2 استخدام المياه التي تنتجها صناعة النفط

بُذلت جهود لمعالجة واستخدام المياه المنتجة أثناء استخراج النفط. وقد اختبرت عُمان معالجة واستخدام المياه العادمة المحتوية على النفط للري كبديل لحقن المياه مرة أخرى في طبقات المياه الجوفية، ما أدى إلى تلوث موارد المياه الجوفية (المركز الياباني للبترول، 1999). كما بَحثت جامعة السلطان قابوس في عُمان مسألة إزالة النفط من المياه المنتجة (Pillay et al., 2010)، فوجدت أن الأراضي الرطبة المبنية يمكن أن تستخدم أيضاً للتخلص من المياه المعالَجة المنتَجة.

10-3-3 استخدام المياه العادمة المعالَجة في النظم الإيكولوجية وإعادة تغذية المياه الجوفية الاصطناعية

أدى استثمار المملكة العربية السعودية في نظام معالجة المياه العادمة الحسّاس بيئياً حول الرياض إلى إنشاء أراضي وادي حنيفة الرطبة من مياه الصرف المعاد توجيهها والمياه العادمة المعالَجة. وحصلت المبادرة على جائزة آغا خان للعمارة نظراً لتصميم المساحات الترفيهية الجديدة وعودة ظهور التنوع البيولوجي في المنطقة (شبكة أغا خان للتنمية، بدون تاريخ).

ويجري أيضاً تطبيق نهج خارج الشبكة يعتمد على الدروس المستخلصة من النظم الإيكولوجية الطبيعية. ففي لبنان، نجحت المصلحة الوطنية لنهر الليطاني في اختبار الأراضي الرطبة المبنية لمعالجة المياه العادمة. وفي الوقت نفسه، يجري اعتماد نهج لامركزي مماثل لمعالجة المياه العادمة في كثير من المجتمعات الجبلية في لبنان التي لا يمكن توصيل شبكات مياه المجارير إليها (Difaf, 2016).

ويجري حالياً استخدام المياه العادمة المعالَجة لدعم إعادة تغذية المياه الجوفية الاصطناعية وتخزين المياه في المنطقة العربية الشحيحة بالماء. ففي البحرين، تُستخدم 7% من المياه العادمة المعالَجة لتغذية المياه الجوفية (جامعة الدول العربية/اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة/الجمعية العربية لمرافق المياه، 2015). وفي الوقت نفسه، تعيد بعض الدول العربية توجيه مياه الأمطار والمياه العادمة المعالَجة إلى طبقات المياه الجوفية كوسيلة لإدارة ظروف هطول الأمطار الشديدة وزيادة احتياطيات المياه، كما فعلت مصر على طول ساحل البحر الأحمر.

10-3-4 استخدام المياه العادمة في توليد الطاقة

يسمح الغاز الحيوي المسترَد من معالجة المياه العادمة من خلال عملية الهضم اللاهوائي بإنتاج الطاقة (انظر القسم 16-2-2). ويستخدم الغاز الحيوي المسترَد في المنطقة لتوليد الحرارة والكهرباء في الموقع، ويمكن استخدامه حتى لإنتاج الطاقة خارج الموقع. ويخدم مصنع السمرا لمعالجة المياه العادمة، وهو الأكبر في الأردن، 2.27 مليون شخص ويحقق 80% من الاكتفاء الذاتي من الطاقة من خلال مولِّد يعمل بالغاز الحيوي مدعوم بمصفاة الحمأة اللاهوائية (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا التابعة للأمم المتحدة، 2015). وتبلغ الطاقة الإنتاجية لمحطة معالجة المياه العادمة، الواقعة في الجبل الأصفر في الضفة الشرقية لنهر النيل في القاهرة، أكثر من 1.4 مليون متر مكعب في اليوم، وتضم محطة للتوليد المشترك يغذيها هضم الحمأة اللاهوائي التي تنتج ما يصل إلى 65% من الطاقة اللازمة لتشغيل المرفق (Badr, 2016).

كما يجري النظر في وحدات هضم الغاز الحيوي في توليد وتوريد الطاقة إلى مخيمات اللاجئين والمستوطنات العشوائية في المشرق العربي. ومع ذلك، هناك حاجة إلى النهوض بالوعي في السياق الثقافي المحلي قبل تطبيق هذه المنهجيات بعد المرحلة التجريبية.

الإطار 10-2 إعادة استخدام المياه في تونس

لا تزال تونس تعطي أولوية لإعادة استخدام المياه منذ أوائل الثمانينيات، عندما أطلقت برنامجاً لإعادة استخدام المياه في عموم البلد لزيادة موارد المياه الصالحة للاستخدام. وتعالَج معظم المياه العادمة المنصرفة من البلديات معالجة بيولوجية ثانية من خلال الحمأة المنشطة، مع وجود بعض المعالجة من المرحلة الثالثة المحدودة أيضاً.

وحظيت القيود المفروضة على استخدام المياه العادمة المعالَجة لحماية الصحة العامة باهتمام كبير وهي تتماشى مع توصيات منظمة الصحة العالمية (منظمة الصحة العالمية، 2006ب). وتسمح اللوائح التونسية باستخدام النفايات السائلة المعالَجة معالجة ثانية في ري جميع المحاصيل باستثناء الخضراوات، سواء أكانت للأكل نيئاً أم مطهياً. وتشرف الإدارات الزراعية الجهوية على استخدام المياه العادمة المعالَجة بأمان وتحصيل الرسوم من المزارعين. ويدفع المزارعون التونسيون مقابل استخدام مياه الري على أساس حجم المياه المطلوبة والمساحة المروية.

وعلى الرغم من وجود دعم حكومي قوي لاستخدام مياه الصرف المعالَجة، لا يزال المزارعون يفضلون الري من المياه الجوفية بسبب التقبل الاجتماعي، واللوائح المتعلقة بخيارات المحاصيل، والاعتبارات الزراعية الأخرى. كما أعرب المزارعون في الجنوب القاحل عن قلقهم إزاء الآثار الطويلة الأجل للمياه العادمة المالحة على إنتاجية المحاصيل والتربة. وإضافة إلى ذلك، يعتبر المزارعون القيود الصحية عائقاً أمام زراعة المحاصيل عالية القيمة مثل الخضراوات. ولمواجهة هذه التحديات، سعى واضعو السياسات التونسيون إلى تحسين التنسيق واتباع نهوج قائمة على الطلب لتحسين تخطيط مشاريع الاستصلاح والري القائمة على المياه العادمة ومشاريع الري بالنفايات السائلة المعالَجة بأمان (Qadir et al., 2010).

مساهمة من منظور قادر (جامعة الأمم المتحدة- الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة).

الفصل الحادي عشر

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ: عايدة كارازانوفا ودونوفان ستوري
بمساهمات من جاياكومار راماسامي (مكتب اليونسكو في بانكوك)، رام تيواري وستيفانوس فوتيو

آسيا والمحيط الهادئ

اجتماع يقوده المجتمع المحلي بشأن الصرف الصحي في جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية

يصف هذا الفصل كيف يتم الاعتراف بصورة متزايدة بالمياه العادمة كمورد محتمل لمختلف القطاعات في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، مع فوائد مشتركة تتراوح ما بين القدرة على التكيّف مع تغيّر المناخ وبين استعادة المنتجات الثانوية.

1-11 السياق والتحديات

تشهد منطقة آسيا والمحيط الهادئ منافسة متنامية عبر القطاعات الرئيسية على موارد المياه العذبة المحدودة، في حين يطلَق ما يتراوح بين 80 و90 في المائة من كل المياه العادمة المنتَجة في المنطقة دون معالجة، ما يؤدي إلى تلوث موارد المياه الجوفية والمياه السطحية، وكذلك النظم الإيكولوجية الساحلية (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2010) (انظر الجدول 11-1). وبغية تلبية الطلب المستقبلي على المياه في المنطقة والحد من التلوث، يجب استخدام المياه بكفاءة أكبر وتحسين إنتاج المياه العادمة وتصريفها باللجوء إلى حلول مبتكرة على الصعيد التقني وفي مجال الإدارة.

وقد تضاعف عدد سكان الحضر في المنطقة في الفترة الممتدة من عام 1950 إلى عام 2000 (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية، 2015)، مما زاد الطلب إلى حدّ كبير على نظم جديدة ومحسَّنة لمعالجة المياه العادمة. وهناك تحدٍّ آخر بشأن إدارة المياه العادمة في المناطق الحضرية يتعلق بأوجه التفاوت الاجتماعي الاقتصادي. فعادة ما تكون الأحياء الفقيرة قليلة الخدمات (انظر القسم 5-3)، في حين تتمتع الأحياء الأكثر ثراء عموماً بإمكانية أفضل للانتفاع بالبنية التحتية والخدمات الخاصة بإدارة المياه العادمة. واعتباراً من عام 2009، كان 30% من سكان الحضر في المنطقة يعيشون في أحياء فقيرة، وما زال أكثر من نصف سكان المناطق الريفية يفتقرون إلى إمكانية الانتفاع بخدمات الصرف الصحي المحسَّنة مقارنة بـ25% من سكان الحضر (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2014).

ومن أجل سد الثغرات القائمة بين الطلب على المياه والإمدادات المتاحة، تحتاج المنطقة إلى توسيع أطر السياسات المتكاملة وتنفيذها (بما في ذلك من خلال المشاورات العامة) التي تيسر الاقتصادات الدائرية ومبادرات النمو الأخضر. وقد اعتمدت الصين واليابان وجمهورية كوريا تكنولوجيات لتحسين كفاءة استخدام المياه. وفي هذه البلدان، أصبحت إدارة المياه العادمة وإعادة استخدام المياه جزءاً لا يتجزأ من دورة إدارة المياه، بما فيها من خلال حزم التحفيز الاقتصادي لمنع تصريف المياه العادمة والتلوث.

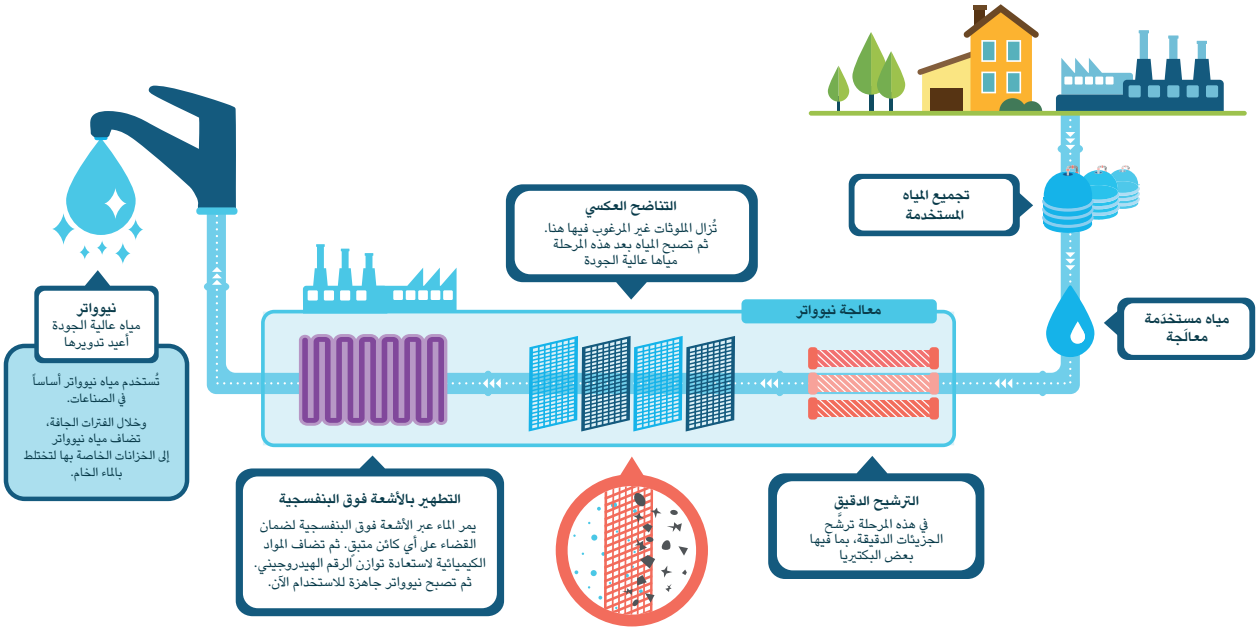
وترافق هذه الممارسات أيضاً سياسات مالية مواتية تساعد على إنشاء أسواق للمنتجات الثانوية للمياه المستعملة (بما فيها تلك المرتبطة بدراسات حالة الصرف الصحي الإيكولوجي [EcoSan] في الهند ونيبال)، التي بدورها يمكن أن تؤثر إيجابياً على الانتفاع بخدمات الصرف الصحي (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2013). وتتمتع خطة نيوواتر في سنغافورة (انظر الشكل 11-1) بمجموعة سياسات مبتكرة مواتية لإدارة المياه، تتكيف مع الظروف الجغرافية والاجتماعية والسياسية والاقتصادية الخاصة بالبلد (انظر الإطار 16-9).

وهناك تحول متنامٍ من النظر إلى المياه العادمة باعتبارها «منتجاً جانبياً كريهاً» لدورة المياه البشرية إلى الاعتراف بإمكانياتها كمورد لقطاعات مختلفة. ومع ذلك، لا تزال معظم المياه العادمة خالية من أي معالجة (انظر الجدول 11-1). فعلى سبيل المثال، قدِّرت المياه العادمة المنصرفة من غير معالَجة بنسبة 77% في تايلاند (2012)، و82% في باكستان (2011)، و84% في أرمينيا (2011)، و81% في فيتنام (2012) (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2015 (أ)). ومن شأن تحسين كفاءة إدارة المياه العادمة الإسهام في تحقيق خطة التنمية المستدامة لعام 2030 في المنطقة.

2-11 بناء البنية التحتية المرنة

تتزايد الكوارث الطبيعية من حيث تواترها وشدتها بسبب تغير المناخ، حيث إن 90% من هذه الكوارث ذات صلة بالمياه (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2015 (ب)). ويتعين إيلاء مزيد من الاهتمام لتحسين قدرة البنية التحتية للمياه العادمة على الصمود، مثل المصارف والأنابيب، وكذلك قدرة نظم الصرف التي يمكن أن تسحب مياه الصرف السطحي أثناء الفيضانات والعواصف. فأثناء الفيضانات، التي تسببت في أضرار تقدر بنحو 61 مليار دولار أمريكي في المنطقة في عام 2011 (مصرف التنمية الآسيوي، 2013)، غالباً ما تختلط مياه المجارير مع مياه الأمطار الملوثة بالفعل، مما يؤدي إلى أزمة في الصرف الصحي وزيادة مخاطر الأمراض المنقولة بواسطة المياه. وحيثما يكون الصرف السطحي في المناطق الحضرية مصدراً رئيسياً للفيضانات والتلوث، كما هو الحال في معظم المدن في جميع أنحاء المنطقة، تبرز حاجة ماسّة إلى تخطيط جديد ومبتكر للمدن، بما فيها تخطيط بنية تحتية للمياه مقاوِمة للمناخ، يمكن أن تعتمد على النظم اللامركزية في حصاد وتجميع المياه بشكل مناسب (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2015 (أ)) (انظر القسم 15-5).

الشكل 11-1 المخطط الفني العام لنيوواتر في سنغافورة



المصدر: وكالة المياه الوطنية في سنغافورة (PUB).

الجدول 11-1 البلدان ذات المستوى الأدنى من معالجة المياه العادمة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ

البلد	المياه العادمة المعالَجة (%)	البلد	المياه العادمة المعالَجة (%)
فيتنام	19	فانواتو	0
بنغلاديش	17	توفالو	0
بابوا غينيا الجديدة	15*	تيمور – ليشتي	0
طاجيكستان	12	نيوي	0
نيبال	12	ناورو	0
ميانمار	10*	جزر مارشال	0
بوتان	10*	المالديف	0
كمبوديا	9	كيريباتي	0
جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية	6	جزر كوك	0
ساموا	5*	أفغانستان	0

* أرقام تقديرية.

ملاحظة: تعتمد نسبة المياه العادمة المعالَجة إلى حد كبير في هذه البلدان على ظروف المدن الأكبر/الكبرى، حيث تكون النسبة أعلى عموماً، ونادراً ما تكون مؤشراً موثوقاً عن الظروف الحاصلة في المراكز الحضرية الأصغر في المدن والمناطق الريفية، التي غالباً ما يُفتقر فيها إلى البيانات.

المصدر: مقتبس من مصرف التنمية الآسيوي (2013، التذييل 4، ص 100).

وهناك إمكانيات كبيرة للمجتمعات المحلية لإدماج البنية التحتية المخفِّفة للمخاطر في مشاريع البناء الجديدة والقائمة من أجل التصدي لهذه القضايا. ويمكن أن تشمل البنية التحتية المخفِّفة للمخاطر، من بين أمور أخرى: السطوح الخضراء، مثل هونغ كونغ، الصين (Urbis Limited, 2007)، والمناطق الخضراء الحضرية المستعادة، والأراضي الرطبة وبِرَك ترسيب النفايات في مدينة كلكُتّا (وهي أرض رطبة طبيعية جزئياً ومهندَّسة جزئياً بالفعل البشري)؛ والمباني ذات الكفاءة في استخدام المياه في جمهورية كوريا؛ والزراعة العمودية، التي تنتج كميات كبيرة من النباتات والخضراوات داخل مبان متعددة الطوابق في أستراليا والصين واليابان ونيوزيلندا (Despommier, 2011)؛ ونظم تجميع مياه الأمطار في كيريباتي؛ وأحزمة المنغروف في سري لانكا وتايلاند ودول المحيط الهادئ الجزُرية. ووفقاً لدراسة واحدة، يمكن أن تحتفظ السطوح الخضراء بنسبة 60–100% من مياه الأمطار التي تسقط عليها، اعتماداً على عمق الركيزة وكمية وشدة هطول الأمطار الساقطة (Thomson et al., 1998).

11-3 نهج نظم استرداد المنتجات الثانوية للمياه العادمة

المنتجات الثانوية الناتجة عن المياه العادمة المنزلية، مثل الملح والنيتروجين والفوسفور، ذات قيمة اقتصادية محتملة يمكن استخدامها لتحسين سبل العيش في المنطقة. ففي غياب بنية تحتية مركزية، يمكن للأسر التي تشرف على مرافق الصرف الصحي الخاصة بها أن تنتج طاقة مستقلة عن طريق استخدام نفاياتها الخاصة، ما يقلل من نفقات الوقود وكذلك المخاطر الصحية والآثار البيئية. كما أن تجميع الفوسفور من البول باستخدام مراحيض تحويل البول، كما هو الحال في أستراليا والصين واليابان، يقلِّل أيضاً من عبء العناصر المغذية للمياه العادمة السائلة، وله إمكانات كبيرة في رفع المستوى في المنطقة (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية/المعهد الآسيوي للتكنولوجيا، 2015). ويمكن استخدام الكتلة الحيوية (مخلفات التعفين) على نطاق أوسع كسماد في الزراعة، كما هو الحال تاريخياً في بلدان آسيا الوسطى، أو يمكن تحويلها إلى وقود لأغراض الطهي أو التدفئة بمفاعلات الغاز الحيوي، كما هو الحال في حالات في أرياف كمبوديا والصين وتايلاند وفيتنام والمحيط الهادئ (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية/المعهد الآسيوي للتكنولوجيا، 2015)، ما يقلل من تلوث المياه (Schuster –Wallace et al., 2015).

وأظهرت التحليلات التي أجريت على دراسات الحالة في جنوب شرق آسيا أن الإيرادات من المنتجات الثانوية للمياه العادمة، مثل الأسمدة، أعلى بكثير من التكاليف التشغيلية لنظم المياه العادمة التي تجمِّع المنتجات الثانوية، مما يبرهن على أن استرداد الموارد من المياه العادمة هو نموذج أعمال قابل للنجاح ومُربِح للممارسات المستدامة والتنمية الاقتصادية (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية/المعهد الآسيوي للتكنولوجيا، 2015).

> اعتباراً من عام 2009، كان 30% من سكان الحضر في المنطقة يعيشون في أحياء فقيرة، وما زال أكثر من نصف سكان المناطق الريفية يفتقرون إلى إمكانية الانتفاع بخدمات الصرف الصحي المحسَّنة مقارنة بـ 25% من سكان الحضر

11-4 الاحتياجات التنظيمية والقدرات

يمكن للوائح التي تستهدف التلوث من مصدر ثابت (أي الملوثات الصناعية) في المدن أن تساعد في الحد من الآثار الضارة للمياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية في منطقة آسيا والمحيط الهادئ. وكثيراً ما تعتمد المدن على مرافق مركزية لمعالجة المياه العادمة، وهي ذات تكاليف باهظة في تطويرها وصيانتها، وكثيراً ما لا تستطيع تلبية الاحتياجات الفورية للسكان في المناطق الحضرية، ولا سيّما الفقراء. وفي هذا الصدد، يجري استخدام نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة، أو ما يشار إليه اختصاراً بـ DEWATS (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية/المعهد الآسيوي للتكنولوجيا، 2015)، على نحو متنامٍ في المناطق الريفية والحضرية على حد سواء، محققة عدداً من الفوائد (انظر القسم 15–4).

وتتطلب إدارة المياه العادمة على نحو أكثر فعالية وكفاءة في المنطقة دعم المؤسسات، بما فيها الدعم الأكبر الذي تقدِّمه السلطات المحلية (التحالف العالمي لشراكات الجهات المشغلة لمرافق المياه/برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية/المجلس الدولي للمبادرات البيئية المحلية/تحالف التكيف العالمي للمياه/منظمة المدن والحكومات المحلية المتحدة/المجلس العالمي للمياه/معهد دايجو جيونجبوك للتنمية، 2015). وكثيراً ما تفتقر البلديات والحكومات المحلية إلى الموارد البشرية والمالية اللازمة لتنفيذ اللوائح البيئية وتحسين وصيانة البنية التحتية للمياه وخدمات المياه. ونتيجة لذلك، فإن مشاكل الصيانة متكررة وواسعة النطاق، وتتفاقم بسبب أوجه القصور التي تعتري التمويل وتحصيل الإيرادات (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ، 2015 (أ)). ولا بد من بذل مزيد من الجهود في جميع أنحاء المنطقة لدعم الحكومات البلدية والمحلية في إدارة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية والاستفادة من فوائد مواردها بغية تحقيق أهداف التنمية المستدامة، ولا سيّما الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة بشأن المياه والصرف الصحي وهدف التنمية المستدامة 11 بشأن المدن الشاملة والمستدامة.

الفصل الثاني عشر

لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا: أنوكا ليبونين

بمساهمات من: فريق المياه التابع لفرقة العمل المعنية ببرنامج العمل الأخضر؛ منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي؛ ووكالة البيئة الأوروبية

أوروبا وأمريكا الشمالية

مسح مجاري الصرف الصحي عام 2000 – كلوكا ماكسيما في روما (إيطاليا)

يتناول هذا الفصل سبل مواجهة تحديات إدارة المياه العادمة في أوروبا وأمريكا الشمالية، مع التركيز بشكل خاص على الصكوك القانونية الإقليمية.

ويسلّط هذا الفصل الضوء على بعض التطورات الوثيقة الصلة بالموضوع في منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (التي تغطي الاتحاد الأوروبي والبلقان وأوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى وأمريكا الشمالية) المتعلقة بالمياه العادمة، ولا يصف التحديات فحسب بل أيضاً بعض التدابير الواعدة. وتواجه المناطق دون الإقليمية تحديات مختلفة نوعاً ما (انظر الجدول 12-1).

12-1 السياق

بصفة عامة، فإن مستوى الانتفاع بخدمات الصرف الصحي مرتفع نسبياً في المنطقة، بما يشمل القوقاز وآسيا الوسطى اللتين حققتا الهدف الإنمائي للألفية الخاص بتحسين الصرف الصحي، إذ بلغت نسبة الانتفاع بمرافق الصرف الصحي المحسَّنة 95% (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015). غير أن تطوير خدمات الصرف الصحي ومعالجة المياه العادمة عملية متفاوتة في جميع أنحاء المنطقة، كما يتضح في حوض الدانوب (Michaud et al., 2015).

وقد تحسنت معالجة المياه العادمة في المنطقة خلال ال 15 إلى 20 سنة الماضية. ويبين الشكل 12-1 النسبة المئوية للسكان المرتبطين بجمع المياه العادمة ومعالجتها في مناطق دون إقليمية مختارة من أوروبا. وقد ازدادت المعالَجة الثالثة تدريجياً، لكن لا تزال كميات كبيرة من المياه العادمة تُجمع وتُصرف دون معالجة في بلدان جنوب شرق أوروبا وبقية أوروبا الشرقية.

12-2 التحديات

تغطي أجزاء كبيرة من منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (UNECE) نظم الإمداد بالمياه وخدمات الصرف الصحي، ولكن التغيرات الديمغرافية والاقتصادية جعلت فعالية بعض النظم المركزية الأكبر حجماً دون المستوى الأمثل، كما يتجلى ذلك في العديد من النظم المتسمة بالتضخم وسوء التكيّف في أجزاء من الاتحاد السوفياتي السابق. ويعتبر انخفاض كفاءة نظم المياه، التي تتسم بالاستخدام المرتفع للموارد وعدم وجود حوافز لاستخدام المياه بكفاءة، قضية رئيسية في أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى (منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2014)، حيث تحوّل أحجاماً كبيرة من المياه الواردة إلى مياه عادمة، وحيث لا يوجد في أغلب الأحيان سوى معالجة أولى. وعادة ما تكون رسوم إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي أقل من تغطية تكاليف تشغيل وصيانة الخدمات (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2011(أ)). وهذا يطرح تحديات كبيرة أمام تلبية احتياجات الاستثمار في البنية التحتية ويخفض الحوافز لمستويات الاستخدام المعقولة، ويثير مخاوف بشأن الاستدامة (انظر الإطار 12-1).

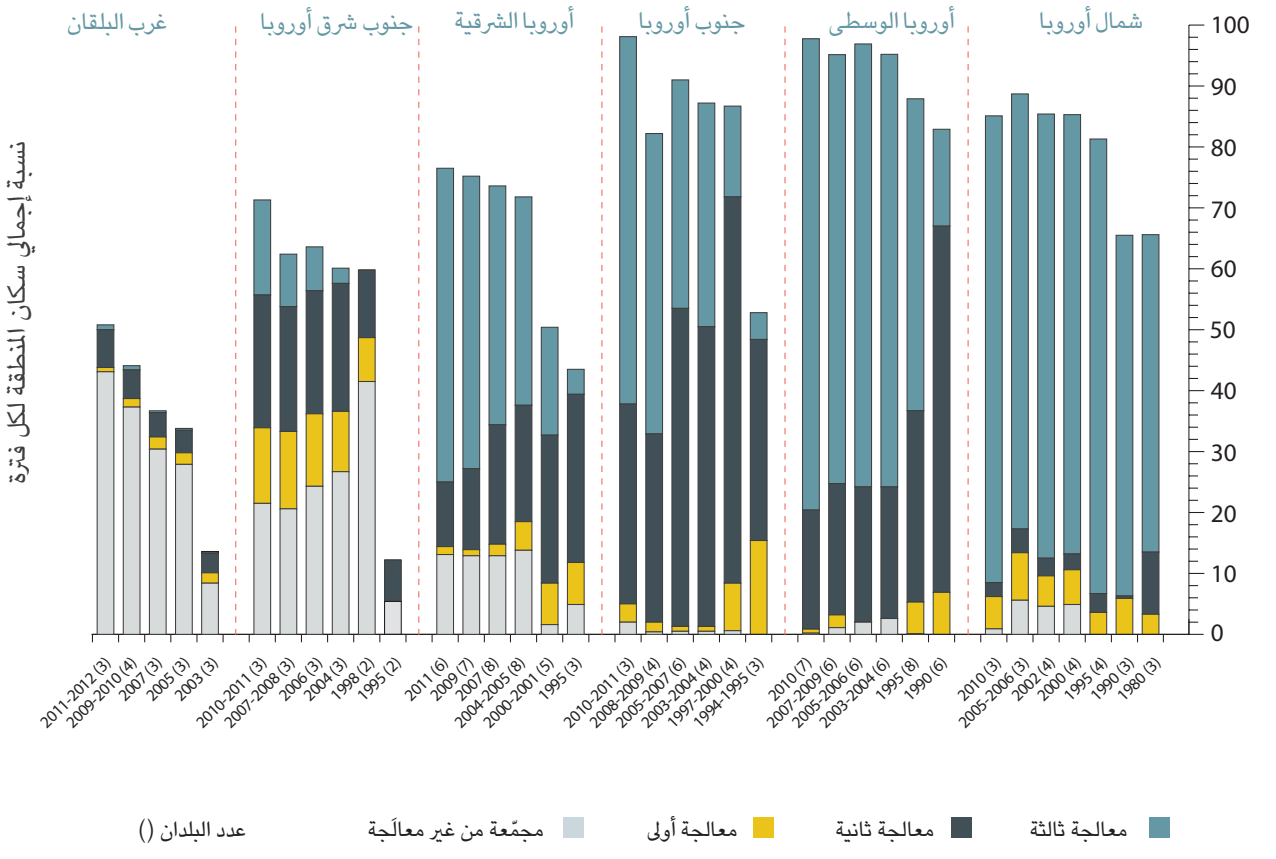
ونظراً للتغيرات الديمغرافية والاقتصادية، فإن التطلعات السياسية الأوسع لكفاءة استخدام الموارد (الوكالة الأوروبية للبيئة، 2016) والمعارف الجديدة بشأن المخاطر والاعتبارات المتعلقة بالإنصاف (مثل المناطق الحضرية مقابل المناطق الريفية، والأقليات، وغير ذلك) (منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة الصحة العالمية، 2013)، أصبح من الواضح أن البنية التحتية للصرف الصحي والمياه العادمة في المنطقة بحاجة إلى إعادة نظر من أجل ضمان كفاية الخدمة فضلاً عن المستوى المناسب ووسائل المعالجة. كما أصبحت الحاجة إلى إعادة استخدام المياه أكثر وضوحاً، وخاصة في المناطق المعرَّضة لندرة المياه. وتزداد الاستثمارات في تكنولوجيات المعالَجة والتحكم في كل من الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي (انظر الإطار 12-2).

وبما أن الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة المعالَجة كثيراً ما يحدث في اتجاه المصب من مواقع التصريف، فإن أداء وكفاية النظم التقليدية لمعالجة المياه العادمة قد خضع للتدقيق في منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا. وقد اعترِف بالمخاطر الجديدة المتعلقة بالملوثات الناشئة (انظر الإطار 4-1)، بما فيها الملوثات الدقيقة، منذ أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين (Bolong et al., 2009). ومن أبرز هذه العوامل اضطرابات الغدد الصماء الكيميائية، التي يمكن أن تحدث آثاراً سلبية على البشر والحيوانات والنظم الإيكولوجية. وقد دعت الدراسات الوطنية إلى إجراء تحليلات أكثر منهجية بشأن حدوثها ونقلها وآثارها، من أجل وضع تقييمات للمخاطر

الجدول 12-1 تحديات مختارة وتدابير إدارية في المناطق دون الإقليمية في منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (غير شاملة)

	أمريكا الشمالية	الاتحاد الأوروبي	جنوب شرق أوروبا وأوروبا الشرقية	القوقاز وآسيا الوسطى
التحدي (التحديات)	ندرة المياه	ضمان الإزالة الفعالة للملوثات الناشئة	الامتثال للمعايير الإقليمية لمعالجة المياه العادمة	معالجة التلوث الناجم عن تصريف المياه العادمة؛ توسيع نطاق تغطية معالجة المياه العادمة
تدابير المواجهة	إعادة استخدام المياه العادمة	أفضل التقنيات / التكنولوجيات المتاحة؛ استخدام الحلول الخضراء (المراعية للبيئة)	التقدم المحرز في الصكوك القانونية الإقليمية	توسيع البنية التحتية وترقيتها إلى مستويات متقدمة من المعالجة

الشكل 12-1 التغيرات الحاصلة في معالجة المياه العادمة في مناطق أوروبا في الفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2012



* UWWTPs = محطات معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية.

ملاحظة:

يوضح هذا الرقم النسبة المئوية لسكان منطقة أوروبا الذين ينتفعون بنظم جمع ومعالجة المياه العادمة (محطات معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية) خلال الفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2012. إضافة إلى ذلك، تم إيضاح التوزيع حسب نوع المعالجة. وتشير الأرقام الواردة بين قوسين إلى عدد البلدان في التجميعات.

المصدر: الوكالة الأوروبية للبيئة (2013، استناداً إلى بيانات المكتب الإحصائي للاتحاد الأوروبي).

الإطار 12-1 إدارة المياه العادمة المنصرفة من البلديات- تطوير البنية التحتية وإعادة ترميمها: الاتجاهات الأخيرة في بلدان أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى

في بلدان أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى، تخدم شبكات جمع المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية حصة كبيرة نسبياً من السكان. وتقلّ كثيراً تغطية هذه الشبكات في المناطق الريفية، لكن بعض البلدان في المنطقة أحرزت تقدماً كبيراً خلال الثمانينيات. فعلى سبيل المثال، قامت مولدوفا ببناء حوالي 650 محطة لمعالجة المياه العادمة في المستوطنات الريفية في هذه الفترة.

وفي التسعينيات، تدهورت العديد من نظم الصرف الصحي في المنطقة بسبب تطبيق اللامركزية في خدمات البنية التحتية الاجتماعية وإسنادها إلى الحكومات المحلية ذات القدرة المالية المنخفضة. ففي أرمينيا، على سبيل المثال، بلغت الميزانية الإجمالية لجميع الحكومات المحلية 2 في المائة فقط من الميزانية الوطنية، في حين أن قرية في مولدوفا كان لديها ميزانية سنوية تعادل 000 10 يورو لتمويل جميع خدمات البنية التحتية من المدارس والطرق إلى إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2011 (أ)؛ 2013 (أ)).

وفي الوقت نفسه، عانت خدمات إمدادات المياه والصرف الصحي في المنطقة أيضاً من ضعف الكفاءة (النظم الضخمة ذات التكاليف المرتفعة للوحدات)؛ وعدم كفاية سياسة التعريفات واللوائح الاقتصادية؛ وعدم وجود نماذج أعمال مستدامة لتشغيل نظم الإمدادات بالمياه وخدمات الصرف الصحي وصيانتها وتمويلها، ولا سيّما في المدن الصغيرة والمناطق الريفية. وقد تفاقمت هذه التحديات التي يواجهها العاملون في قطاع إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي بسبب الانخفاض الشديد في دخل الأسر المعيشية وتزايد الفوارق في الدخل، ما أدى إلى مشاكل في القدرة على تحمل التكاليف بالنسبة لعديد من الأسر المعيشية. وظهرت هذه التحديات بوجه خاص في القرى الصغيرة النائية (أي السكان الذين يقل عددهم عن 500 نسمة) حيث انخفضت دخول الأسر المعيشية بينما كانت تكاليف وحدات خدمات إمدادات المياه الصرف الصحي أعلى مرتين إلى ثلاث مرات ممّا هي عليه في المستوطنات الكبيرة.

غير أنه منذ عام 2000، تحسَّن هذا الاتجاه بشكل كبير في معظم بلدان أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى، على الأقل في المناطق الحضرية (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2011(أ))، بدعم من شركاء التنمية في كثير من الأحيان. وفي الوقت الراهن، تولي بلدان أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى مزيدا من الاهتمام لتحسين الصرف الصحي في المناطق الريفية. وقد ارتبط التقدم في هذه البلدان بتنقيح المعايير التقنية التي عفا عليها الزمن لتعديل قدرة النظم الجديدة لإمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي على تلبية الطلب الفعلي والمتوقع على الخدمات (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2012)، وإدخال نماذج أعمال مستدامة لمشغلي إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي، بما فيها «أقلمة» مرافق المياه البلدية، والمنظمات المجتمعية والمشغلين من القطاع الخاص (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2013(أ)؛ 2016).

ساهم فيه فريق المياه التابع لفرقة العمل المعنية ببرنامج العمل الأخضر، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي.

> أصبح من الواضح أن البنية التحتية للصرف الصحي والمياه العادمة بحاجة إلى إعادة النظر في المنطقة، من أجل ضمان كفاية الخدمة فضلاً عن المستوى المناسب ووسائل المعالجة

على نحو سليم علمياً واتخاذ إجراءات استجابة (Trachsel, 2008 وزارة البنية التحتية والبيئة في هولندا/الوكالة العامة للنفايات في فلاندرز، 2016)

3-12 التدابير المتخذة

ساهمت الصكوك القانونية الإقليمية في تحسين الانتفاع بخدمات الصرف الصحي بشكل عام وخففت من أثر تصريف المياه العادمة، وبالأخص توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية (UWWTD) (انظر الإطار 12-3) وبروتوكول لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة الصحة العالمية بشأن المياه والصحة (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة الصحة العالمية، 2016) (انظر الإطار 12-4). وتنص بعض الصكوك القانونية في المنطقة على التقدم التكنولوجي. كما يتناول مفهوم «أفضل التكنولوجيات المتاحة» (BAT)، كما هو معرف في التشريعات البيئية للاتحاد الأوروبي المتعلقة بالتلوث الصناعي، أساليب الإدارة والآثار البيئية. وفي قطاع المواد الكيميائية، تستخدم أفضل التقنيات المتاحة كجزء من استراتيجية متكاملة لإدارة المياه العادمة، بتطبيق مجموعة من التقنيات تعطي الأولوية لتلك التي تهدف إلى منع توليد ملوثات المياه أو تقليلها واستعادة الملوثات عند المصدر. وفي هذا السياق، تختلف أفضل التكنولوجيات المتاحة عن «أفضل التقنيات المتاحة» التي يستند إليها أطراف اتفاقية حماية واستخدام المجاري المائية العابرة للحدود والبحيرات الدولية (اتفاقية المياه؛ انظر القسم 3-2-1) (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا، 1992، التي دخلت حيز النفاذ في عام 1996) في الالتزام بوضع حدود لتصريف المياه العادمة، وتمثِّل الأخيرة مجموعة من المتطلبات التي لا تأخذ الجوانب التقنية في الاعتبار (فضلاً عن توافرها) فحسب، بل تأخذ في الاعتبار أيضاً القدرة على تحمل التكاليف المالية (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا، 2013).

الإطار 12-2 الاستفادة المثلى من إمكانيات إعادة الاستخدام: مراقبة نوعية المياه العادمة المعالَجة واستكشاف الصرف الصحي الإيكولوجي في أوروبا وأمريكا الشمالية

تنطوي المياه العادمة المعالَجة على إمكانيات كبيرة لزيادة إمدادات المياه، حتى بالنسبة لمياه الشرب، وتعيد الولايات المتحدة استخدام المياه بكميات كبيرة. وتوفر تكنولوجيا التحليل الحديثة والحواجز المتعددة عناصر التحكم الضرورية لضمان إعادة استخدام المياه المأمونة إذ تسمح بالكشف عن الملوثات الكيميائية والبيولوجية (مجلس علوم وتكنولوجيا المياه، 2012). ومن الحالات الرائدة في إعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب في الولايات المتحدة الأمريكية منشأة بيغ سبرينغ في تكساس، التي تستخدم الترشيح الدقيق والتناضح العكسي والتطهير بالأشعة فوق البنفسجية. ويتم خلط المياه العادمة المعالَجة بالماء الخام، ما يخدم حوالي 250000 شخص (Water Online, 2014; Woodall, 2015).

وشكلت ندرة المياه محركاً مهمّاً لإعادة استخدام المياه، ويتوقف مستوى المعالَجة على مواءمة نوعية المياه مع الاستخدام النهائي. وينتج مرفق مياه حوض الغرب خمسة أنواع من المياه «المصممة» لاستخدامات محددة: الري، وأبراج التبريد، وحواجز مياه البحر، وتجديد المياه الجوفية، فضلاً عن نوعين من مياه تغذية المراجل (منطقة مياه بلدية حوض الغرب، بدون تاريخ). وتكون بعض استخدامات المياه عرضة للتأثر بالمياه المستردة التي خضعت لمعالجة محدودة، لا سيّما صيانة المساحات الخضراء (منصة تكنولوجيا إمدادات المياه والصرف الصحي، 2013). وقد لوحظ عدم وجود مبادئ توجيهية للمعالجة القائمة على المخاطر للمياه الرمادية ومياه الأمطار لتقييد الاستخدام الواسع في الولايات المتحدة الأمريكية (أكاديميات العلوم والهندسة والطب، 2015). ومن أجل زيادة إمكانات إعادة استخدام المياه العادمة المنصرفة من الصناعات، تبرز الحاجة إلى البحوث وتطوير التكنولوجيا، وكذلك إلى إظهار التكنولوجيات المتاحة، فضلاً عن توليفات تكنولوجيات المعالَجة البيولوجية والكيميائية الفيزيائية الجديدة والقائمة (منصة تكنولوجيا إمدادات المياه والصرف الصحي، 2013).

ومن حيث المبدأ، فإن فصل البول عند المصدر واستخلاص البراز للأسمدة يمكن أن يوفر فرصاً لكل من الأسر الريفية وروّاد الأعمال الحرة، ويمكن أن يؤدي خفض معالجة المياه العادمة، على سبيل المثال، إلى فوائد توفير الطاقة. وتختلف التفسيرات المتعلقة باستخدام البراز البشري والبول اختلافاً كبيراً، حتى داخل الاتحاد الأوروبي، بدءاً من اتباع نفس المبادئ التوجيهية لسماد الحيوان إلى حظر الممارسة برمتها.

وفي حين قد يُسمح باستخدام السماد من المراحيض الجافة والبول المفصول من المصدر في الحدائق الخاصة، فإنه يُحظر استخدامه عادة في المحاصيل التجارية (O'Neill, 2015). وبفضل الطموحات الرامية إلى إنشاء عمليات إيكولوجية مغلقة، استخدمت مرافق الصرف الصحي الإيكولوجي باستخدام المراحيض السمادية ونظم الأراضي الرطبة المبنية لمعالجة المياه الرمادية في المستوطنات البيئية (مثل أليرموه -إيست هامبورغ، ألمانيا)، ما أدى إلى الحد من المياه والطاقة الواصلة إلى السكان (Von Muench, 2009). إن التحقيق الفعال لإعادة استخدام منتجات الصرف الصحي، والاستخدام الآمن للأسمدة التي تحتوي عليها يتطلب أن تتيح التشريعات والسياسات إطاراً داعماً، وأن يتم التحكم في المخاطر الصحية ذات الصلة، وأن تُحل القضايا اللوجستية ذات الصلة (أي جمع البول، الذي سيتحول لاحقاً إلى شكل صلب)، وأن يتحقق التقبل الثقافي (O'Neill, 2015)[9].

9 يود المؤلف الإعراب عن شكره وتقديره للمدخلات الواردة من: (Sharon Megdal and Susanna Eden) (مركز بحوث الموارد المائية، جامعة أريزونا) بشأن استخدام المياه العادمة؛ و(Sari Huuhtanen) (الرابطة العالمية للمراحيض الجافة، فنلندا) بشأن الصرف الصحي الإيكولوجي.

الإطار 12-3 توجيه الاتحاد الأوربي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية

إن توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية (1991)، الذي تكمِّله صكوك الاتحاد الأوروبي الأخرى لمكافحة التلوث وحماية البيئة، هو أداة قانونية رئيسية ساهمت في التقدم المحْرَز الذي يظهر في الشكل 1.12.

ويتناول توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية، الذي اعتمد في عام 1991، جمع المياه العادمة في المناطق الحضرية وتصريفها ومعالجتها. ويتمثل هدفه الرئيسي في حماية المياه السطحية من الآثار الضارة لتصريف المياه العادمة. ويتحقق ذلك من خلال اشتراط جمع ومعالجة المياه العادمة في جميع المستوطنات (التكتلات) التي يعادل المكافئ السكاني[10] لها أو يزيد عن 2000 شخص. وينص توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية على المعالَجة البيولوجية للمياه العادمة (المعالَجة الثانية) في التجمعات التي تزيد عن 10000 مكافئ سكاني أو حتى أقل. وفي مستجمعات المياه ذات المياه الحساسة بشكل خاص (التي تغطي حوالي 75% من أراضي الاتحاد الأوروبي)، مثل تلك التي تعاني من الإغناء بالعناصر المغذية، قد تبرز الحاجة إلى معالجة ثالثة للمياه العادمة. وقد وضع توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية جدولاً زمنياً للتنفيذ التدريجي يتطلب امتثال النظم أولاً في أكبر التكتلات (والتي يحتمل أن يكون لها أكبر تأثير).

واستناداً إلى مجموعات البيانات التي قدمتها 28 دولة عضواً في الاتحاد الأوروبي، تغطي أكثر من 19000 تجمعاً تتجاوز 2000 مكافئ سكاني وتولِّد تلوثاً يقابل 495 مليون مكافئ سكاني، قيَّمت المفوضية الأوروبية معدل الامتثال الإجمالي عند 88%. ومن المتوقع أن يُستثمَر 22 مليار يورو إضافية، الأمر الذي سيسمح للدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي بالتنفيذ الكامل لتوجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية. وإضافة إلى هذا الاستثمار، تتمثل إحدى التحديات الرئيسية للتنفيذ في التخطيط طويل الأجل (EC, 2016b). وحيثما يتم تطبيق نظام توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية تطبيقاً جيداً وتُستخدَم نظم الصرف الصحي المجمَّعة، يمكن أن يصبح الفائض من مياه الأمطار أكثر أهمية كمصدر لانتشار التلوث. ولذلك، فإن الحدّ من هذا الفائض يبدو أساسياً لتحسين معدلات الامتثال (Milieu, 2016). ومع أن الامتثال يمثِّل تحدياً، ولا سيّما بالنسبة للبلدان المنضمة مؤخراً، إلا أنه يمثِّل أيضاً فرصة للتحسين (Michaud et al., 2015).

ساهمت فيه الوكالة الأوروبية للبيئة.

10 المكافئ السكاني (Population equivalent، ويشار إليه اختصاراً p.e.) هو وحدة تُستخدم لقياس كمية التلوث وفقاً لتوجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية. ويتوافق واحد مكافئ سكاني مع العبء العضوي الذي يحتوي على خمسة أيام من الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي (BOD5) من 60 غراماً من الأكسجين يومياً (Umweltbundesamt GmbH, 2015).

الإطار 12-4 وضع الأهداف الوطنية بموجب بروتوكول لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا ومنظمة الصحة العالمية/بروتوكول أوروبا بشأن المياه والصحة: مواجهة تحديات المياه العادمة

بروتوكول المياه والصحة في اتفاقية المياه التابعة للجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا هو صك ملزم قانوناً يتطلب من الأطراف وضع أهداف وطنية ومحلية تغطي دورة المياه بأكملها، بما فيها الصرف الصحي. والهدف من ذلك هو حماية صحة الإنسان ورفاهه من خلال تحسين إدارة المياه، بما فيها حماية النظم الإيكولوجية للمياه، وكذلك من خلال منع الأمراض المتصلة بالمياه ومكافحتها والحد منها. ويهدف برنامج العمل المقبل للبروتوكول للفترة 2017-2019 إلى تعزيز قدرات البلدان وتوسيع نطاق منهجيات الإدارة القائمة على المخاطر في مجال إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي. ويتيح نهج التخطيط والمساءلة الشامل لعدة قطاعات للبروتوكول إطاراً عملياً لترجمته إلى أهداف وطنية محددة من أجل تحقيق الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، ولا سيما الغاية 6-3 الخاصة بخفض نسبة المياه العادمة غير المعالَجة إلى النصف وزيادة إعادة تدوير المياه بشكل كبير وإعادة استخدامها بشكل آمن.

المصادر: UNECE/WHO (2016) – لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا/منظمة الصحة العالمية (2016).

ساهمت فيه (Nataliya Nikiforova – ناتاليا نيكيفوروفا) (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا) و(Oliver Schmoll) (المكتب الإقليمي لأوروبا التابع لمنظمة الصحة العالمية).

الفصل الثالث عشر

لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأمريكا اللاتينية والكاريبي: أندريه جورافليف

بمساهمات من: كاريداد كاناليس (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لآسيا والمحيط الهادئ)؛ إدواردو أنطونيو ريوس - فيلاميزار، إميليو لينتيني، غوستافو فيرو، إيفانيلدو هيسبانهول، خايمي لوسا، خوليو سويروس، وميغيل دوريا (مكتب اليونسكو في مونتيفيديو)؛ وميغيل سولانيس، وشريا كومرا (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأمريكا اللاتينية والكاريبي)

أمريكا اللاتينية والكاريبي

أحد زعماء السكان الأصليين يتفقد نهراً ملوثاً في غابة محطيرة بالأمازون

يصف هذا الفصل التحديات المتعلقة بالتوسع الأخير في إدارة المياه العادمة في المدن السريعة النمو في أمريكا اللاتينية والكاريبي، مع إبراز فوائد معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية والدروس المستخلصة من العملية.

أمريكا اللاتينية والكاريبي هي منطقة رطبة ذات موارد مائية وفيرة، على الرغم من أنها تحتوي على بعض المناطق القاحلة جداً. وتعدّ الزراعة أكبر مستخدم للمياه فيها، إذ تمثل أكثر من 70% من عمليات السحب، في حين تمثل الإمدادات المنزلية والصناعة 17% و13% على التوالي (النظام العالمي للمعلومات بشأن المياه والزراعة). وتعتمد المنطقة اعتماداً كبيراً على الطاقة الكهرومائية، التي توفر أكثر من 60% من الكهرباء في المنطقة، ولا تزال لديها قدرات فنية كبيرة (74%) غير متطورة (الوكالة الدولية للطاقة، 2014). وإذ يعيش 80% من السكان في المناطق الحضرية، فهي تمثل إحدى أكثر المناطق تحضراً في العالم، وتشير التقديرات أن هذه الظاهرة ستستمر وأن 86% من سكانها سيعيشون في المدن بحلول عام 2050 (إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة، 2014). وفي الوقت الراهن، هناك أربع مدن ضخمة في المنطقة، تضم كل منها أكثر من 10 ملايين نسمة، ومن المتوقع أن تنضم اثنتان أخريان إلى هذه القائمة بحلول عام 2030.

13-1 تحدي المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية

في هذه المنطقة، يتزايد تصريف المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية بسبب: (1) النمو السكاني (ارتفع عدد سكان الحضر من 314 مليون نسمة في عام 1990 إلى ما يقرب من 496 مليون نسمة اليوم، ومن المتوقع أن يصل العدد إلى 674 مليون نسمة في عام 2050) (إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة، 2014)؛ (2) التوسّع في خدمات إمدادات المياه والصرف الصحي. ففي عام 2015، كان 88% من سكان الحضر قادرين على الانتفاع بمرافق الصرف الصحي المحسَّنة (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015)، ويُحتمل أن أقل من 60% من هذه المرافق كان متصلاً بنظم الصرف الصحي (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2000). ونظراً لعدم وجود توسّع موازٍ في معالجة المياه العادمة في معظم أنحاء المنطقة، فإن مياه المجارير في المناطق الحضرية تمثّل مصدر قلق رئيسي للحكومات.

ويعتمد السكان الذي لا يتمتعون بنظم للصرف الصحي غالباً على نظم الصرف في الموقع مثل مراحيض الحُفر وخزانات الصرف الصحي. وفي هذه النظم، تُزال المياه العادمة عن طريق الصرف السطحي المباشر أو الترشيح في المجاري المائية القريبة ومستودعات المياه الجوفية، ما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تلوث المياه. وبوجه عام، تمثل نظم الصرف الصحي في المناطق الحضرية تحدياً أكبر، لأن التجميع عبر الأنابيب واعتراضها يركّز مياه المجارير في عدد محدود من نقاط التخلص (Idelovitch and Ringskog, 1997). ويمثل تلوث المياه الجوفية مصدر قلق مشترك في حالة نظم الصرف في الموقع، التي لا تزال شائعة حتى في المدن الكبيرة.

وطيلة عقود عديدة، ظلت تغطية شبكة معالجة مياه المجارير متدنية جداً (منظمة الصحة للبلدان الأمريكية، 1990). وكانت الأسباب الرئيسية لهذا الوضع هي الحاجة إلى إعطاء الأولوية لتوسيع خدمات الإمداد بالمياه والمرافق الصحية، فضلاً عن القيود التي تفرضها التكلفة المرتفعة لمعالجة المياه العادمة. ومثّل هذا الأمر تحدياً خاصاً في سياق الميزانيات الحكومية المحدودة، وأسعار المياه التي لا تغطي تكلفة تقديم الخدمات، والتراخي في إنفاذ اللوائح القائمة، وارتفاع مستويات الفقر وعدم المساواة، والحاجة إلى تلبية الاحتياجات الاجتماعية الملحة الأخرى.

ونتيجة لذلك، يتم تصريف جميع المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية تقريباً، بما فيها جميع النفايات الصناعية الأكثر سُمِّية، إلى أقرب المسطحات المائية دون أي معالجة. وبات كثير من الأنهار والبحيرات والمياه الساحلية، ولا سيّما تلك التي تنتهي عند المدن الكبيرة، ملوثة ولا تزال شديدة التلوث. وترتّب على ذلك عواقب وخيمة ليس فقط على البيئة، بل أيضاً على صحة السكان ورفاههم وعلى التنمية الاجتماعية الاقتصادية الشاملة للمنطقة، وخاصة في حالة الصناعات الزراعية والسياحية (انظر الإطار 13-1).

وتوجد مشكلة حرجة وواسعة الانتشار تتمثل في استخدام المياه الملوثة – ومعظمها مياه نهرية ذات مستويات غير مقبولة من التلوث، وكذلك مياه المجارير الخام، وفي بعض الحالات مياه عادمة معالَجة – للري بالقرب من المدن الكبيرة (أي الزراعة شبه الحضرية) والمناطق القاحلة وشبه القاحلة. ويمارس هذا في الغالب صغار المزارعين الذين يزرعون الفواكه والخضار لبيعها في الأسواق المحلية. والدافع الرئيسي وراء الري بالمياه العادمة هو التنافس الشديد على المياه في أحواض الأنهار التي يوجد بها مدن كبيرة. ثم إن المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية تمثّل مصدراً مائياً موثوقاً ومنخفض التكلفة وغنياً بالعناصر المغذية التي توفّر زخماً إضافياً. غير أن الجانب السلبي هو أن المعايير الصحية نادراً ما تُحترم، ويرجع ذلك جزئياً إلى ضعف نظم الرصد والمراقبة، وغيابها في بعض الحالات. ومع ذلك، فهناك حالات ناجحة لإعادة استخدام المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية المعالَجة لأغراض الري، على سبيل المثال في الأرجنتين، وبوليفيا، وشيلي، والمكسيك، وبيرو.

الإطار 13-1 نتائج تصريف المياه العادمة غير المعالَجة المنصرفة من المناطق الحضرية: انتشار وباء الكوليرا عام 1991

كان وباء الكوليرا في عام 1991 من أشد حالات الوباء في بيرو، إذ سجَّل ما مجموعه 323 000 حالة تقريباً و2900 حالة وفاة في ذلك العام. وإلى جانب بيرو، تأثرت بلدان أخرى كثيرة، مسجِّلة ما مجموعه 391 000 حالة و4000 حالة وفاة في المنطقة.

وقد أدى فقدان الدخل من السياحة والقيود المفروضة على المنتجات الغذائية إلى خسائر اقتصادية كبيرة للبلدان المتضررة. وفي بيرو وحدها، تجاوزت الخسائر في صادرات المنتجات السمكية 700 مليون دولار أمريكي. وأدى الوباء أيضاً إلى عملية إعادة هيكلة في ضوء المتطلبات الصحية الأكثر صرامة التي فرضتها البلدان المستوردة والزيادة في تكاليف المصدرين.

وقد أدى هذا الحادث في كثير من البلدان إلى إعطاء أولوية كبرى لقطاع إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي. وعلى وجه الخصوص، كانت الحاجة إلى حماية الوصول إلى الأسواق الخارجية أحد العوامل التي دفعت حكومة شيلي إلى الشروع في برنامج استثماري طموح بلغ ذروته في المعالجة الشاملة للمياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية.

المصدر: Jouravlev (2004)

2-13 التوسع الأخير في معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية

بدأ الوضع يتغير على مدى العقدين الماضيين، مع تنامي الاهتمام ليس فقط بإمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي، بل أيضاً بتطوير مرافق معالجة المياه العادمة. وأسباب هذا التغيير هي: (1) ارتفاع مستويات تغطية شبكة المياه والصرف الصحي التي تحققت كجزء من عملية الأهداف الإنمائية للألفية (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015)؛ (2) تحسُّن الوضع المالي لكثير من مقدمي الخدمات، ولا سيّما في المدن الكبيرة التي حققت في السنوات الأخيرة تقدماً هاماً نحو استرداد التكاليف (Ferro and Lentini, 2013)؛ (3) النمو الاجتماعي والاقتصادي القوي في المنطقة في العقد الأول من هذا القرن، الذي انتشل عدداً كبيراً من الناس من براثن الفقر وأدى إلى ظهور طبقة وسطى. ومن العوامل الأخرى المساهمة في ذلك إدماج الاقتصادات الإقليمية في الأسواق العالمية. إن التوسع في معالجة المياه العادمة مهم جداً في هذا الصدد، حيث إن المشاكل الصحية والبيئية العامة المرتبطة بتلوث المياه يمكن أن تؤدي إلى فقدان جهود تُبذل لسنوات عديدة لتطوير أسواق التصدير (انظر الإطار 1) (Jouravlev, 2004).

وفي بعض الحالات، انطلقت أيضاً برامج هامة لإدارة المياه العادمة نتيجة للاحتجاجات العامة وقرارات المحاكم. والمثال الأبرز هو حالة حوض ماتانزا – رياتشويلو في الأرجنتين حيث حُكم على السلطات – من خلال عملية تقاضٍ بشأن المصلحة العامة – بتنظيف النهر، وبعدها شرعت في خطة شاملة للانتعاش البيئي لحوض النهر (Rossi, 2009).

وقد تضاعفت تقريباً تغطية معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية منذ أواخر التسعينيات، ويُقدَّر حالياً أنها وصلت إلى 20% (Sato et al., 2013) و30% وفقاً لتقديرات (Ballestero et al., 2015) من المياه العادمة التي تُجمع في نظم الصرف الصحي الحضرية. إن التكنولوجيات الرئيسية المستخدمة (التي تمثل حوالي 80% من حيث عدد المرافق والمياه المتدفقة المعالَجة) هي عبارة عن برك الترسيب، والحمأة المنشطة، ومفاعلات بطانية الحمأة اللاهوائية ذات التدفقات المتصاعدة (Noyola et al., 2012).

3-13 الشواغل المستمرة والفرص المتنامية

وعلى العموم، شهدت المنطقة في معظمها مشاريع معزولة لمعالجة المياه العادمة، وهي استجابة للمشاكل الاجتماعية والبيئية المحلية، بدلاً من البرامج المتكاملة المستدامة على نطاق البلد. وعلاوة على ذلك، فإن العديد من محطات معالجة المياه العادمة، ولا سيّما في المجتمعات الصغيرة، تعاني من سوء التشغيل والصيانة، وفي بعض الأحيان يتم التخلي عنها في نهاية المطاف بسبب نقص القدرات الفنية والمالية لدى الحكومات المحلية ومقدِّمي الخدمات. ومعظم هذه المرافق صغير ولا يمكنه الاستفادة من وفورات الحجم، وهو ما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف وتزايد احتمالية عدم التوافق مع معايير التصريف (Noyola et al., 2012). ولا تزال المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية تمثِّل إلى حد كبير نفايات وتؤدي إلى تكاليف إضافية، بدلاً من أن تكون مصدراً محتملاً لإمدادات المياه والعناصر المغذية التي يمكن أن تقلل إلى حد كبير من الضغوط على البيئة.

ومن بين جميع بلدان المنطقة، حقّقت شيلي أكبر قدر من التقدم في هذا الصدد، إذ تتمتع بمعالجة شاملة للمياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية (SISS, 2015). بينما حقق عدد قليل من البلدان الأخرى في المنطقة تقدماً كبيراً في توسيع نطاق معالجة المياه العادمة. وتشمل البلدان التي تعالج أكثر من نصف مياه المجارير في المناطق الحضرية البرازيل والمكسيك وأوروغواي (Lentini, 2015). وهناك خطط طموح لتوسيع نطاق معالجة المياه العادمة في العديد من المدن الكبيرة مثل بوينس آيرس، وبوغوتا، وليما، ومكسيكو سيتي، وساو باولو (Ballestero et al., 2015)، لكن تأخر معظم هذه الخطط لسنوات بسبب القيود المالية والمؤسسية. ويمكن أن تكون المياه العادمة المعالَجة مصدراً هاماً لإمدادات المياه في بعض هذه المدن،

> ستحتاج منطقة أمريكا اللاتينية والكاريبي إلى استثمار أكثر من 33 مليار دولار أمريكي لزيادة تغطية معالجة المياه العادمة إلى 64% بحلول عام 2030

ولا سيّما تلك الموجودة في المناطق القاحلة (ليما، على سبيل المثال) أو التي يلزم فيها النقل لمسافات طويلة من أجل تلبية الطلبات المتزايدة (كما هو الحال في ساو باولو).

ويتطلب التوسع في معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية استثمارات كبيرة لم تتمكن معظم البلدان حتى وقت قريب من تحمل تكاليفها. وستحتاج منطقة أمريكا اللاتينية والكاريبي إلى استثمار أكثر من 33 مليار دولار أمريكي لزيادة تغطية معالجة المياه العادمة إلى 64% بحلول عام 2030 (Mejía et al., 2012). ووفقاً لتقديرات أخرى، هناك حاجة إلى حوالي 30 مليار دولار أمريكي لخفض نسبة المياه العادمة التي لا تتلقى معالجة حالياً إلى النصف (Lentini, 2015). وإضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى حوالي 34 مليار دولار أمريكي لتمديد نظم تصريف مياه الأمطار (Mejía et al., 2012)، ما يخفِّض التلوث الناجم عن الصرف السطحي غير المتحكم فيه من المناطق الحضرية. وهذا جانب هام من جوانب إدارة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية التي لها أيضاً آثار اجتماعية واقتصادية كبيرة: وحيث إن معظم المنطقة تقع في مناطق استوائية وشبه استوائية تتسم بأمطار غزيرة، مع افتقار معظم المدن إلى البنية التحتية الكافية لتصريف مياه الأمطار، فإن الفيضانات في المناطق الحضرية ظاهرة شائعة ومكلفة وتؤثر على جزء كبير من السكان.

هناك أربع مدن ضخمة في المنطقة، تضم كل منها أكثر من 10 ملايين نسمة، ومن المتوقع أن تنضم اثنتان أخريان إلى هذه القائمة بحلول عام 2030

13-4 فوائد معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية

الاستثمارات في معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية لها ما يبررها ليس فقط من حيث الفوائد الصحية والبيئية، بل أيضاً بسبب آثارها الإيجابية على التنمية الاجتماعية والاقتصادية. فعلى سبيل المثال، أدى التوسّع في معالجة المياه العادمة في شيلي إلى الفوائد التالية: (1) توفير المياه النظيفة لآلاف الهكتارات من الأراضي المروية وإنتاج المحاصيل عالية القيمة؛ (2) تعزيز صناعة السياحة والترفيه المائي؛ (3) خفض مخاطر انخفاض الصادرات الزراعية بسبب شكاوى محتملة بشأن استخدام المياه العادمة في الري؛ (4) زيادة القدرة التنافسية للمنتجات المحلية عالية الجودة الخالية من التلوث في الأسواق الخارجية؛ (5) زيادة فرص العمل المرتبطة بالصادرات والصناعات السياحية؛ (6) تحسين نوعية المسطحات المائية المستخدمة كمصادر لإمدادات المياه (SISS, 2003). وعلاوة على ذلك، فإن التوسع في معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية قد أتاح أيضاً إمكانية ما يلي: (7) استخلاص غاز الميثان واستخدامه لتوليد الطاقة وإمدادات الغاز المنزلي، ما يقلل من انبعاثات غازات الدفيئة؛ و(8) استخدام المياه العادمة لا للري فحسب، بل أيضاً للاستخدامات الصناعية وغيرها.

13-5 مصادر أخرى للمياه العادمة

مع توسع نطاق معالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية، بدأت قضايا بيئية أخرى في الظهور، بما فيها معالجة حمأة مياه المجارير (Rojas Ortuste, 2014)، والتلوث الزراعي من مصدر غير ثابت – المصدر الرئيسي لتدهور نوعية المياه في العديد من أحواض الأنهار ومستودعات المياه الجوفية. وإذ تزداد الصادرات الإقليمية للسلع الزراعية، يزداد كذلك التلوث الناجم عن تسرب المياه العادمة الزراعية والصرف السطحي الزراعي المحتوي على الأسمدة ومبيدات الآفات وغيرها من المواد الكيميائية الزراعية، التي كثيراً ما تُستخدَم مع قليل من الرقابة أو من غير رقابة. وقد أفادت تقارير عن تلوث كبير للمياه بسبب الري، على سبيل المثال، في جمهورية الدومينيكان، والمكسيك، ونيكاراغوا، وبنما، وبيرو، وفنزويلا (Zarate et al., 2014). ويمثِّل هذا التلوث مصدر قلق خاص في حالة المياه الجوفية، التي تعتبر مصدراً هاماً للإمداد بخدمات المياه المنزلية والري على السواء.

13-6 الدروس المستخلصة

فيما يلي أهم الدروس المستخلصة من التجربة الإقليمية في مجال إدارة المياه العادمة:

- ينبغي أن يأخذ تصميم أي برنامج لإدارة المياه العادمة في الحسبان التقييدات الهيكلية للاقتصادات الوطنية، وأن يُنظر بشكل نقدي في جميع الخيارات المتاحة (التكنولوجيات، ومصادر التمويل، وهيكل الممتلكات، والحوافز، وما إلى ذلك)، وأن تنظَّم وتُسلسل بطريقة لا تصير بها عبئاً على الاقتصاد ولا على المواطنين؛
- تعتبر الأولويات الحكومية، كما يتضح من مخصصات الميزانية وإنشاء مؤسسات فعالة وكذلك عدم التدخل السياسي في اتخاذ القرارات التقنية، أمراً حاسماً، إضافة إلى السعي لتحقيق الكفاءة (النظر بعناية في التكاليف والفوائد، والتنفيذ الفعال، والإنفاذ والرقابة، والحد من تكاليف المعاملات، ومراقبة عمليات الاستيلاء والفساد، والمعلومات الجيدة، والاستفادة من وفورات الحجم والنطاق، وما إلى ذلك)؛
- من أجل جني جميع فوائد إدارة المياه العادمة وتجنب التكاليف الزائدة، من الضروري إعطاء الأفضلية للخطط المتكاملة على مستوى أحواض الأنهار التي تشمل معالجة المياه العادمة وإعادة استخدامها على حد سواء، بدلاً من المنهجيات القائمة على كل مشروع على حدة والمقتصرة على قطاع واحد.

الجزء الرابع

خيارات تدابير التصدي

الفصل الرابع عشر: منع وتقليل توليد المياه العادمة وكميات التلوث عند المصدر

الفصل الخامس عشر: تعزيز جمع المياه العادمة ومعالجتها

الفصل السادس عشر: إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد

الفصل السابع عشر: المعرفة والابتكار والبحث وتنمية القدرات

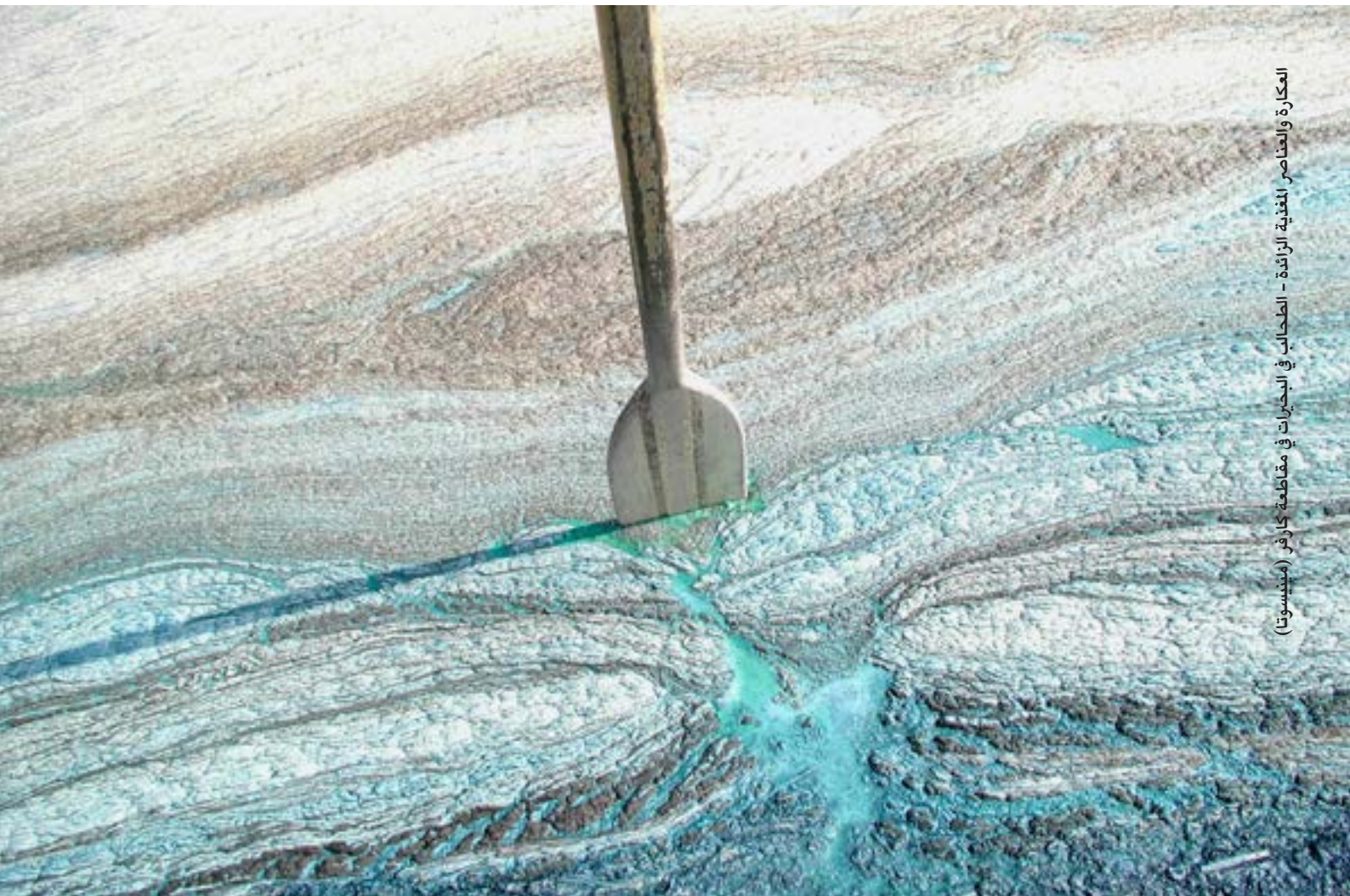
الفصل الثامن عشر: إنشاء بيئة مواتية

الفصل الرابع عشر

برنامج الأمم المتحدة للبيئة: بيرغوي لاميزانا -ديالو، أندريا ساليناس، إليسا توندا، ليازات رابيوسي ولورنشي ميلا إي كانالس؛ ودونا سبنسر (البرنامج البيئي الكاريبي التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة)

بمساهمات من: ساشا كو - أوشيما (وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة). جاك موس (الاتحاد الدولي للمؤسسات الخاصة للإمداد بالمياه AquaFed)؛ جيني غرونوال (معهد إستكهولم الدولي للمياه SIWI)؛ وكلوديا وندلاند (منظمة النساء في أوروبا من أجل مستقبل مشترك WECF).

منع وتقليل توليد المياه العادمة وكميات التلوث عند المصدر



المكارة والعناصر المغذية الزائدة - الطحالب في البحيرات في مقاطعة كاروفر (مينيسوتا)

يصف هذا الفصل آليات مؤسسية وتكنولوجية ومالية متنوعة لمراقبة ومنع صرف الملوثات في مجاري المياه العادمة والحد من أحجام المياه العادمة.

يلخِّص المثل الكشميري القائل «من السهل أن ترمي أي شيء في النهر، لكن من الصعب أن تخرجه مرة أخرى» أهمية اتخاذ تدابير لمنع التلوث. فإن الإجراءات التصحيحية لتنظيف المواقع الملوثة والمسطحات المائية الملوثة تكون عموماً أكثر تكلفة من تدابير منع التلوث من الأساس.

ومن ثم، ينبغي إعطاء الأولوية لنهوج مكافحة تلوث المياه التي تركز على منع المياه العادمة وتقليلها إلى الحد الأدنى – مثلاً، عن طريق خفض استهلاك المياه، وتحسين عمليات تنقية المواد الخام والإنتاج داخل المصانع، وإعادة تدوير منتجات النفايات – بدلاً من طرق المعالجة التقليدية عند المصب كلما أمكن ذلك. وعلى نطاق أوسع، تتطلع الإدارة المستدامة للمياه إلى فصل قضايا استهلاك وتلوث المياه عن التنمية الاقتصادية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ج)). ومن أجل تجنب مجرد تحويل المشاكل ما بين مراحل دورة الحياة أو المجالات البيئية، فمن المهم أيضاً إيلاء أهمية لكيفية استخدام المياه وتلوثها في كامل نظم الإنتاج والاستهلاك، بدلاً من التركيز فقط على مرحلة محددة مثل معالجة المياه العادمة فينتهي الأمر مثلاً بإزالة التلوث من المياه العادمة وزيادة تلوث الهواء (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2012 (أ)).

ولكي يحدث ذلك، يجب أن تكون هناك بيئة مواتية مع سياسات داعمة تنفذ بفعالية، بما في ذلك إنفاذ اللوائح والعقوبات، واستخدام التكنولوجيات النظيفة والفعالة، ووضع الآليات المالية المبتكرة (انظر الإطار 14-1).

14-1 آليات مراقبة التلوث ورصده

يمكن أن تكون لظروف التجارة والسوق آثار هامة وبعيدة المدى على توليد المياه العادمة والتلوث الناجم عن الأنشطة الإنتاجية. على سبيل المثال، فإن 19% من كميات المياه المستخدمة في العالم ليست للاستهلاك المحلي بل للتصدير (Mekonnen and Hoekstra, 2011). إن المنهجيات الكمية القائمة على العلوم مثل تقييمات دورة الحياة تعتبر ملائمة في هذا الصدد، وذلك لتجنب السياسات التي تفضل «تصدير» الصناعات الأكثر تلويثاً في محاولة للحد من المشاكل المتعلقة بالمياه العادمة محلياً (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2012(ب)).

وتُعدّ متطلبات التصديق على المنتجات العضوية ذات أهمية خاصة، إذ يؤدي الاستخدام الأقل للمبيدات إلى خفض التلوث الكيميائي للمياه العادمة. وغالباً ما تتضمن نظم التوصيف الأخرى، مثل المواصفة البيئية ISO 14024 من النوع 1[11] (مثل المواصفة البيئية الأوروبية European Ecolabel، أو نوردك سوان Nordic Swan، أو بلو أنجل Blue Angel في ألمانيا) معايير خاصة بالمياه العادمة للمنتجات ذات الصلة، وتشمل عادة التأثيرات الرئيسية على طول دورة حياة المنتج. وتوفر هذه النظم ذات الطابع الطوعي لتوصيف المنتجات حافزاً للشركات لزيادة قدرتها التنافسية، نظراً لاتجاهات السوق الحالية لدعم الإنتاج الخالي من المواد الكيميائية، والحزم المعاد تدويرها وغير ذلك من الممارسات السليمة بيئياً. ومع ذلك، فإن معظم المنتجات المتداولة غير معتمدة وبالتالي فإن آثار هذه المنهجيات الطوعية محدودة.

وتتسم عمليات الرصد ووضع التقارير عن تصريف الملوثات في البيئة ونوعية المياه المحيطة بأهمية حاسمة أيضاً لتحقيق التقدم. فعندما لا يمكن قياس شيء ما، من المستحيل تحديد المشكلة ومن الصعب تقييم فعالية السياسات. ومع اعتماد خطة التنمية المستدامة لعام 2030 (انظر الفصل الثاني) والبدء في المبادرة العالمية الموسعة لرصد الموارد المائية (GEMI) بموجب إطار الأمم المتحدة للمياه، فمن المتوقع أن يوجه الرصد الدوري لنوعية المياه المحيطة ومعالجة المياه العادمة آليات وضع التقارير الوطنية ثم يسمح في نهاية المطاف بإجراء مقارنات عالمية.

إن إنشاء سجلات إطلاق الملوثات ونقلها (PRTR) يوفر بعض الخبرة المفيدة التي يمكن تطبيقها على مراقبة المياه العادمة. وقد أُسِّست هذه السجلات في الأصل باعتبارها جزءاً من توجيهات الاتحاد الأوروبي واتفاق التجارة الحرة لأمريكا الشمالية (NAFTA) وقواعد منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، وتستخدم حالياً سجلات وطنية لإطلاق الملوثات وانتقالها في 33 بلداً في جميع أنحاء العالم لتسجيل الانبعاثات الكيميائية في الهواء والماء والتربة من المنشآت

11 الشبكة العالمية للتوصيف الإيكولوجي (Global Ecolabelling Network)، هي رابطة لخطط التوسيم الوطنية مؤلَّفة من حوالي 25 بلداً (GEN, n.d).

الصناعية (الوكالة الأوروبية للبيئة، بدون تاريخ). وعلى الرغم من أن سجلات إطلاق الملوثات وانتقالها لا تتضمن معلومات عن معالجة المياه العادمة، فإنها تحدد بوضوح مصادر التلوث التي تدعم القرارات الاستثمارية المتعلقة بتطوير وبناء مرافق المعالَجة. وتشمل جهود الرصد الأخرى تقييمات الأثر البيئي، وعمليات تحليل تكاليف إنتاج المياه العادمة وإعادة استخدامها، والضوابط الصحية. ومع ذلك، يقتصر تطبيقها عموماً على مستوى المشروع والشركة.

ويمكن لواضعي القرارات النظر في سلسلة من الخيارات في القطاعين العام والخاص لمعالجة مسألة منع المياه العادمة وتوليدها ورصدها وإعادة استخدامها. ويطبق القطاع الصناعي عدة طرق مختلفة لإعادة تدوير المياه للحد من تكاليف الإنتاج والسحب، والامتثال للوائح البيئية الخاصة بالنفايات السائلة، وربما لجني الإيرادات. وقد قطعت بعض الصناعات خطوة أبعد من خلال اعتماد التوقف عن تصريف السوائل، كما هو الحال في صناعات النسيج في تيروبور بالهند (انظر الإطار 14-2). إضافة إلى ذلك، تميل مبادرات الاستدامة التي يقودها قطاع الصناعة إلى معالجة قضايا المياه العادمة/التلوث بمنهجيات أكثر شمولية، عن طريق وضع معايير ومبادئ توجيهية لتقييم الاستدامة البيئية والاجتماعية من وجهة نظر نظام دورة الحياة (انظر القسم 6-4).

وستعزّز أهداف التنمية المستدامة الجديدة، ولا سيّما الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، الغاية رقم (6-3) المتعلقة بنوعية المياه والمياه العادمة، والهدف 12 من أهداف التنمية المستدامة بشأن الاستهلاك والإنتاج المتسمين بالمسؤولية، صياغة السياسات والإجراءات اللازمة لتنفيذ التدابير اللازمة. ونتيجة لذلك، ينبغي أن تستفيد عملية منع التلوث وإدارة المياه العادمة على الصعيد الوطني من آليات التعاون الدولي ونقل التكنولوجيا، وخطط بناء القدرات ووسائل التنفيذ الأخرى.

الإطار 14-1 مبادئ توجيهية لمنع وتقليل توليد المياه العادمة

1 - منع التلوث بدلاً من معالجة أعراضه. تحديد أولويات مكافحة تلوث المياه والتصدي لأسباب تلوث المياه من خلال تحديد المواد الخطرة التي تحتاج إلى حظر أو تنظيم صارم (على سبيل المثال وضع «قوائم حمراء») وتوفير الإرشادات والتوجيه للمستخدمين.

2 - استخدام المبدأ الاحترازي. ينبغي عدم تأجيل الإجراءات الرامية إلى تجنب الأضرار البيئية المحتملة الناجمة عن المواد الخطرة على أساس أنه لا توجد أدلة علمية قاطعة.

3 - تطبيق مبدأ «على الملوِّث دفع الثمن»، إذ يتحمل الملوِّث تكاليف تدابير منع التلوث ومكافحته وخفضه. ويهدف هذا الصك الاقتصادي إلى تشجيع وتحفيز السلوك الذي يقلل الضغط على البيئة.

4 - تطبيق معايير ولوائح واقعية. قد تؤدي المعايير غير الواقعية واللوائح غير القابلة للتنفيذ إلى إلحاق ضرر أكبر من عدم وجود معايير ولوائح على الإطلاق، لأنها تخلق موقفاً من اللامبالاة تجاه القواعد واللوائح، سواء فيما بين الملوِّثين أو الإداريين.

5 - موازنة الأدوات الاقتصادية والتنظيمية. يتيح النهج التنظيمي لتلوث المياه للسلطات السيطرة على ما يمكن تحقيقه من أهداف بيئية ومتى يمكن تحقيقها (Bartone et al., 1994). ويتمثل عيبه الرئيسي في عدم الكفاءة الاقتصادية. وتوفر الصكوك الاقتصادية حوافز للملوِّثين لتعديل سلوكهم دعماً لمكافحة التلوث مع توفير الإيرادات لتمويل أنشطة مكافحة التلوث.

6 - تطبيق التحكم في تلوث المياه عند أدنى مستوى مناسب. ويمكن تعريف المستوى المناسب بأنه المستوى الذي تحدث فيه أهم الآثار.

7 - إنشاء آليات للتكامل بين القطاعات. حتى يكون هناك ضمان لتنسيق الجهود الخاصة بمكافحة تلوث المياه في القطاعات ذات الصلة بالمياه، يلزم وضع آليات ووسائل للتعاون وتبادل المعلومات.

8 - تشجيع اتباع نهج تشاركي يشمل جميع أصحاب المصلحة المعنيين. وينطوي النهج التشاركي على النهوض بالوعي بأهمية مكافحة تلوث المياه ما بين واضعي السياسات وبين عامة الجمهور.

9 - إتاحة الانتفاع الحر بالمعلومات بشأن تلوث المياه. هناك شرط مسبق للمشاركة هو حرية الانتفاع بالمعلومات التي تحتفظ بها السلطات العامة.

10 - تعزيز التعاون الدولي بشأن مكافحة تلوث المياه. يتطلب تلوث المياه العابر للحدود، الذي يواجَه عادة في الأنهار الكبيرة، تعاوناً دولياً وتنسيقاً للجهود حتى يكون فعالاً.

وعلاوة على ذلك، فإن تطبيق نظام الإدارة المتكاملة للموارد المائية (IWRM) والممارسات المثلَى في مشاريع وبرامج القطاعات الفرعية، مع تعزيز إدارة أصحاب المصلحة المتعددين من القاعدة إلى القمة، سيقطع شوطاً طويلاً نحو مكافحة التلوث مع تحسين إدارة المياه والصرف الصحي.

المصدر: مقتبس من هلمر وهسبانهول Helmer and Hespanhol (1997، ص 17-20).

14-2 التدابير التكنولوجية

14-2-1 الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد

توفِّر منهجية الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد (RECP) نهجاً شاملاً من حيث تغطية القضايا والتطبيق المستمر للاستراتيجيات البيئية الوقائية للمنتجات والعمليات والخدمات. وتهدف هذه المنهجية إلى تعزيز كفاءة الإنتاج من خلال الاستخدام الأفضل للمواد والطاقة والمياه، من خلال الإدارة البيئية السليمة، وتقليل النفايات والانبعاثات إلى أدنى حدٍّ ممكن، ما يهيئ بيئة أكثر أماناً مع مخاطر أقل على الناس والمجتمعات المحلية. وهذه المنهجية تقوم على التفكير في دورة الحياة، المطبَّقة على طول سلاسل قيمة المنتجات (لكل من السلع والخدمات) لتحديد القضايا الرئيسية (بما فيها المياه العادمة)، وتقترح عدداً من الحلول العملية عن طريق استرداد الموارد وإعادة التدوير، واعتماد التصنيع القائم على الدورة المغلقة وإطالة عمر السلع المصنَّعة، من بين أمور أخرى (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، بدون تاريخ؛ الشبكة العالمية للإنتاج الأنظف والمتّسم بكفاءة استخدام الموارد، بدون تاريخ أ).

ومن الأدوات التي ينبغي ذكرها تعزيز كفاءة الموارد في المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم[12]. وهي مصمَّمة للمشاريع الصغيرة ومتوسطة الحجم لأنها تهيمن على قطاعات مثل النسيج والتنظيف الجاف والتشطيب المعدني والطباعة والأغذية والمشروبات، وبعض القطاعات الفرعية للإلكترونيات، وجميعها ذات معدلات استخدام عالية للمياه وما يرتبط بها من آثار بيئية واجتماعية. وتواجه المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم أيضاً تحديات أكبر تزيد من منهجياتها الخاصة بكفاءة مواردها ونظافة إنتاجها في العمليات، بسبب نقص الوعي والقدرات التكنولوجية والمالية (انظر الفصل السادس). ويقدم الإطار 14-3 أمثلة عملية على تطبيق منهجية الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد على المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم مع الشركات الصغيرة والمتوسطة في تنزانيا.

14-2-2 استخدام التكنولوجيا السليمة بيئياً لفصل المياه العادمة المنزلية ومعالجتها

يعرِّف الفصل 34 من جدول أعمال القرن 21 التكنولوجيات السليمة بيئياً (ESTs) بأنها تكنولوجيات أفضل من التكنولوجيات التي هي بدائل لها من حيث حماية البيئة، والحد من التلوث، واستخدام الموارد على نحو مستدام، وتشجيع إعادة

12 لمزيد من المعلومات، يرجى زيارة الموقع التالي: www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/ResourceEfficientCleanerProduction/Activities/PromotingResourceEfficiencyinSMEsPRE-SME/Resources/ResourceKit/tabid/105557/Default.aspx

> يقتضي خفض استهلاك المياه والتحكم في إطلاق الملوّثات والمنتجات الثانوية، اتباع نهوج قائمة على المشاركة وتحسين الاتصال، والنهوض بالتوعية والتثقيف

الإطار 14-2 التوقف عن تصريف السوائل في صناعات النسيج في تيروبور، الهند

من المعروف أن صناعة الصباغة والتبييض في مركز التريكو في تيروبور الواقع جنوبي الهند هي أول من اختارت التوقف عن تصريف السوائل (ZLD) بطريقة منهجية، ما يلغي إطلاق الملوثات. ثم إن مكوِّنات التوقف عن تصريف السوائل، بما فيها التناضح العكسي، تمكِّن من إعادة استخدام المياه والأملاح واستردادهما على نطاق واسع، وهذه العملية تقلِّل من متطلبات المياه العذبة.

وكان الصباغون في تيروبور يقومون بنقل المياه العذبة بالشاحنات من أماكن أخرى لحماية جودة الإنتاج، إلى أن أُنشئ نظام للإمداد بالمياه بين القطاعين العام والخاص، قائم جزئياً على قرض من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية. وبما أن المياه مكلِّفة نسبياً، فإن إعادة الاستخدام تجعل من المنطق التجاري أمراً سليماً، لكنْ يجب أن يُقاس ذلك مقابل الطاقة العالية والتكاليف التشغيلية لآليات تمكين التوقف عن تصريف السوائل.

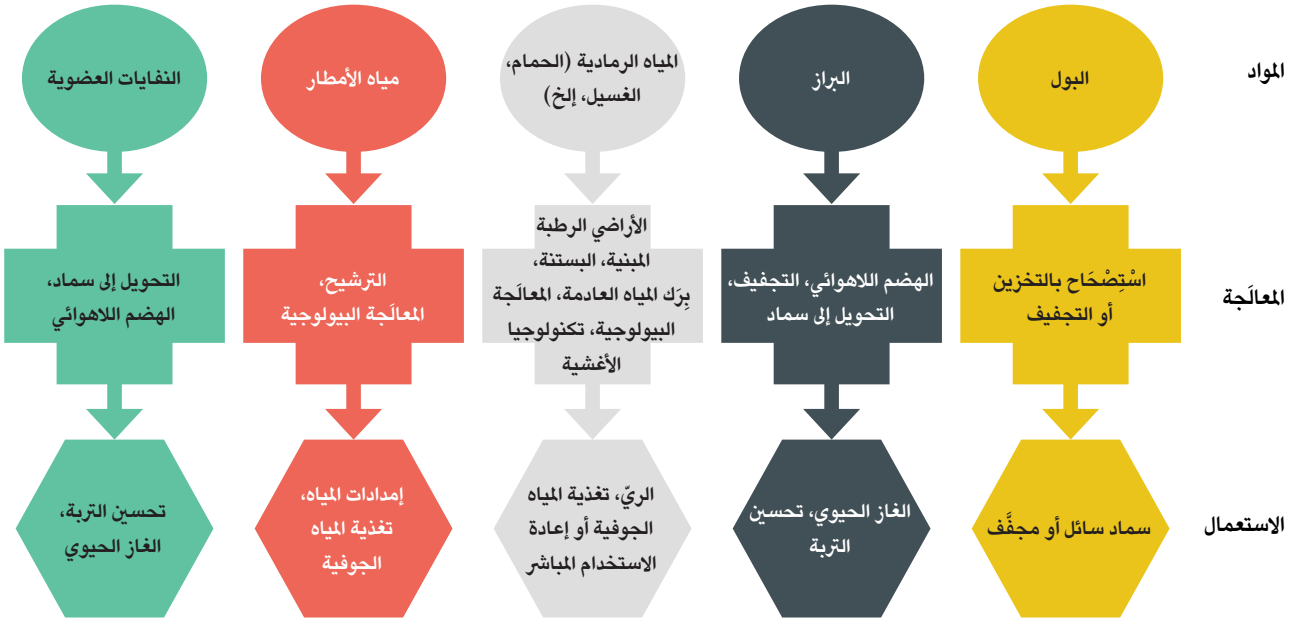
وفي منتصف الثمانينيات، لم يكن هناك أي تطبيق لمعايير النفايات السائلة. وقد حفز عديد من الأطراف الفاعلة هذا التحول. فقد وقف المزارعون في المنطقة وراء الدَّفعة الأولى، جنباً إلى جنب مع مجلس مكافحة التلوث ونظام المحاكم. ومع ذلك، فإن الضغط لتغيير السلوك على نطاق واسع جاء من المحكمة العليا في خطوات إضافية: فبعد أن أمرت بإغلاق جميع مصانع الصباغة في عام 2011، قدمت الحكومة قرضاً بقيمة 2 مليار روبية هندية (ما يقرب من 30 مليون دولار أمريكي) بدون فوائد لضمان معالجة أكثر فعالية.

وفي حين أن الامتثال الكامل قد لا يتحقق على المدى القصير والمتوسط، فقد وضعت خطة إنتاج جديدة خاصة بالتوقف عن تصريف السوائل في تيروبور.

المصدر: غرونوال وجونسون Grönwall and Jonsson (سيأتي ذكره).

ساهمت فيه جيني غرونوال (معهد إستكهولم الدولي للمياه SIWI).

الشكل 14-1 فصل النفايات وخيارات الاستخدام الممكنة



المصدر: اليونسكو - البرنامج الهيدرولوجي الدولي/الوكالة الألمانية للتعاون التكنولوجي (2006، الشكل 4، ص 15).

الإطار 14-3 أمثلة من تنزانيا على الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد

يبيّن مثالان عن شركتين من المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم في تنزانيا فائدة المنهجيات الوقائية مثل نهج الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد، سواء من ناحية الأثر البيئي، بما في ذلك المياه العادمة، وكذلك من ناحية النظر في الفوائد الاقتصادية المرتبطة بها.

المثال الأول هو شركة موسوما تكستايل ميلز تنزانيا (موتكس MUTEX) التي تلقت تدريباً على الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد لتحسين كفاءة الموارد والأداء البيئي. وتشمل بعض الفوائد الملحوظة التي تحققت استرداد الموارد (الصودا الكاوية)؛ وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة والمياه؛ وخفض الانبعاثات، والنفايات الصلبة والمياه العادمة؛ وتحسين ظروف الصحة والسلامة المهنيتين. وقد وفّر برنامج الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد بأكمله أكثر من 293322 دولاراً أمريكياً في السنة.

المثال الثاني هو مصنع تانزانيا بريويريز ليميتد موانزا الذي بدأ تنفيذ برنامج الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد بهدف الحد من استخدام المياه والطاقة وخفض توليد النفايات والتكاليف التشغيلية، جنباً إلى جنب مع تحسين الامتثال للاستدامة العالمية وكذلك تحسين صورة أعماله. وأدى تنفيذ مشروع الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد في مصانع الجعّة إلى وفورات سنوية قدرها 37500 دولار أمريكي في فواتير المياه و56250 دولاراً أمريكياً في استهلاك الطاقة، وخفض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 50%، وتخفيض توليد النفايات الصلبة بنسبة 39% ، وإنتاج المياه العادمة بنسبة 42%.

المصدر: الشبكة العالمية للإنتاج الأنظف والمتّسم بكفاءة استخدام الموارد، (بدون تاريخ) ومركز الإنتاج الأنظف بتنزانيا (بدون تاريخ).

الإطار 14-4 الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة (CReW)

في منطقة البحر الكاريبي الكبرى، كثيراً ما يكمن التحدي الكبير في تأمين التمويل لقطاعات مثل التعليم والصحة وإمدادات مياه الشرب وإدارة المياه العادمة، حيث تتلقى الأخيرة أقل الاستثمارات. ومع ذلك، ومن غير مستويات كافية من الاستثمار، ستكون النتيجة استمرار تصريف المياه العادمة غير المعالَجة، ما يهدد التنمية الاقتصادية للمنطقة ونوعية حياة شعبها. ويتيح الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة، الذي يموله مرفق البيئة العالمية وينفذه مصرف التنمية للبلدان الأمريكية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، طريقة لمعالجة مسألة عدم كفاية التمويل اللازم للبنية التحتية للمياه المستعملة في المنطقة.

وقد اختبر الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة نوعين من آليات التمويل: الأول هو الصناديق الدائرة (في بليز وترينيداد وتوباغو وغيانا)، والثاني هو مرفق تعزيز الائتمان (CEF) في جامايكا. وقد أُنشئ مرفق تعزيز الائتمان بضمان احتياطي قيمته 3 ملايين دولار أمريكي قدمها الصندوق، كتمويل مُعزَّز لمبلغ إضافي قدره 9 ملايين دولار أمريكي لتمويل مشاريع المياه العادمة. وتُستخدَم الرسوم الإضافية للعامل K الخاصة بمرفق المياه العادمة، الذي أنشئ في عام 2008، لتسديد الأموال إلى مرفق تعزيز الائتمان. ويخلق هذا النموذج المبتكر حافزاً لتخصيص الموارد المستمدة من التجميع الشهري لصناديق العامل K (وهو جزء من تعريفة المياه) لخدمة الديون لأجل الحصول على قروض مصرفية تجارية أكبر، بدلاً من استخدام الأموال مباشرة للاستثمارات الرأسمالية في القطاع. وتستخدم بليز وغيانا وترينيداد وتوباغو موارد الصندوق (5 ملايين دولار أمريكي، و3 ملايين دولار أمريكي، ومليوني دولار أمريكي على التوالي) من أجل إنشاء صناديق دائرة تقدم القروض لمرافق المياه المعنية لتمويل مشاريع مختارة للمياه العادمة. ويعتمد تجديد هذه الصناديق الدائرة على الدخل المتولِّد أساساً عن فائدة القروض ومن خلال نظام التعريفات. وتعتبر غيانا حالة خاصة، حيث تستهدف المخصصات القطاع الخاص بالدرجة الأولى.

ومن بين الدروس المستخلصة فكرة أن استدامة تمويل قطاع المياه العادمة تعتمد بشكل رئيسي على التزام الحكومات؛ وكفاية السياسات والقوانين واللوائح الوطنية؛ ومستوى إنفاذ القوانين واللوائح القائمة؛ ووجود تمويل كافٍ ومستمر للارتقاء والتشغيل والصيانة. وساعد المشروع في إذكاء الوعي بما يلي: (1) مسألة سوء إدارة المياه العادمة بين صانعي القرار؛ (2) أهمية الإدارة المتكاملة للمياه والمياه العادمة؛ (3) الطرق المبتكرة للحصول على تمويل لإدارة المياه العادمة؛ و(4) فهم أفضل لمتطلبات التمويل المستدام في القطاع.

المصدر: الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة (بدون تاريخ) ودانيالز Daniels (2015).

> **إن فصل النفايات في المصدر يمكن أن يكون أسهل وأكثر فعالية من حيث التكلفة من محاولة فصلها بعد أن تكون قد اختلطت**

تدوير النفايات والمنتجات، والأهم من ذلك التعامل بأمان مع النفايات المتبقية (مؤتمر الأمم المتحدة المعنيّ بالبيئة والتنمية، 1992، البند 34-1). وفي هذا الصدد، يمكن اعتبار نظم معالجة المياه العادمة في الموقع، مع التركيز على نظام التوقف عن تصريف السوائل وفصل مجاري النفايات من المصدر، تكنولوجيات سليمة بيئياً. ومع ذلك، يوصى بإجراء دراسة تحليل دورة الحياة لمقارنة الأداء البيئي (والاجتماعي والاقتصادي) لتكنولوجيات محددة في ظروف جغرافية مختلفة من أجل تحديد أفضل التكنولوجيات السليمة بيئياً في مختلف البيئات.

وقد استُثمرت جهود كبيرة في البحوث والتطوير بشأن الفصل بين المصادر على مدى السنوات العشرين
الماضية، ووضعت حلولاً منخفضة وعالية التقنية في السياقات الريفية والحضرية على مستويات مختلفة (Andersson et al., 2016). إن فصل النفايات في المصدر يمكن أن يكون أسهل وأكثر فعالية من حيث التكلفة من محاولة فصلها بعد أن تكون قد اختلطت.

فعلى سبيل المثال، تبرز نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة (DEWATS) والصرف الصحي الإيكولوجي (EcoSan) كخيارات واعدة لتحقيق التوازن بين التنمية الاجتماعية والاقتصادية وتوفير الخدمات الأساسية للمجتمعات الأقل حظاً. إن نظم المعالجة هذه تستغني عن الحاجة إلى الرقابة التقنية المتطورة والصيانة، والمدخلات العالية للطاقة والمياه. كما أنها تمكِّن من استعادة العناصر المغذية للزراعة، وبالتالي تحافظ على خصوبة التربة، وتضمن الأمن الغذائي، وتقلِّل إلى الحد الأدنى تلوث المياه واستخدام الأسمدة الاصطناعية، وأحياناً تستعيد الطاقة الحيوية (انظر القسم 15-4).

ووفقاً لعملية الصرف الصحي الإيكولوجي، تعتبر الفضلات البشرية والنفايات العضوية والمياه العادمة

موارد ذات إمكانيات عالية لإعادة استخدام المياه وإعادة تدوير المكونات. وهي بالأساس «الصرف الصحي الجاف». وتتمثّل الميزة الرئيسية للمراحيض الجافة التي تحوِّل البول، باعتبارها مثالاً على الصرف الصحي الإيكولوجي، في فصل البول والبراز وتحويل البراز إلى مادة مأمونة وجافة وعديمة الرائحة، على النقيض من المراحيض التقليدية (انظر الشكل 14-1). وبالتالي تقلّ إلى الحد الأدنى مخاطر تلوث المياه الجوفية والسطحية من خلال الاحتواء الآمن للبراز والبول.

> يمكن أن تكون لظروف التجارة والسوق آثار هامة وبعيدة المدى على توليد المياه العادمة والتلوث الناجم عن الأنشطة الإنتاجية

14-3 المنهجيات المالية والتغيير السلوكي

بالإشارة إلى الإطار 14-1 المتعلق بالمبادئ التوجيهية، يجدر التذكير بأن عديداً من الاتفاقات البيئية المتعددة الأطراف (MEA) تحمل في جعبتها حوافز اقتصادية لمنع وخفض توليد المياه العادمة، التي يمكن أن تشمل المبدأ التحوطي، ومبدأ الملوِّث يدفع الثمن، والشراكات بين القطاعين العام والخاص، وسياسات التعريفة المبتكرة. ويوضح الإطاران 14-4 و14-5 قصص نجاح استخدام الآليات المالية المبتكرة من منطقة البحر الكاريبي والولايات المتحدة الأمريكية.

وللتحوّل النوعي في تغيير السلوك أهمية قصوى لعكس الاتجاه الحالي في توليد المياه العادمة. إذ يقتضي خفض استهلاك المياه والتحكم في إطلاق الملوّثات والمنتجات الثانوية، اتباع نهوج قائمة على المشاركة وتحسين الاتصال، والنهوض بالتوعية والتثقيف.

الإطار 14-5 الصندوق الدائر الخاص بالولايات (SRF) لتمويل المياه العادمة والبنية التحتية

في الولايات المتحدة الأمريكية، يُعدّ الصندوق الدائر للولايات أحد برامج التمويل المستدام التي تتيح وفورات مالية لمشاريع المياه التي تفيد البيئة، بما فيها حماية الصحة العامة وحفظ مستجمعات المياه المحلية. وتقدّم المساهمات الوطنية ومساهمات الولايات قروضا لمجموعة واسعة من المشاريع الخاصة بنوعية المياه، بما فيها جميع أنواع الصرف السطحي، ومشاريع حماية واستعادة مستجمعات المياه أو إدارة مصبّات الأنهار، فضلاً عن مشاريع تقليدية أخرى لمعالجة المياه العادمة التي يتم تصريفها من البلديات، بما فيها مشاريع إعادة استخدام المياه وحفظها.

ويسمح الصندوق للولايات بتوفير التمويل لمشاريعها ذات الأولوية العالية لتحسين نوعية المياه باستخدام نهج تقييم النقاط لتقييم المشاريع. وتوفَّر الأموال لإنشاء أو رسملة برامج الصندوق الدائر الخاص بالمياه النظيفة في الولاية (CWSRF) عن طريق منح الحكومة الوطنية من خلال وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة والأموال المناظرة للولاية التي تساوي 20% من المنح الحكومية الوطنية. وتُقرَض أموال الصندوق الدائر الخاص بالمياه النظيفة في الولاية للمجتمعات المحلية بفائدة أقل من أسعار السوق، ويُعاد تسديد القروض مرة أخرى في البرنامج من أجل تمويل مشاريع إضافية لحماية نوعية المياه. وتنص الطبيعة الدائرة لهذه البرامج على مصدر تمويل متواصل يستمر إلى أبعد حد في المستقبل.

محطة معالجة المياه العادمة في مقاطعة إسكامبيا، فلوريدا (الولايات المتحدة)، التي دمرها إعصار إيفان، وتم استبدالها ونقلها بعيداً عن السهل الساحلي وبُنيت لتكون أكثر مرونة. وتعيدُ المحطةُ الآن استخدام مياهها بنسبة 100%.

المصدر: وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة (بدون تاريخ ج)

مساهمة من ساشا كو-أوشيما (من الوكالة).

الفصل الخامس عشر

برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية: غراهام ألاباستر، أندريه دزيكوس وبيريه أوتينو

مع مساهمات من: كزافييه ليفلايف (إدارة البيئة في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي)

تعزيز جمع المياه العادمة ومعالجتها

منشأة لهضم الحمأة في محطة للمياه العادمة، تنتج الميثان وتولّد الطاقة

يتناول هذا الفصل عدداً من الخيارات والتدابير لتعزيز جمع المياه العادمة ومعالجتها، مع التأكيد بشكل خاص على مزايا النظم اللامركزية منخفضة التكلفة.

15-1 مجاري الصرف الصحي والصرف الصحي المنقول بواسطة المياه

إن أهمية الصرف الصحي كوسيلة لنقل النفايات بعيداً عن المصادر البشرية والأنشطة الاقتصادية الأخرى موثقة بشكل جيد هي وآثارها. وعلى الرغم من البدائل المقبولة بيئياً، لا يزال التخلص من النفايات المنقولة بواسطة المياه هو الأسلوب السائد في الصرف الصحي وفي صرف المياه العادمة من المصادر المحلية والتجارية والصناعية. وهناك خيارات أخرى للصرف الصحي، مثل نظم الموقع، وهي ملائمة تماماً للمناطق الريفية والمناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة، لكنها مكلفة ويستحيل تقريباً إدارتها في بيئات حضرية كثيفة، فضلاً عن الاقتصادات الأكثر تقدماً. وفي كثير من الحالات، لا تزال هناك تحديات كبيرة في جمع ونقل الحمأة البرازية من المرافق الموجودة في الموقع. ووفقاً لدراسة أجريت مؤخراً في مدينة كمبالا (المعهد الدولي لإدارة المياه، 2012)، لم يكن لدى أكثر من 80% من مستخدمي هذه المرافق أي خبرة في تفريغ المراحيض الشخصية، كما أن أكثر من 60% من مخلفات التعفين التي جُمِعَت جاءت من مصادر مؤسسية وتجارية (انظر الشكل 4-4).

ويرتبط عدد الأسر المعيشية التي تتمتع بنظم مجاري الصرف الصحي (بدرجة أكبر أو أقل) بعدد توصيلات الإمدادات بالمياه، وإنْ بنسب أقل بكثير دائماً. وتُظهر التقارير الأخيرة بوضوح (اليونيسف/منظمة الصحة العالمية، 2015) أن نسبة الأشخاص الذين يتمتعون بنظم مجاري الصرف الصحي على المستوى العالمي (60%) زادت عما كانت عليه في السابق. وحتى في المناطق الريفية التي تتسم بعدد منخفض نسبياً من التوصيلات، هناك نسبة كبيرة من الأشخاص المتوافرة لهم نظم مجاري الصرف الصحي (16%). وهذا يتناقض مع التقديرات المنشورة سابقاً التي تشير إلى ما نسبته 10% أو أقل (Corcoran et al., 2010) (انظر الشكل 5-1).

إن كثيراً من المدن الكبيرة في الاقتصادات المتقدمة والاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية لديها نظم للصرف الصحي واسعة النطاق، لا يزال بعضها يعمل بشكل فعال بعد حوالي 100 عام من البناء. فلا تزال لندن معتمدة على مجاري الصرف الصحي الرئيسية التي شُيِّدت في العصر الفيكتوري كجزء من الشبكة المستخدمة حتى اليوم. وتنشأ المشاكل مع زيادة التحضر والتوصيل المفرط في نظم الصرف الصحي التي تتجاوز قدرتها التصميمية الأصلية. وتولِّد نظم جمع المياه العادمة القديمة عدداً من المشاكل، بما فيها الخرسانة المتآكلة والبلاط المتصدع والانهيار والانسداد. وقد تكون معالجة هذه المشاكل مكلفة. وقدَّرت وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة (2016) أن عمليات تصحيح مجمعات مياه المجاري، وإعادة تأهيل واستبدال نظم النقل القائمة، وتركيب نظم تجميع مجارٍ جديدة تمثل 52% من الاستثمارات البالغة 271 مليار دولار أمريكي لتلبية احتياجات البلد من البنية التحتية اللازمة للمياه العادمة.

15-2 مجاري الصرف الصحي منخفضة التكلفة

بسبب ارتفاع تكاليف مجاري الصرف الصحي التقليدية، وُضعت طرق لتصوّر إنشاء مجار للصرف الصحي منخفضة التكلفة وذلك استجابة للتحديات التي تواجهها معظم البلدان النامية، وهي: انخفاض أسعار (الخدمة) إلى جانب عدم كفاية الميزانيات الحكومية، وارتفاع معدلات الفقر والبنية التحتية باهظة التكلفة. وتأتي هذه النظم منخفضة التكلفة في عديد من الأنواع المختلفة، لكنها عادة ما تستخدم شبكات أنابيب ذات قطر أصغر، وتوضَع في معاملات انحدار وفي أعماق ضحلة تحت الأرض. وتختلف مبادئ التصميم عن تلك المستخدمة في النظم التقليدية في الصرف الصحي وتركّز أيضاً على مفهوم نقل مياه المجارير الخالية من المواد الصلبة في الشبكة، مع وضع صناديق اعتراضية (على غرار خزانات الصرف الصحي الصغيرة) لجمع المياه العادمة الخام من الأسر المعيشية أو مجموعة من الأسر المعيشية. وتلائم هذه النظم إدارة المجتمع المحلي وهي كذلك مناسبة جداً لتمديد وتوسيع النظم القائمة. وعيبها الوحيد أنها غير مناسبة لتصريف مياه الأمطار.

وكان أول من استخدم هذا المفهوم هو (Carlos Melo, 2005) من البرازيل. وقد أصبحت نظم الصرف الصحي منخفضة التكلفة طريقة مفضلة للأحياء السكنية من جميع مستويات الدخل، حيث إن لها جميع الخصائص المطلوبة لتكون «النموذج النمطي» القائم بالفعل في جميع مجاري الصرف الصحي. ومع ذلك، فإن المحافظة التي تبديها سلطات الصحة العامة ومهندسو الصرف الصحي أدت إلى قبول متقطع فقط في جميع أنحاء العالم. وقد اعتمدت أستراليا نهجاً منخفض التكلفة في بعض أنحاء البلد (Palmer et al., 1999)، ومن المرجَّح أن تكتسب النظم منخفضة التكلفة شعبية. ويمكن استخدام هذه النظم أيضاً لربط المجتمعات المحلية النائية بالنظم المركزية، وقد استخدمت في بيئات اللاجئين

(Van de Helm et al., 2015) (انظر القسم 10-2-1).
وطرحت (Mara and Alabaster, 2008) نظاماً شبكياً على مستوى الأحياء كوسيلة فعالة من حيث التكلفة لتقديم الخدمات للمراكز الحضرية الثانوية الأصغر حجماً. وفي هذه المرحلة، لا توجد بعد أمثلة كثيرة على التكنولوجيا التي يجري تقييمها، لكن بيانات التكلفة، ولا سيّما من بلدان مثل البرازيل، تبيِّن بوضوح أنه يمكن أن تكون مستدامة مالياً. وفي البرازيل، تبين التكلفة أن مجاري الصرف المبسطة (وهي نوع من المجاري منخفضة التكلفة) لكل شخص أقل مرتين من تكلفة المجاري التقليدية للصرف الصحي (أي 170 دولاراً أمريكياً مقابل 390 دولاراً أمريكياً) (Mara, 1996).

3-15 مجاري الصرف الصحي المشتركة

يمثل مصدر المياه العادمة أحد المسائل الهامة المتعلقة بجمع المياه العادمة. ففي النظم القديمة، مثل تلك المستخدمة في باريس، صُمِّمت المجاري الأصلية (من عام 1852) فقط لمياه الأمطار والمياه الرمادية؛ ثم فرض مرسوم لاحق في عام 1894 على أصحاب المنازل تصريف جميع أنواع المياه العادمة، بما فيها المياه السوداء، في المجاري المشتركة (Bernhardt and Massard – Guilbaud, 2002; Tréhu, 1905). وعلى الرغم من أن مجموعة متنوعة من المستخدمين متصلون بشبكات المجاري، فقد صُمِّمت معظم النظم على ما يسمى بـ «النظم المشتركة»، حيث يتم تصريف مياه الأمطار وغيرها من أنواع الصرف السطحي من المناطق الحضرية إلى المجاري. وقد تم ذلك من أجل الحدّ من تكاليف شراء أنابيب صرف ذات قطر كبير، لكنها أدّت إلى تخفيف مياه المجارير في فترات هطول الأمطار المرتفعة. وعلى الرغم من أن هذا قد يكون مقبولاً عندما تكون الكثافات السكانية منخفضة والقدرة الاستيعابية للمياه القادمة كافية، فإن التطورات الأخيرة وتوسعات المدن أدت إلى مزيج معقد وخَطِر غالباً من مواد كيميائية وبيولوجية مختلفة. ولذلك لا ينبغي عموماً اعتبار مجاري الصرف الصحي المشتركة حلاً فعالاً. وفي محاولة للابتعاد عن النظم المشتركة، فقد اضطُلع بالكثير من العمل بشأن نظم الصرف الصحي الحضرية المستدامة (Armitage et al., 2013).

وتُعدّ نظم مجاري الصرف الصحي مناسبة لما يسمى التلوث «من مصادر ثابتة»، لكن يكمن التحدي الحقيقي في كيفية معالجة التلوث المنتشر أو التلوث من مصادر غير ثابتة. وهناك مصدران رئيسيان لهذا التلوث، هما الصرف السطحي من الأراضي الزراعية التي ألقيت فيها أسمدة، والصرف السطحي من المناطق التي تربّى فيها الثروة الحيوانية بكثافة، نظراً لما يوجد غالباً في هذه المياه من أدوية مستخدمة لأغراض بيطرية (انظر الفصل السابع). وعلى الرغم من أن كثيراً من المنشآت الزراعية المكثفة تقوم بتركيب نظم جمع ومعالجة (انظر الإطار 15-1)، فلا تزال هذه الممارسة غير عامة بسبب ارتفاع التكاليف المرتبطة بها و/أو انعدام اللوائح أو الإنفاذ (منظمة الأغذية والزراعة، 2005).

4-15 نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة

إضافة إلى محطات المعالجة المركزية للمياه العادمة، انتشرت النظم اللامركزية أيضاً انتشاراً كبيراً فقد وجدت كثير من المنهجيات المتبعة في نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة، التي روجتها منظمات مثل جمعية بريمن للبحث والتطوير فيما وراء البحار (BORDA) وكذلك جمعية الاتحاد من أجل نشر نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة، مكانها الصحيح كجزء من نظم الصرف الصحي في المناطق الحضرية التي تشهد توسعاً سريعاً وكذلك في بعض المجتمعات المحلية المعزولة التي تُمنع فيها النظم التقليدية للصرف الصحي لأسباب اقتصادية. إن نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة وكذلك الصرف الصحي منخفض التكلفة (انظر القسم 15-2) هما بطبيعة الحال نظامان متكاملان. ويمكن أيضاً أن يكون نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة بمثابة حل متوسط الأجل ريثما تصمَّم النظم المركزية على نطاق واسع إذ توجد مرونة كبيرة في استخدامها.

والواقع أن النظم المركزية الواسعة النطاق لمعالجة المياه العادمة قد لا تكون الخيار الأنسب لإدارة المياه في المناطق الحضرية في كثير من البلدان، نظراً لارتفاع تكاليف الصيانة والاحتياجات من الموارد. وعلاوة على ذلك، فإنها تتطلب في كثير من الأحيان مساحات واسعة من الأراضي وهي غير مرنة بما يكفي لتلبية احتياجات المناطق الحضرية الآخذة في التوسع السريع. وينطبق ذلك على البنية التحتية لإمدادات المياه والمياه العادمة، وجمع مياه الأمطار والصرف الصحي.

وتخدم نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة المنازل الفردية أو مجموعات صغيرة من المنازل وهي تسمح باسترداد العناصر المغذية والطاقة، وتوفير المياه العذبة، والمساعدة في تأمين الحصول على المياه في أوقات الندرة (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015 (ب)). وقد تتطلب هذه النظم استثمارات مبدئية أقل من تلك التي تتطلبها البنى التحتية الأكبر حجماً ذات الأنابيب المركزية، وهي أكثر فعالية في التأقلم مع الحاجة إلى توسيع نطاق الخدمات (أو تضييقها) بحسب الاحتياجات. ومع ذلك، فهي تتطلب أفراداً يتمتعون بالحد الأدنى من التدريب لإدارتها وتشغيلها وصيانتها. ومن خلال التكنولوجيات اللامركزية، يمكن للأحياء المستدامة في المدن أن تحل جزئياً محل النظم العامة التقليدية (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2013(ب)). وقد يتمثل التحدي الذي تواجهه نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة في أن المجتمعات المحلية تحتاج إلى قبول فكرة أنها تعيش بالقرب من مرافق المعالَجة، ولذلك يجب بذل الجهود لجعل هذه المحطات مقبولة من الناحية الجمالية. ولهذا السبب، غالباً ما يفضل تشييد هذه النظم على أغوار القصب.

5-15 الإدارة اللامركزية لمياه الأمطار

توفر مصارف مياه الأمطار اللامركزية إمكانات جيّدة فيما يخص تكنولوجيات «التحكم بالمصادر» التي تعالج مياه الأمطار بالقرب من نقطة التوليد. فعلى سبيل المثال، تلتقط الأسطح الخضراء أو غيرها من

الأسطح المشابهة مياه الأمطار قبل أن تجري على أرصفة وشوارع ملوثة. ويمكن لهذه الحلول أن تخفف من ذروة التدفقات، وتقلّل من مخاطر الفيضانات والتلوث في المناطق الحضرية، وتقلل من الحاجة إلى الاستثمارات في البنَى التحتية الصعبة ومرافق المعالجة الإضافية. ويمكنها جذب الاستثمارات الخاصة، ما يشجّع مطوري العقارات والأراضي على الاستثمار في المباني الجديدة المزودة بنظم الصرف المحلية. وقد يتطلب ذلك إدخال تغييرات على اللوائح الداخلية المحلية، إذ ستحدد اللوائح المحلية الاختيار النهائي إلى حد كبير.

ومن ناحية أخرى، فإن الصرف اللامركزي لمياه الأمطار لا يوفر إلا حلاً واحداً للاحتفاظ المؤقت بها، إذ ستحتاج المياه في نهاية المطاف إلى نقلها إلى نظم مجاري الصرف الصحي. وفي بعض الحالات، ستكون تكاليف الصيانة أعلى، لكنّ النظم اللامركزية تساعد على تحقيق فوائد مثل تحسين رفاه الإنسان، واستيعاب تلوث الهواء والاحتفاظ بالرطوبة، مما يؤدي إلى خفض درجة الحرارة المحيطة وتخفيف حدّة أثر الجزر الحضرية الحارة، وهذا يسهم في نهاية المطاف في تخضير المدن. ويمكن أيضاً استخدام اللوائح اللامركزية لمعالجة الصرف السطحي المتدفق من الطرق السريعة.

وتزداد الخبرات المكتسبة في مجال تنفيذ واستغلال الصرف الصحي اللامركزي والصرف في المناطق الحضرية. ومع ذلك، يجب التغلب على بعض الحواجز، مثل التصورات الاجتماعية والصعوبات المرتبطة بإعادة التهيئة. ومع ذلك، فإن تجربة مدينة سوون (انظر الإطار 15-2) تشير إلى إمكانية حدوث ذلك. ويمكن أن يمثل عدم اتساق السياسات حواجز إضافية، على سبيل المثال عندما لا تعكس أسعار المياه تكلفة الفرصة البديلة لاستخدام الموارد، أو عندما لا تأخذ عملية استخدام الأراضي والتنمية الحضرية خطر الفيضانات الحضرية في الاعتبار. وهناك تحدٍّ آخر يتمثّل في الحاجة إلى إدارة المياه العادمة على مستويات مختلفة (من المباني إلى مستوى البلديات، إلى مستويات أكبر). ويمكن التغلب على هذه الحواجز عن طريق مجموعة من الحملات الإعلامية، ونهج حكومي كامل لإدارة المياه في المناطق الحضرية (بما في ذلك السياسات والقوانين واللوائح)، ونماذج الأعمال الخاصة بمرافق المياه وتطوير الأراضي، التي تؤثر على العوامل الخارجية المتعلقة بإدارة المياه العادمة، ورؤية طويلة الأجل للتحديات في قطاع المياه وفرص التنمية الحضرية.

15-6 تطور تكنولوجيات المعالَجة

أُحرِز تقدم كبير في تكنولوجيات المعالجة، منذ التطور الأصلي للنظم الهوائية (مثل الحمأة المنشَّطة ومرشحات التقطير) خلال العشرينيات من القرن العشرين. وقد كان اختيار نظم المعالجة مدفوعاً بالحالة الاقتصادية السائدة أو بعوامل أخرى مثل الاحترار العالمي وندرة المياه وقضايا جودة البيئة و/أو تخطيط استخدام الأراضي. وفي المراكز التي تتسارع فيها وتيرة التمدد الحضري في جميع أنحاء العالم، أعطيت الأولوية لمنع تفريغ المواد الكربونية من أجل حماية المياه المحرومة من الأكسجين.

الإطار 15-1 جمع المياه العادمة وإعادة تدويرها من الصوبات الزراعية في إثيوبيا

تنتج شركة شير إثيوبيا (Sher Ethiopia) الورود لتصديرها وتوظف حوالي 10000 شخص من السكان المحليين. وتنتج الزهور في صوبات كبيرة تقع بجوار بحيرة زيواي في بلدية زيواي الإثيوبية، التي تعتمد على البحيرة لمياه الشرب والغذاء (مصائد الأسماك). وتستخدم المياه من البحيرة أيضاً للري الزراعي، بما فيها 500 هكتار من الورد.

وقبل البدء في المشروع، كانت مختلف أشكال المياه العادمة تُصرف من الصوبات الزراعية (الصرف السطحي لمياه الأمطار، والمياه المستخدمة في خزانات التنظيف، وعربات الرش، والخراطيم، ومراحيض الحفر) مباشرة في البحيرة. ومنذ عام 2008، عملت شير إثيوبيا على التوقف عن تصريف السوائل، مع تجميع كل مياه الصرف المعالجة ومعالجتها في الأراضي الرطبة المبنية. وتخزَّن النفايات السائلة في الخزانات ثم تضاف في نهاية المطاف إلى مياه الري في الصوبات الزراعية. وموَّلت الحكومة الهولندية البحث والتنفيذ اللازمين للمشروع التجريبي.

ولم يكن لدى شركة شير ثقة كبيرة في أن يكون لهذا النظام الطبيعي مثل هذا التأثير الإيجابي، لكن خلال الدراسة التجريبية قرروا تنفيذه في جميع الصوبات الزراعية. وفي نهاية عام 2016، كانت 31 أرضاً رطبة مشيَّدة تعمل، وتعالج 500 متر مكعب من المياه يومياً، يُعاد استخدامها داخل المرافق، ما يقلل بشكل كبير من التأثير البيئي (البصمة المائية) للشركة.

المصدر: فان داين وبوون، 2015. مقتبسة من: فرانك فان داين وأنجيلا رينانا كورديرو أوتيغارا (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية).

الإطار 15-2 إزالة المياه العادمة في مدينة سوون، جمهورية كوريا

تعتبر مدينة سوون مثالا جيداً على كيفية نشر اللامركزية في تجميع مياه الأمطار، بما في ذلك البيئات الكثيفة والمبنية، حيث توجد بالفعل بنية تحتية مركزية متصلة بالأنابيب (انظر منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015 (ب))، لمزيد من التفاصيل والتطورات. ويتعين على هذه المدينة البالغ عدد سكانها 1.1 مليون نسمة الحصول على معظم مياهها من أماكن أخرى. وهكذا بدأت المدينة في مشروع «مدينة المطر»، من أجل الحد من اعتمادها على مصادر المياه البعيدة. ويستخدم المشروع مياه الأمطار استعدادا لتخزين المياه في المستقبل. وقد تضمنت المرحلة الأولى من المشروع (2009-2011) التخطيط (بما في ذلك المبادئ التوجيهية المتعلقة بتركيب وتشغيل نظم تجميع مياه الأمطار) والتثقيف والدعم المالي العام القوي. وتشمل المرحلة الثانية (2015- 2018) تركيب مرافق إعادة تدوير مياه الأمطار بسعة 10000 متر مكعب و150 خزاناً صغيراً لخزن مياه الأمطار، وتبلغ ميزانية المدينة 10 مليارات وون كوري (حوالي 9 ملايين دولار أمريكي) (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015 (ب)).

وتمت «تلبية» الطلب على الأكسجين باستخدام كميات كبيرة من الطاقة لتشجيع نمو الكتلة الحيوية الميكروبية (الحمأة)، التي فُصِلت عن النظام واستُخدمت في الزراعة أو ألقيت في البحر. وشهدت التطورات اللاحقة نظم تهوية ممتدة لتقليل الكمية النهائية من الكتلة الحيوية للتخلص منها، إذ كان ذلك مسؤولاً عن نسبة كبيرة من تكاليف المعالَجة.

وأثناء أزمة النفط في السبعينيات، أصبح الهضم اللاهوائي الوسيلة المفضلة لمعالجة المياه العادمة والحمأة، وذلك بسبب انخفاض كمية الطاقة المتاحة. وشهدت حقبة ثمانينات وتسعينات من القرن الماضي اهتماماً متزايداً بإزالة العناصر المغذية، خاصة في العالم المتقدِّم، حيث أدى تفريغ العناصر المغذية إلى إغناء المسطحات المائية بالمغذيات في كثير من مناطق العالم. وخلال الفترة نفسها، تحقق تقدم كبير في استخدام نظم معالجة أكثر طبيعية مثل بِرك ترسيب النفايات ونظم أغوار القصب. وتؤدي هذه الأنواع من النظم إلى خفض فعال في مسببات الأمراض بقليل من رأس المال والتكاليف التشغيلية. وفي الواقع، فإنه حتى في الاقتصادات المتقدمة، تجد هذه الأنواع استخداماً في نظم المعالجة المجتمعية الصغيرة. وقد شهدت أحدث الاتجاهات نظم معالجة تتصدى لمسألة خفض انبعاثات غازات الدفيئة. وبالتوازي مع ذلك، أجريت بحوث كثيرة، ولا سيما في المناطق النامية من العالم، بشأن النظم التي تركز على الحد من المخاطر البكتيريولوجية.

وترد في الجدول 4-2 تفاصيل إضافية تتعلق بأنواع مختلفة من تكنولوجيات المعالَجة.

7-15 استخراج المعادن من مجاري الصرف الصحي وفصل المكونات

كثيراً ما كانت الضرورة دافعاً وراء الاستخدام المباشر النشط للمياه العادمة والعناصر المغذية التي تحتوي عليها، غير أن استخدامها لأغراض الترفيه أو لأغراض أخرى قد وُثِّق في العديد من المناطق المتقدمة (انظر الإطار 15-3).

وتبرز تكنولوجيات جديدة تسمح بتحديث محطات معالجة المياه العادمة إلى «مصانع» يتم فيها تفكيك المواد الواردة إلى وحدات مثل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون والمعادن النظيفة. ويتبع ذلك عملية إعادة توليف ميكروبية فعالة وعالية الكثافة حيث يجمع النيتروجين المستخدَم كبروتين ميكروبي (بكفاءة تصل إلى 100%)، يمكن استخدامه في أغذية الحيوانات والغذاء (Matassa et al., 2015).

واقترح نهج جديد آخر تخضع فيه المياه المستعملة لإجراء يسمح باستيعاب موادها العضوية وغير العضوية في الكتلة الحيوية للأسماك. وتُجمع الأسماك وتعالَج لتصبح مصدراً للأعلاف أو الأغذية. ويمكن استخدام المياه المتبقية للري أو تصرَف. وفي الواقع، تزال المواد العضوية وغير العضوية الموجودة في المياه المستعملة الواردة إلى حد كبير في شكل الأسماك المجموعة (Crab et al., 2012).

وتتمثل السمات الرئيسية لكلا المفهومين في معالجة المياه العادمة في أنها لا تتبع مسار تدمير القيمة الغذائية الموجودة في المياه المستعملة. بل على العكس من ذلك، فإنها تضيف شكلاً من أشكال الطاقة المتجددة للسماح للميكروبات الهوائية بتحسين العناصر المغذية إلى الخلايا الميكروبية التي تنمو في كتل متلبدة، وهي تجمع هذه الأخيرة عن طريق تغذية الأسماك عليها. وفي هذه الحالة الأخيرة، تعالّج الكتلة الحيوية لتصبح أكثر استخداماً كعلف أو كغذاء.

وفيما يتعلق بعزل مكونات المياه العادمة المفيدة وفصلها، فمن المرجح أن يصبح جمع البول واستخدامه عنصراً متزايد الأهمية في إدارة المياه العادمة الإيكولوجية، إذ إنه يحتوي على 88% من النيتروجين و66% من الفوسفور الموجود في النفايات البشرية (Maksimović and Tejada -Guibert, 2001; Vinnerås, 2001).

الإطار 15-3 استغلال المياه العادمة في سيدني، أستراليا

تحمل أنابيب الصرف الصحي التي تمر عبر ملعب للجولف المياه العادمة من حوالي ألف منزل إلى بلدة مانلي الساحلية، حيث تتلقى المعالجة الأولية (معاجة سطحية جداً) ثم تُلقى في البحر. واستهدف المشروع استغلال المياه العادمة التي كانت تلقى من غير معالجة والتي كانت تسهم أيضاً في تلوث المحيط، وكان على نادي الغولف أن يتوخى الحذر خلال ساعات الذروة التي تتدفق فيها مياه المراحيض والاستحمام - في الصباح والمساء - بحيث لا يتداخل ذلك مع الضغط ومعدل التدفق اللازمين للحصول على مياه المجارير المتبقية لبلدة مانلي.

وقد خفض المشروع كميات المياه الصالحة للشرب الواصلة إلى بينانت هيلز بنسبة 92%، ونتيجة لذلك حصل النادي على جائزة من شركة سيدني للمياه. وبسبب استخدام النادي للمياه العادمة المعالَجة في الموقع، لم تعد مياه سيدني بحاجة إلى تزويدها بحوالي 70 ألف متر مكعب سنوياً من مياه الشرب.

وإضافة إلى ذلك، فإن النيتروجين الموجود في مياه المجارير قد قضى افتراضياً على الحاجة إلى تسميد ملعب الجولف: حيث تُضاف كميات صغيرة من النيتروجين في كل مرة يُروى فيه العشب الأخضر. ومع ذلك تُعوَّض وفورات الأسمدة إلى حد ما، على الرغم من الحاجة إلى إضافة الجبس إلى التربة لمواجهة الصوديوم الزائد في المياه المستردَّة.

وعموما، أثبت النظام أنه طريقة فعالة من حيث التكلفة لمقاومة جفاف الروابط والحدّ من الضغوط على إمدادات المياه في سيدني. كما أن لاعبي الغولف سعداء بذلك غالباً.

المصدر: مقتبسة من Postel (2012).

الفصل السادس عشر

برنامج اليونسكو الهيدرولوجي الدولي: سارانتويا زانداريا وبلانكا جيمينيز -سيسنيروس

بمساهمات من: منظور قادر (جامعة الأمم المتحدة - الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة)؛ باي درشسيل (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ خافيير ليفلايف (إدارة البيئة في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي)؛ تاكاهيرو كونامي (برنامج اليونسكو الهيدرولوجي الدولي)؛ ريتشارد كونور (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية)؛ ووزارة الأراضي والبنية التحتية والنقل والسياحة في اليابان

إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد

علامة تحذيرية تفيد بأن المياه المستخدمة هي مياه منقّاة (معاد استخدامها)

يعرض هذا الفصل مجموعة واسعة من الفرص للاستخدام الآمن والمفيد للمياه العادمة المعالَجة وغير المعالجة واستعادة المنتجات الثانوية المفيدة، بما فيها الطاقة والعناصر المغذية. كما تُعرض نماذج الأعمال والمنهجيات الاقتصادية، جنباً إلى جنب مع الاستجابات المحتملة المتعلقة بإدارة المخاطر والاعتبارات التنظيمية، والتقبل الاجتماعي.

تكتسب إعادة استخدام المياه زخماً كمصدر بديل موثوق للمياه العذبة في مواجهة الطلب المتزايد على المياه، ما يحوِّل نموذج إدارة المياه العادمة من «التخلص» إلى «إعادة الاستخدام واسترداد الموارد». ثم إن ممارسات الإدارة الفعالة والابتكار التكنولوجي والسياسات التنظيمية المناسبة ستتيح فرصاً أخرى. ومن المحتمل أن تشكل المياه العادمة أيضاً مصدراً مهماً للطاقة القابلة للاسترداد والعناصر المغذية والمواد القيمة الأخرى.

وقد أصبحت إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد من المياه العادمة مجالاً يتطور فيه العلم والابتكار التكنولوجي بسرعة، مع تطبيقات واعدة ليس في إعادة الاستخدام الآمن فحسب، بل أيضاً في مجالات غير تقليدية أخرى، مثل استعادة المنتجات الثانوية، وتعزيز البيئة والفوائد الاقتصادية.

ويبين الشكل 16-1 إعادة استخدام المياه على الصعيد العالمي بعد المعالجة المتقدمة (الثالثة). ومع ذلك، فمن المهم أن نلاحظ أن كمية المياه العادمة التي تخضع للمعالجة الثالثة لا تساوي سوى جزء صغير جداً من المياه العادمة المنتجة في جميع أرجاء العالمً (انظر المقدمة).

16-1 إعادة الاستخدام المفيد للمياه

تعتبر إعادة استخدام المياه عملية مجدية اقتصادياً وجذابة عندما تكون هناك إمكانية لاسترداد التكاليف عن طريق معالجة المياه العادمة وفقاً لمعيار جودة المياه المقبول لدى المستخدمين. إن استرداد التكاليف عن طريق بيع مياه الصرف المعالَجة لاستخدامها في مجال الري محدودٌ بسبب الدعم الكبير المقدَّم للري، وخاصة في البلدان النامية. أما في الصناعات، فيمكن تسعير المياه العادمة المعالَجة بشكل رئيسي لتحقيق زيادة في استرداد التكاليف بدلاً من تحقيق الربح (انظر القسم 16-3).

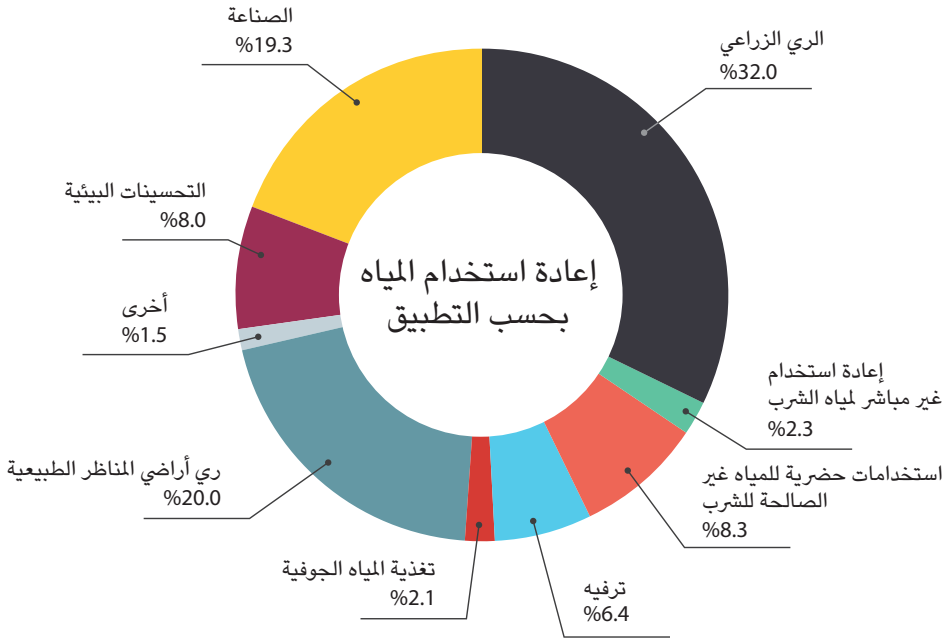
16-1-1 إعادة استخدام المياه في الزراعة

الري بالمياه العادمة. يمثِّل الري غالبية مياه الصرف المعالَجة ومياه الصرف غير المعالَجة ومياه الصرف المعالَجة جزئياً في جميع أنحاء العالم (انظر الفصل السابع). ففي إسرائيل، على سبيل المثال، بلغت نسبة المياه العادمة المعالَجة 40% من إجمالي المياه المستخدمة للري في عام 2011 (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2011(ب)).

وظلت المياه العادمة غير المعالَجة أو المخففة تُستخدَم للري لقرون عدة. ويتمثل التحدي الرئيسي في استخدام المياه العادمة في الري في التحول من الاستخدامات غير الرسمية وغير المخططة للمياه العادمة غير المعالَجة أو المعالَجة جزئياً إلى الاستخدامات الآمنة المخطط لها. ويتطلب ذلك برامج تشغيل خاصة بمواقع محددة و«نماذج أعمال» (Otoo and Drechsel, 2015; Saldias Zambrana, 2016; Scott et al., 2010) وتدابير السلامة مثل تلك المبينة في المبادئ التوجيهية للتخطيط الآمن للصرف في منظمة الصحة العالمية (منظمة الصحة العالمية، 2016 (ب)).

استخدام المياه العادمة في تربية الأحياء المائية. إن الاستخدام المتعمد للمياه العادمة في تربية الأحياء المائية (انظر القسم 7-2-1 والإطار 5-3) آخذ في الانخفاض في جميع أنحاء العالم بسبب الشواغل المتعلقة بالسلامة وفقدان مساحات الأراضي القريبة من الأسواق الحضرية، على الرغم من ممارسة هذا الاستخدام لقرون عدة في جميع مناطق العالم تقريباً، ولا سيّما في آسيا. ولهذا الاستخدام آثار إيجابية على إنتاج الأغذية، إذ إن الفوائد التغذوية الناتجة عن تربية الأحياء المائية المغذّاة على المياه العادمة كبيرة (منظمة الصحة العالمية، 2006(أ)). ولا يزال استخدام المياه العادمة في أحواض الأسماك منتشراً في الصين، والهند، وإندونيسيا، وفيتنام. وتحدث عملية تربية الأحياء المائية المغذاة على النفايات بطريقة عَرَضّية في بنغلاديش عن طريق الاستزراع السمكي في المسطحات المائية التي تحتوي على مياه ملوثة بالبراز. ولا تزال المخلفات البشرية مستخدمة في تربية الأحياء المائية في الصين، ولا سيّما في المناطق الريفية النائية، لكنّ هذه الممارسة آخذة في الانخفاض. ولا يُعدّ الاستخدام المتعمد للمياه العادمة في تربية الأحياء المائية ممارسة تقليدية في أفريقيا، لكن تُربَّى الأسماك المعدَّة للاستهلاك البشري في البحيرات الملوثة بالبراز. ويوفِّر استخدام المياه العادمة لإنتاج أعلاف الأسماك، مثل الطحالب البطية، بديلاً أكثر سلامة. ففي ليما (بيرو)، تبيَّن أن استزراع سمك البلطي من أجل الغذاء في مياه الصرف المعالَجة بطريقة المعالجة الثالثة يتيح فرص عمل ويحسِّن كفاءة استخدام المياه في بيئة صحراوية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2002).

الشكل 16-1 إعادة استخدام المياه على الصعيد العالمي بعد المعالَجة المتقدمة (الثالثة): حصة السوق حسب التطبيق



المصدر: Lautze et al., 2014، الشكل 2، ص 5، استناداً إلى بيانات الاستخبارات العالمية للمياه).

الإطار16-1 التجربة الفريدة لإعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب في ويندهوك، ناميبيا

كان استخدام المياه المستردة الخيار الوحيد الميسور التكلفة لمدينة ويندهوك لمواجهة نقص المياه الناجم عن النمو السكاني وزيادة الطلب وانخفاض معدلات هطول الأمطار بعد أزمة المياه التي حدثت في عام 1957. وقد أدَّى ذلك إلى أول تطبيق واسع النطاق لإعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب في محطة استصلاح المياه العادمة في ويندهوك بناميبيا- وهي أطول تجربة في العالم منذ عام 1969. وخلال أكثر من 40 عاماً من التشغيل، تم التحقق من سلامة الدراسات الوبائية ولم يُبلّغ عن أي مشاكل صحية. وتنتج عملية المعالَجة المتقدمة متعددة الحواجز مياها نقية تلبي جودتها جميع معايير مياه الشرب المطلوبة. وتدمج المحطة الجديدة، التي أنشئت عام 2002، تحديثاً تكنولوجيا كبيراً.

ويُعزَى نجاح المحطة المستمر إلى عوامل عدة، منها: الرؤية والتفاني الكبير لرواد استرداد المياه الصالحة للشرب؛ والحملات الإعلامية والتثقيفية الممتازة التي تدعم عملية التقبّل؛ وغياب المشاكل الصحية المتصلة بالمياه؛ والنهج متعدد الحواجز؛ والعملية الموثوقة والعمليات عبر الإنترنت ومراقبة نوعية المياه؛ وعدم وجود بدائل عملية تقريباً (Lahnsteiner et al., 2013).

الإطار 16-2 أكبر حالة لإعادة استخدام المياه بشكل عَرَضي للاستهلاك البشري، المكسيك

وادي تولا في المكسيك هو حالة واضحة لإعادة استخدام المياه بشكل عَرَضي. فلأكثر من 110 أعوام، استُخدِم ما يصل إلى 52م3/ث من المياه العادمة غير المعالَجة من مدينة مكسيكو لري وادي تولا. وقد أدى ذلك إلى إعادة التغذية العرضية لخزان المياه الجوفية، الذي يُستخدم كإمدادات مائية للاستهلاك والأنشطة الأخرى لنحو 500000 شخص. وبفضل العمليات الطبيعية، تتوافق نوعية المياه كمصدر إمدادات للمياه. ثم إن إعادة تغذية طبقة المياه الجوفية كان لها أثر إيجابي على الظروف البيئية والاجتماعية والاقتصادية المحلية، وساهمت كذلك في تنمية منطقة فقيرة (Blanca Jimenez-Cisneros, 2008).

الإطار 3-16 إدارة المياه واستخدام المياه العادمة لا مركزيا: تجربة سان فرانسيسكو، كاليفورنيا

تقوم لجنة المرافق العامة في سان فرانسيسكو (SFPUC) في الولايات المتحدة الأمريكية بتبني نظم المعالجة اللامركزية للمياه لتوفير خدمات المياه والصرف الصحي التكميلية. وفي غياب اللوائح الفدرالية، أطلقت اللجنة برنامجاً محلياً لتنظيم استخدام المياه في الموقع يُسمى برنامج المياه غير الصالحة للشرب، الذي يخلق عملية مبسطة للتطورات الجديدة لجمع ومعالجة وإعادة استخدام مصادر المياه البديلة، بما فيها المياه الرمادية والمياه السوداء، من المباني التجارية والسكنية الكبيرة من أجل تلبية احتياجاتهم من المياه غير الصالحة للشرب. وتضع اللجنة مبادئ توجيهية للمطورين المهتمين بتركيب شبكات المياه غير الصالحة للشرب في المباني. وفي وقت لاحق، أعادت اللجنة تنظيم السياسات الحكومية ووضعت إطاراً تنظيميّاً جديداً من خلال التعاون مع إدارات سان فرانسيسكو المسؤولة عن التفتيش على المباني والصحة العامة.

وسمحت لجنة المرافق العامة في سان فرانسيسكو للأسواق الصغرى بالظهور إذا ما قام اثنان أو أكثر من المباني بمشاركة المياه أو شرائها أو بيعها من غير وجود وكالة عامة تقدِّم هذه الخدمة. ويقوم البرنامج بتحويل عبء التشغيل والصيانة والالتزام بجودة المياه إلى القطاع الخاص في حين يتولى القطاع العام الرقابة لضمان حماية الصحة العامة ونظام المياه العام (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015 (ب)).

مقتبسة من زافير ليفلايف (رئيس فريق المياه – منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي) مساهمة من خافيير ليفلايف (رئيس فريق المياه، إدارة البيئة في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي).

2-1-16 إعادة استخدام المياه في المناطق الحضرية

توفِّر **المياه المنقَّاة** (بعد المعالَجة «المتوافقة مع الغرض») فرصاً لإمدادات مياه موثوقة ومستدامة للمناطق الحضرية (انظر الفصل الخامس)، حيث يعتمد عدد متزايد من المدن على مصادر مياه بعيدة و/أو بديلة لتلبية الطلب المتنامي.

ويعتمد **إعادة الاستخدام غير المباشر لمياه الشرب** (IPR) على تسرب المياه العادمة المعالَجة إلى المياه السطحية والمياه الجوفية، إذ تؤدي العمليات الطبيعية (الترشيح، والامتزاز، والتعرض للأشعة فوق البنفسجية، والترسيب، والتخفيف، والانفصال الطبيعي) إلى زيادة نظافة المياه (انظر الإطار 5-2). وبعد إعادة الاستخراج، يجري التعامل مع المياه مثل أي مصدر آخر لمياه الشرب. وبالتالي فإن إعادة الاستخدام غير المباشر لمياه الشرب توفر خياراً عملياً لزيادة مصادر مياه الشرب الأخرى، شريطة أن يجري رصد دقيق لتحقيق الامتثال لمعايير المياه الصالحة للشرب والمبادئ التوجيهية. وتعتبر نيوواتر في سنغافورة (انظر الإطار 16-9) مثالاً على إعادة استخدام المياه الصالحة للشرب بطريقة غير مباشرة، لكن نظراً للمخاوف بشأن التقبّل العام، لا يُحقَن سوى جزءٌ صغير من المياه المستردة في خزانات المياه العذبة في سنغافورة لأغراض إعادة الاستخدام غير المباشر.

وتكتسب **إعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب** (DPR) اهتماماً بالتطورات الأخيرة في توافر التكنولوجيات المناسبة لمعالجة المياه وبالقدرة على تحمل تكلفتها (انظر القسم 5-5-1). وتتطلب إعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب رصداً صارماً إلى أقصى حدٍّ لجودة المياه للقضاء على أية مخاطر على الصحة العامة ولتلبية المتطلبات الصارمة لجودة المياه. وفي ويندهوك بناميبيا، التي تفتقر إلى بدائل المياه الميسورة التكلفة، يعالج ما يصل إلى 35 في المائة من المياه العادمة في المدينة وتُمزج مع مصادر أخرى لمياه الشرب من أجل زيادة إمدادات مياه الشرب (انظر الإطار 16-1) (Lazarova et al., 2013).

ولا تزال إعادة استخدام المياه الصالحة للشرب غير المخطط لها للإمدادات الحضرية تحدث من خلال تصريف المياه العادمة غير المعالَجة أو غير المعالَجة على نحو كافٍ إلى مصادر المياه السطحية والجوفية (انظر الإطار 16-2) ولا تزال تمثِّل تحدياً، خاصة في أحواض الأنهار المكتظة بالسكان في جميع أنحاء العالم.

إعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب. والعامل الرئيسي وراء التوسع السريع في إعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب المنصرفة من المناطق الحضرية (انظر القسم 5-5-2) هو أن المياه لا تحتاج بالضرورة إلى الامتثال لمعايير جودة المياه الصارمة (بمعنى معالجة «مناسبة للغرض»).
ومع ذلك، فإن المخاطر المتعلقة بالاتصال المباشر مع المياه المستردة والتلوث عبر الوصلات تمثل مصدر قلق يتعين التعامل معه من خلال تدابير رقابية صارمة. ويمكن أن تفرض التكاليف المرتفعة لبناء وصيانة البنية التحتية الكافية للحفاظ على المياه المستردة المنفصلة عن المياه الصالحة للشرب (أي نظم التوزيع المزدوجة) قيوداً مالية. ومع ذلك، فإن هذه النظم التي يمكن دمجها بسهولة في النظم المتطورة الحضرية الجديدة، تتوسَّع حالياً في أوروبا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية (انظر الإطار 16-3) (Asano et al., 1996; Grigg et al., 2013; OECD, 2015b).

16-1-3 إعادة استخدام مياه الصناعات

تشمل إعادة استخدام مياه الصناعات (انظر الفصل السادس) إعادة تدوير المياه العادمة الصناعية للاستخدامات الصناعية (مياه العمليات) والاستخدامات غير الصناعية (الري، وري أراضي المناظر الطبيعية، والاستخدامات الحضرية للمياه غير الصالحة للشرب، الخ). ويمكن للصناعات أيضاً استخدام المياه العادمة البلدية المعالَجة. وقد استُخدِمَت المياه الصناعية المعاد تدويرها كمياه عملية في محطات توليد الطاقة، وصناعة المنسوجات، وصناعة الورق، ومصافي النفط، والتدفئة والتبريد، وأعمال الصلب لفترة طويلة. كما تظهر تطبيقات جديدة لإعادة استخدام المياه الصناعية، مثل استخدام المياه العادمة المعالَجة كمياه تبريد في مراكز البيانات الضخمة (على سبيل المثال، مراكز بيانات غوغل في بلجيكا وجورجيا بالولايات المتحدة الأمريكية). ويمكن أن تؤدي تكنولوجيات إعادة تدوير المياه وتكنولوجيات العمليات بشكل أكثر فعالية إلى إغلاق حلقة المياه المستخدمة في الصناعات (انظر الإطار 14-2)، كما يمكن أن تؤدي إلى الحد من استخدام المياه بأكثر من 90% (Rosenwinkel et al., 2013).

16-1-4 مفهوم «التوافق مع الغرض»

إن إعادة استخدام المياه «المتوافقة مع الغرض» تعني أن مستوى المعالَجة المطلوب تحدده متطلبات نوعية المياه للاستخدام المقصود. وتتطلب معظم خيارات إعادة استخدام المياه غير الصالحة للشرب نوعية أقل من تلك المستخدمة لمياه الشرب، بحيث تكون المعالَجة الثانية كافية في كثير من الأحيان (انظر القسم 5-5). ومع ذلك، تظل هناك حواجز أمام تطبيق هذا النهج على نطاق أوسع، بما في ذلك عدم وجود أطر تنظيمية ومؤسسية ملائمة ومرنة. ويمكن أيضاً الحد من المخاطر الصحية والبيئية المحتملة من خلال تدابير ملائمة لمراقبة السلامة، مثل نهج الحواجز المتعددة (منظمة الصحة العالمية، 2006(أ)) (انظر القسم 16-4).

وقد طُبِّق مفهوم إعادة استخدام المياه «المتوافقة مع الغرض» بنجاح في منطقة المياه البلدية في الحوض الغربي في إلسيغوندو بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية (انظر الإطار 12-2) الذي يعالج المياه في خمسة مستويات مختلفة من الجودة تناسب الاستخدامات المحددة المختلفة (Walters et al., 2013).

الإطار 16-4 استرداد الفوسفور يكتسب زخماً

يحدث الشكل الأكثر شيوعاً لاسترداد الفوسفور من المياه العادمة على هيئة ترسيب حبيبات ستروفيت. وتمثل أكثر الخيارات المالية جاذبية تلك التي يحدث فيها الاسترداد مبكراً ويسمح للمُشغِّل بتجنّب الإزالة المكلِّفة للستروفيت غير المرغوب فيه ضمن نظام المعالَجة. ومع ذلك، ففي ضوء بيع الفوسفور المسترد، لا توجد خيارات مغرية مالياً حتى الآن يمكن أن تتنافس بشكل مباشر مع الأسمدة القائمة على خام الفوسفات في السوق (Schoumans et al., 2015). وقد يُؤدِّي تقلّب الأسعار على المدى القصير، وارتفاع الأسعار على المدى الطويل، وزيادة القلق بشأن انعدام أمن الفوسفور على جدول الأعمال السياسي (المتعلق بشواغل انعدام الأمن الغذائي والتدهور البيئي) إلى توفير حوافز إضافية لإعادة تدوير الفوسفور مقابل التعدين غير المستدام.

استراتيجيات تسويق للفوسفور المُسترَد

نجحت شركة أوستارا في كندا، المتخصصة في إقامة شراكات بين القطاعين العام والخاص من جهة ومع محطات معالجة المياه العادمة من جهة أخرى، في تطبيق استرداد الفوسفور على شكل حبيبات ستروفيت بلورية تحمل علامة «Crystal Green»، والتي يمكن استخدامها كسماد بشكل تجاري، وذلك عن طريق تحويل تشكيل الستروفيت غير المرغوب فيه في الأنابيب. ويتم تقاسم عائدات بيع هذا السماد مع المدينة لتعويض تكاليف المرافق.

وطوَّرت شركة ASH DEC Umwelt AG، التي تتخذ من النمسا مقراً لها، تقنية لترميد الحمأة بطريقة تقضي على مُسبِّبات الأمراض والملوثات العضوية بشكل كامل، تليها معالَجة كيميائية وحرارية لإنتاج سماد متعدِّد العناصر المغذية قائم على الرماد، ويُباع تحت علامة PhosKraft® التجارية.

وبالنظر إلى انخفاض تكاليف التخلص من النفايات، يمكن مقارنة سعر الإنتاج بسعر الأسمدة التجارية. وقُدِّرت فترة استرداد الاستثمارات في محطة كاملة بما يتراوح بين 3 إلى 4 سنوات (Drechsel et al., 2015a).

مساهمة من باي درشسيل (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ وأنجيلا رياناتا كورديرو أوتيغارا (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية)؛ و- ديرك-جان كوك وساكت باندي (جامعة دلفت للتكنولوجيا).

الإطار 16-5 استرداد الطاقة والوقود الحيوي من المركبات الصلبة الحيوية: النهج الشامل (التشريعي والمالي) لليابان

على الرغم من استرداد أكثر من نصف المركَّبات الصلبة الحيوية في اليابان، فلا يُستخدم منها سوى 15% فقط من طاقة الكتلة الحيوية المحتملة. وقد وضعت الحكومة اليابانية هدفا لزيادة هذه النسبة إلى 30% بحلول عام 2020 عن طريق المنهجيات التشريعية، والمعونة المالية، وتشجيع الابتكار، وخفض الضرائب، وتوحيد مواصفات المنتجات الثانوية الناتجة عن المركَّبات الصلبة الحيوية.

ويطلب قانون مجاري الصرف الجديد في اليابان لعام 2015 من شركات مياه المجارير استخدام المركَّبات الصلبة الحيوية كشكل من أشكال الطاقة المحايدة من حيث الكربون. فالإمكانات الكاملة لـ2.3 مليون طن من المركَّبات الصلبة الحيوية في البلد التي تنتجها 2200 محطة معالجة مياه عادمة سنوياً يمكن أن تولِّد 160 غيغاوات/ساعة من الكهرباء سنوياً. وفي عام 2016، تمكَّنت 91 محطة من استرداد الغاز الحيوي للكهرباء و13 نوعا من أنواع الوقود الصلب المنتجة. ومن الأمثلة الرائدة على ذلك مدينة أوساكا التي تنتج 6500 طن من الوقود الحيوي سنوياً
من 43 000 طن من حمأة مياه المجارير الرطبة لتوليد الكهرباء وإنتاج الإسمنت. وتُدفع تعريفة للكهرباء المولَّدة من المواد الصلبة الحيوية بسعر ثابت لكل كيلوواط ساعة كمساعدات مالية لدعم مشغلي مياه المجارير الذين يستثمرون في إعادة استخدام الطاقة من المركَّبات الصلبة الحيوية.

وتشجع حكومة اليابان الابتكار عن طريق دعم التكنولوجيات المتقدمة في إعادة استخدام المركَّبات الصلبة الحيوية. كما يُشجَّع التمويل الخاص من خلال تدبير استهلاك خاص للحد من العبء الضريبي على الشركات الخاصة التي تستثمر في معدات إعادة استخدام الطاقة لمحطات معالجة المياه العادمة. ويجري توحيد قياسات المنتجات الثانية مثل وقود المركَّبات الصلبة من أجل خلق سوق لها.

*المصدر: وزارة الأراضي والبنية التحتية والنقل والسياحة في اليابان**

مساهمة من تاكاهيرو كونامي (اليونسكو-البرنامج الهيدرولوجي الدولي).

* لمزيد من المعلومات، انظر www.mlit.go.jp/en/index.html

16-1-5 استخدام المياه العادمة للفوائد البيئية - تجديد موارد المياه

تشمل الاستخدامات الشائعة للمياه العادمة مقابل الفوائد البيئية تجديد موارد المياه من خلال تغذية المياه الجوفية، واستعادة تدفق الأنهار، وزيادة الماء في البحيرات والبرك، واستعادة الأراضي الرطبة والتنوع البيولوجي (انظر الفصل الثامن).

إعادة تغذية المياه الجوفية. من الممارسات الشائعة إعادة تغذية المياه الجوفية الاصطناعية من خلال الحقن المتعمَّد للمياه المستعملة المعالَجة لأجل الاستعادة اللاحقة أو لأجل تعزيز النظم الإيكولوجية. وتتعلق التقييدات الرئيسية بقدرة الخزانات الجوفية على تخزين المياه ومعدل التغذية. وتوفر إعادة تغذية المياه الجوفية العديد من الفوائد، بما فيها زيادة إمدادات المياه وتخزينها، وصيانة الأراضي الرطبة، ومنع تسرب المياه المالحة.

وينتج مرفق توريل في بلجيكا مياها متسرِّبة عالية الجودة لاستخدامها بطريقة غير مباشرة في مياه الشرب عن طريق تغذية المياه الجوفية في خزانات كثبان سان أندريه للمياه الجوفية، في حين يقدِّم فوائد بيئية مثل منع تسرب المياه المالحة، وإدارة المياه الجوفية المستدامة وتعزيز القيم الطبيعية (Van Houtte and Verbauwhede, 2013). ولا تزال إعادة التغذية غير المتعمدة لخزانات المياه الجوفية بالمياه العادمة المعالَجة أو غير المعالَجة بشكل كافٍ مستمرة في العديد من المناطق. وهذا يحتاج إلى عناية خاصة، إذ يمكن أن تؤدي إلى مخاطر على الصحة البشرية والبيئية.

الإطار 16-6 أمثلة على المباني التي يتم تسخينها وتبريدها بالمياه العادمة

القرية الأولمبية الشتوية لعام 2010، فانكوفر، كندا. تُسخَّن القرية الأولمبية الشتوية لعام 2010، التي حُوِّلت لاحقاً إلى مبانٍ سكنية، بالنفايات السائلة من محطة معالجة المياه العادمة القادمة من قرية مجاورة (Godfrey et al., 2009).

مبنى وينت تاور الشاهق في سويسرا. تُستخدم المياه العادمة لتسخين ذلك المبنى المكوَّن من 28 طابقا في أشهر الشتاء الباردة ولتبريده في الصيف. وتُستخرج طاقة تسخين تبلغ 600 كيلو وات من المياه العادمة المأخوذة من المجاري. كما تُستخدم المياه العادمة للتبريد في الصيف، وامتصاص الطاقة من المبنى. ويُعتبر هذا النظام دليلاً على استخدام المياه العادمة كمصدر من مصادر الطاقة المحايدة من حيث الكربون لتدفئة المباني وتبريدها على مدار العام (HUBER, n.d).

> ينطوي استرداد الطاقة على إمكانيات أعمال كثيرة من حيث الحد من استخدام الطاقة، والتكاليف التشغيلية والبصمة الكربونية

2-16 استرداد الموارد من المياه العادمة والمركَّبات الصلبة الحيوية

1-2-16 استرداد العناصر المغذية

يتطلب استرداد النيتروجين والفوسفور من مياه المجارير أو حمأة مياه المجارير تكنولوجيات متقدِّمة، لا تزال في مرحلة التطوير، لكنها حققت تقدماً كبيراً في السنوات الأخيرة (انظر القسم 15-7). وهناك عدد متزايد من الحالات (مثل بنغلاديش، وغانا، والهند، وجنوب أفريقيا، وسريلانكا، إلخ) حيث تعمل البلديات على تجفيف مياه حمأة التعفين، وكبسها معاً وتفريغها بشكل آمن (Nikiema et al., 2014).ويمكن أن يكون استرداد الفوسفور من مرافق المعالَجة في الموقع مثل خزانات الصرف الصحي والمراحيض ممكناً من الناحية التكنولوجية والمالية عن طريق تحويل مخلفات التعفين إلى أسمدة عضوية أو أسمدة عضوية معدنية. وعلاوة على ذلك، تمثِّل الحمأة البرازية خطراً أقل نسبياً من التلوث الكيميائي مقارنة بالمركَّبات الصلبة الحيوية لمجاري الصرف الصحي.

ومن المتوقع أن تصبح الموارد المعدنية الفوسفورية القابلة للاستخراج نادرة أو مستنفدة في السنوات الخمسين إلى المائة القادمة (Steen, 1998; Van Vuuren et al., 2010). وهكذا، فإن استخلاص الفوسفور من المياه العادمة أصبح بديلاً قابلاً للتطبيق على نحو متزايد (انظر الإطار 4.16). ويمكن الوفاء بما يقدر بنحو 22% من الطلب العالمي من خلال إعادة تدوير البول والبراز البشري في جميع أنحاء العالم (Mihelcic et al., 2011).

وعلى الرغم من التقدم التكنولوجي الكبير في استرداد العناصر المغذية من المياه العادمة والحمأة، فلا تزال فرص الأعمال محدودة، ويرجع ذلك أساساً إلى نقص الأسواق. ثم إن انخفاض محتوى العناصر المغذية في المكونات الصلبة الحيوية، وخاصة النيتروجين، لا يسمح بالمبيعات المربحة في السوق. ويمكن استرجاع 5-15% فقط من النيتروجين المتاح في المياه العادمة، بينما من الممكن استرداد 45-90% من الفوسفور الموجود في المياه العادمة (Drechsel et al., 2015a). وبالتالي، فإن العملية ربما تكون مدفوعة من جانب خيارات تكنولوجية مختلفة لاسترداد الفوسفور على شكل ترسيب حبيبات ستروفيت، والحمأة وترميد النفايات مع مستويات مختلفة من التكاليف والكفاءة.

2-2-16 استرداد الطاقة

تلعب المياه العادمة دوراً هاماً في العلاقة بين المياه والطاقة. وعلى الرغم من أن تجميع مياه الصرف ومعالجتها يتطلبان كميات كبيرة من الطاقة، فإن المياه العادمة نفسها يمكن أن تكون مصدراً للطاقة، كما أن إمكاناتها الهائلة غير مستغلة استغلالاً كافياً (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2014). ويمكن استرداد الطاقة الكيميائية والحرارية والهيدروليكية

الإطار 7-16 إجمالي استرداد الطاقة المحتملة لحالات حمأة مياه المجارير التي تشمل الهضم اللاهوائي والتحويل الحراري في زيوريخ، سويسرا

يُعد مصنع أوتوتيك الأخير (Outotec)، الذي يستخدم حمأة مياه المجارير القادمة من زيوريخ، مثالا على استرداد الطاقة الكلية مع تحويل الطاقة بكفاءة واسترداد العناصر المغذية، ووضع معايير عالمية جديدة لكفاءة تحويل الطاقة. والتحويل الفعّال للطاقة ممكن مع الهضم اللاهوائي، حيث ينتج عنه الغاز الحيوي و / أو الكهرباء، ومع الاحتراق، يُنتج البخار والحرارة. وكل من العمليتين ينتج حوالي 50% من الطاقة الكامنة في حمأة مياه المجارير، وتصل إلى إجمالي قدره 6 ميغاواط لكل طن من الحمأة الجافة. وهناك خيارات مختلفة للاستخدام، مثل رفع مستوى الغاز الحيوي إلى مستوى جودة الأنابيب وضخه إلى داخل شبكة الغاز، أو تحويل البخار إلى كهرباء وحرارة لاستخدامها في محطة لمعالجة المياه العادمة. واعتمدت مدينة زيوريخ هذا النموذج في عام 2015. ويُعدُّ استرداد الفوسفور التزاماً قانونياً في سويسرا منذ كانون الثاني / يناير 2016. وسيقوم مجلس المياه في زيوريخ بتنفيذ عملية استرداد الفوسفور بمجرد اختيار التكنولوجيا الأنسب.

المصدر: أوتوتيك المحدود وشركاه (التاريخ غير متاح).
بمساهمة من لويدويج هيرمان (أوتوتيك المحدود وشركاه).

الموجودة في المياه العادمة في شكل غاز حيوي، وتدفئة/تبريد، وتوليد الكهرباء من خلال العمليات في الموقع وخارج الموقع (Meda et al., 2012). وتوجد تكنولوجيات لاسترداد الطاقة في الموقع عن طريق عمليات معالجة الحمأة/المركَّبات الصلبة الحيوية المتكاملة في محطات معالجة المياه العادمة. وتشمل عملية استرداد الطاقة خارج الموقع ترميد الحمأة في المحطات المركزية من خلال عمليات المعالَجة الحرارية. وتشمل التكنولوجيات الناشئة خلايا الوقود الميكروبية لتوليد الطاقة البيولوجية من الحمأة باستخدام البكتيريا، وتكنولوجيا الحمأة الهوائية الحبيبية، وأكسدة الأمونيوم اللاهوائي (Anammox)، والتلاعب بالكتلة الحيوية. وهناك أيضاً فرص لاسترداد الطاقة والعناصر المغذية معاً. وعلى الرغم من توافر التكنولوجيات، فإن تطبيقها على نطاق واسع يعوِّقه فرص السوق المحدودة والحواجز الأخرى المتصلة بوفورات الحجم الكبير.

وينطوي استرداد الطاقة على إمكانيات أعمال كبيرة من حيث الحد من استخدام الطاقة، والتكاليف التشغيلية والبصمة الكربونية. ويمكن أن يؤدي خفض البصمة الكربونية محطات معالجة المياه العادمة إلى زيادة تدفقات الإيرادات من خلال ائتمانات الكربون وبرامج تجارة الكربون (Drechsel et al., 2015a).

إنتاج الغاز الحيوي. يُعتبر إنتاج الغاز الحيوي من الطاقة الكيميائية الموجودة في المواد العضوية في المياه العادمة من خلال الهضم اللاهوائي من المركَّبات الصلبة الحيوية لتوليد الكهرباء والحرارة لاحقاً هو التطبيق الأكثر شيوعاً لاسترداد الطاقة في الموقع. ويمكن تلبية جزء كبير من الطلب على الطاقة والحرارة لمحطات معالجة المياه العادمة من خلال استعادة الطاقة من المركَّبات الصلبة الحيوية (انظر الإطار 16-5).

استرداد الحرارة. يمكن استخراج الطاقة الحرارية الموجودة في المياه العادمة لتسخين وتبريد الأماكن. وهناك العديد من تطبيقات استخدام المياه العادمة لأغراض التدفئة/التبريد في المباني السكنية والتجارية والأماكن العامة والمنشآت الصناعية (انظر الإطار 16-6).

الطاقة الهيدروليكية. يمكن أن يؤدي وضع التوربينات في مجاري المياه العادمة إلى توليد الكهرباء، لكن هذه العملية مقيدة بسبب المواقع المنخفضة الارتفاع لمعظم محطات معالجة المياه العادمة. ومن المعروف أن محطة السمرا لمعالجة المياه العادمة في الأردن (انظر القسم 10-3-4) معروفة باستخدام اختلافات الارتفاع بين المدينة والمحطة، وكذلك بين مدخل المحطة ومخرجه، وذلك باستخدام اثنين من توربينات المنبع والمصب في المحطة. وتلبي هذه التوربينات ما يتراوح بين 80-95% من الطاقة التي تحتاجها المحطة (1.7 و 2.5 ميغاواط على التوالي) والغاز الحيوي الناتج عن الحمأة (9.5 ميغاواط) (Otoo and Drechsel, 2015).

الإطار 16-8 المياه العادمة باعتبارها مصدرا للهيدروكربونات عالية القيمة من خلال الطحالب المجهرية

- **المياه العادمة إلى وقود سائل للنقل.** يستند مفهوم إنتاج الوقود الحيوي للنقل إلى تحويل العناصر المغذية في المياه العادمة إلى كتلة حيوية من الطحالب (أي الطحالب المجهرية التي تغذيها المياه العادمة)، والتي بدورها تتحول إلى وقود حيوي. ويوفر هذا النهج فوائد متعددة، ويمكن استخدامه لتنظيف المياه العادمة، واستخلاص ثاني أكسيد الكربون، وإنتاج طاقة بديلة مستدامة دون التنافس مع الزراعة من أجل المياه والأسمدة والأرض. ففي الولايات المتحدة الأمريكية، يقوم مشروع حظائر الأغشية البحرية لزراعة الطحالب (OMEGA) التابع لوكالة ناسا بدراسة جدوى إنتاج وقود الطيران من خلال زراعة الطحالب المجهرية في الحُجَيْرات البحرية العائمة التي تغذيها المياه العادمة من المدن (Trent, 2012).
- **النفط الحيوي من طحالب المياه العادمة.** أظهر المعهد الوطني لبحوث المياه والغلاف الجوي (NIWA) في نيوزيلاندا الجدوى التجارية لإنتاج النفط الحيوي من الطحالب المجهرية التي تُزرع في المياه العادمة في مرفق كرايست تشيرش لمعالجة المياه العادمة (Craggs et al., 2013). ويُضاف ثاني أكسيد الكربون إلى «أحواض الطحالب ذات المعدل المرتفع» لتسهيل عملية التحويل الموفِّر للطاقة من الكتلة الحيوية الطحلبية إلى النفط الحيوي.*
- **إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي.** يمكن للبلاستيك الحيوي القابل للتحلل الناتج عن الطحالب المجهرية في المياه العادمة أن يحل محل البلاستيك التقليدي القائم على أساس نفطي بتكاليف أقل. وبمجرد أن يصبح ذلك ممكنا من الناحية الاقتصادية، يمكن أن تُحدِث هذه العملية ثورة في عالم البوليمرات، ما يتيح فرصا تجارية لإنتاج منتجات مستدامة قائمة على أساس حيوي، مع تحقيق فوائد إضافية مثل عزل الكربون، وظهور بصمات إيكولوجية أصغر، وخفض الاعتماد على النفط، وتحسين خيارات نهاية عمر (التحلل).**
- **إنتاج المكونات التجميلية من المياه العادمة باستخدام الطحالب المجهرية.** ومنذ تموز/ يوليو 2015، يجري مركز بحوث تطوير نظم طاقة الكتلة الحيوية للطحالب في جامعة تسوكوبا في اليابان بحوثاً عن الكتلة الحيوية للطحالب والتطبيقات الصناعية لتجميع الزيوت المستمدة من الطحالب، ما يخلق «صناعة طحالب» جديدة تجمع بين إنتاج الوقود الحيوي ومعالجة المياه العادمة والزيوت المستمدة من الطحالب لمستحضرات التجميل والمنتجات الطبية.

** لمزيد من المعلومات، انظر:*
www.niwa.co.nz/freshwater-and estuaries/research-projects/bio-oil-from-wastewater-algae

*** لمزيد من المعلومات، انظر:*
http://algix.com/sustainability/our solution

الانتقال إلى حياد الطاقة ومنتجي الطاقة الصافية. مع الاستفادة المثلى من استخدام الطاقة في عمليات معالجة المياه العادمة واسترداد الطاقة من المياه العادمة والمركَّبات الصلبة الحيوية، تظهر فرص لمرافق معالجة المياه العادمة للتحول من مستهلكي طاقة رئيسيين إلى حياد الطاقة، أو حتى إلى منتجي طاقة صافية (انظر الإطار 16-7).

16-2-3 استرداد المنتجات الثانوية عالية القيمة

لا توفِّر المعادن وغيرها من المركَّبات غير العضوية في المياه العادمة – خاصة في النفايات السائلة الصناعية – فرصاً فقط لاستعادة المنتجات الثانوية العالية القيمة، بل أيضاً لتقليل المخاوف الصحية والتلوث البيئي الناجم عن التخلص منها. ويمكن أن تحتوي النفايات السائلة الناتجة عن التعدين والصناعات الكهربائية على بعض آثار المعادن الثقيلة (مثل الذهب، والفضة، والنيكل، والبلاديوم، والبلاتين، والكادميوم، والنحاس، والزنك، والموليبدينوم، والبورون، والحديد، والمغنيسيوم). وقد استُكْشِفت عملية استردادها من خلال عمليات الاستخراج الكهروكيميائية المختلفة، والتي غالباً ما تكون كثيفة الطاقة وكثيفة كيميائياً. وتقتصر هذه التطبيقات على الصناعات واسعة النطاق. وقد يوفِّر التطور الحديث للتكنولوجيا الكهروكيميائية الحيوية نهجاً جديداً لاسترداد المعادن بكفاءة (Wang and Ren, 2014).

ويجري استكشاف استخدام الطحالب الدقيقة الصديقة للبيئة لإنتاج منتجات عالية القيمة مثل الوقود الحيوي المستخدم في وسائل النقل، والبلاستيك الحيوي، والمواد الكيميائية الحيوية، والمكملات الغذائية للبشر والحيوانات، ومضادات الأكسدة، والمكونات التجميلية من الموارد المذابة في المياه العادمة (انظر الإطار 16-8).

16-3 نماذج الأعمال والمنهجيات الاقتصادية

يقدِّم استخدام المياه العادمة مُقترَح قيمة مزدوجة إذا أمكن أيضاً تحقيق عوائد مالية، إضافة إلى الفوائد البيئية والصحية لمعالجة المياه العادمة. ويعتمد حجم مصادر الإيرادات على أنواع الموارد التي يمكن استردادها من المياه العادمة. ويصبح استخدام المياه العادمة نفسها أكثر قدرة على المنافسة عندما تعكس أسعار المياه العذبة أيضاً تكلفة الفرصة البديلة لاستخدام المياه العذبة في حين تعكس رسوم التلوث تكلفة إزالة الملوثات من تدفقات المياه العادمة، ناهيك عن الأضرار الاقتصادية المحتملة الناجمة عن التقاعس عن اتخاذ إجراءات.

وقد اتبعت معالجة المياه العادمة مبدئياً «نموذج الأعمال الاجتماعية»، وتركَّز تبريرها الاقتصادي الرئيسي على حماية الصحة العامة والبيئة. ومع ذلك، توجد مجموعة من الخيارات للانتقال من «نموذج الإيرادات» إلى «نموذج الأعمال» (Drechsel et al., 2015a)، مع تقديم التكاليف والقيمة المستَرَدة ميزة كبيرة من منظور مالي، ليس فقط لأجل إشراك القطاع الخاص، بل القطاع العام كذلك.

وتهدف **عمليات نقل المياه بين القطاعات** (أو «مقايضة المياه») إلى توفير المياه المعالَجة للمزارعين من أجل الري، على سبيل المثال، مقابل المياه العذبة للأغراض المنزلية والصناعية (Winpenny et al., 2010). ويمكن أيضاً تطبيق هذا النموذج التجاري على مقايضات المياه مع المستخدمين الآخرين الذين يستخدمون المياه بكثافة، مثل ملاعب الغولف. ولا تؤدي مقايضات المياه إلى زيادة توافر المياه بشكل عام، لكن بوسعها أن تسمح بتخصيص مزيدٍ من المياه العذبة للاستخدامات ذات القيمة العالية. ويستند **تجديد رأس المال الطبيعي** إلى تقاسم الفوائد، إذ تقوم الوكالة المسؤولة عن مياه الشرب بدفع مبلغ للكيان المسؤول عن المعالَجة الجزئية والتخزين المتوسط الأجل، وذلك عادة من خلال إعادة تغذية المياه الجوفية. ويفيد هذا النموذج التجاري وكالة مياه الشرب عندما تقارن الفوائد المحتملة بشكل إيجابي بتطوير إمدادات المياه العذبة البديلة. وسيعتمد استرداد التكاليف التشغيلية على السعر السائد للمياه العذبة/الصالحة للشرب. ويمكن أن يستفيد أصحاب المصلحة من القطاع الخاص من منطقة التغذية الجوفية أيضاً عن طريق الوصول إلى مستويات أعلى من المياه الجوفية (ويمكنهم بيع المياه من خلال ناقلات خاصة) (Rao et al., 2015).

ويعتمد **إنشاء القيمة في الموقع** على تربية الأحياء المائية في المياه العادمة. وعندما تُنتَج الأسماك في إطار عملية معالجة قائمة على الأحواض، يمكن دمج مقترح إعادة الاستخدام من خلال امتصاص العناصر المغذية من المياه العادمة ووضعها في الكتلة الحيوية (مثل الطحالب البطية) التي يمكن بدورها أن تغذي الأسماك. ويجمع نموذج الأعمال بين حل المعالَجة منخفضة التكلفة واحتمال تحقيق إيرادات كبيرة، ما يسمح بتحرك خارج نطاق استرداد التكاليف (Rao et al., 2015).

يمكن القول بأن **تسويق المياه المنقَّاة** هو أبسط نموذج أعمال، حيث تتاح للمستخدم المياه العادمة المعالَجة جزئياً («المتوافقة مع الغرض») بتكلفة أقل من المياه المعالَجة. وعلى الرغم من أن انخفاض أسعار المياه العذبة يجعل من الصعب في كثير من الأحيان فرض رسوم على المياه المنقَّاة بشكل مناسب، وبالتالي فإنه لتحقيق استرداد كامل للتكلفة، وثِّقت أمثلة كثيرة ناجحة (Lazarova et al., 2013).

ويستند **تحوط أسواق المياه في المستقبل** على أساس أن طلب الصناعات والزراعة على المياه العادمة المستردَّة سوف يزداد في المستقبل. ويقوم المفهوم على مزاوجة بين «مشتري» المياه في المستقبل ومورِّدي المياه العادمة المعالَجة عن طريق تداول استحقاقات المياه، وبالتالي تأمين أجزاء من رأس المال الاستثماري مسبقاً لمشاريع معالجة المياه العادمة (Rao et al., 2015).

الجدول 16-1 أمثلة على حالات إعادة استخدام المياه مع إمكانات الأعمال

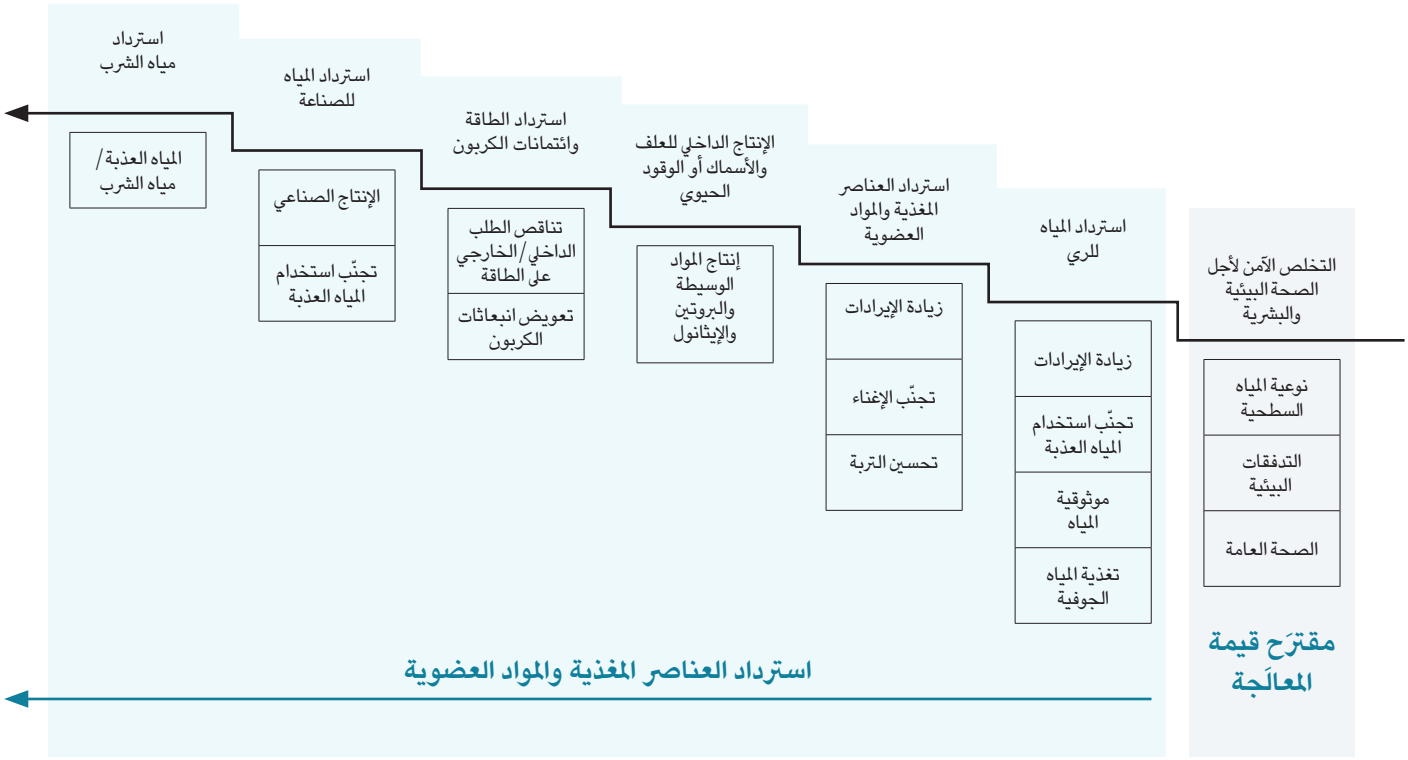
نموذج الأعمال	موقع حالة الأعمال	مفهوم الأعمال والمنتجات/ الخدمات والمستفيدون	نوع المعالَجة	القوى المحرِّكة والفرص
مقايضة المياه	مدينة مشهد، إيران	اتفاق بين شركة المياه الإقليمية وجمعية المزارعين لتبادل المياه. نقل حقوق المزارعين من المياه من السدود والمياه الجوفية مقابل المياه العادمة المعالَجة	معالَجة ثانية	ندرة أو شحّ المياه والحاجة إلى تقليل الضغط على موارد المياه العذبة
تجديد رأس المال الطبيعي	بحيرة هوسكوت بنغالور، الهند	يحوِّل قسم نظم الري الصغيرة مياه الصرف الصحي غير المعالَجة من أحد أنحاء المدينة إلى ناحية أخرى. إن إعادة تغذية بحيرة جافة وآبار المياه الجوفية بالمياه يعود بالفائدة على صغار المزارعين والأسر المعيشية حول منطقة إعادة التغذية بالمياه	لا معالَجة سوى العمليات الطبيعية	الحاجة إلى استعادة البحيرة وإعادة تغذية مستوى المياه الجوفية الناضبة والآبار الجافة
إنشاء القيمة في الموقع استناداً إلى الاستزراع المائي	ميرزابور، بنغلاديش	الشراكة بين اتحاد المستشفيات والمنظمات غير الحكومية لمعالجة المياه العادمة لإنتاج الطحالب البطية كعلف للأسماك وزراعة المحاصيل للسوق المحلية	معالجة ثالثة، تشمل إزالة العناصر المغذية من خلال الطحالب البطيّة	الشراكة بين مجمَّع المستشفيات ومروِّج التكنولوجيا وارتفاع الطلب على الأسماك في المنطقة
تسويق المياه المنقَّاة	مدينة غابورون، بوتسوانا	معالجة المياه العادمة من غابورون وإعادة استخدامها في ري مزارع غلين فالي وزيادة تدفق الأنهار	معالجة ثانية	جفاف متكرر وندرة مزمنة في المياه
تحوط أسواق المياه في المستقبل	مياه برانا المستدامة، سويسرا	معالجة المياه العادمة التي تموَّل مسبقاً من خلال مبيعات المياه في المستقبل عن طريق الاتفاقات التعاقدية لتأمين أسهم المياه وأوجه التمويل	معالجة ثانية أو ثالثة	إدارة المعرفة في أسواق المياه، وتداول المياه وتسعير السلع جنباً إلى جنب مع شراكات قوية

المصدر: مقتبسة من (Drechsel et al., 2015a, table 11.2, p. 202–203).

وترد في الجدول 16–1 أمثلة لحالات إعادة استخدام المياه التي تنطوي على إمكانات تجارية.

وتزداد إمكانية استرداد التكاليف عن طريق استخدام المياه العادمة مع زيادة مستويات المعالَجة، التي تُترجم إلى تحسينات في نوعية المياه و/أو القدرة على استرداد موارد ومواد إضافية. وتتيح استعادة منتجات عدة من المياه العادمة فرصاً جديدة، وتُعزّز الإيرادات، وترتقي بالأعمال عالياً على سلَّم مقترَح القيمة الاقتصادية (انظر الشكل 16–2). إن إمكانيات استعادة العناصر المغذية والطاقة، في الوقت الحاضر، هي من بين أكثر الإمكانات تقدماً من حيث الجدوى التكنولوجية والمالية، كما هو مبين في الأمثلة المختلفة الواردة في القسم السابق (16–2). ومع ذلك، فهناك إمكانية متنامية لتعزيز هذه العمليات (انظر الفصل السابع عشر)، ومن المتوقع أن توفر هذه التطورات، مجتمعة، المزيد من فرص استرداد التكاليف في مجال إدارة المياه العادمة وإعادة استخدامها.

الشكل 16-2 سلَّم مقترحات القيمة المتنامية لإعادة الاستخدام مع زيادة الاستثمارات في نوعية المياه أو سلسلة القيمة



المصدر: *Drechsel et al., (2015a, Fig. 1.2, p. 8)*

4-16 التقليل من المخاطر على صحة الإنسان والبيئة

نظراً للمخاطر المحتملة على صحة الإنسان، تتطلب إعادة استخدام المياه للاستهلاك البشري (أي مياه الشرب) النهُج الأكثر صرامة، بما في ذلك اللوائح الصارمة والبرامج القوية للرصد والتقييم والامتثال.

ويتطلب تعريض الفئات الضعيفة للمياه العادمة المعالَجة جزئياً أو غير المعالَجة، وخاصة في الري الزراعي، اهتماماً خاصاً (انظر القسم 7-2-2). وتشمل الفئات الأكثر عرضة للمخاطر المزارعين، والعمال الميدانيين والمجتمعات المحلية المجاورة من خلال الاتصال المباشر بالمياه العادمة، والمستهلكين من خلال استهلاك المحاصيل المروية بالمياه العادمة. كما أن الوعي المحدود بالمخاطر الصحية المرتبطة باستخدام المياه العادمة، بسبب الفقر وانخفاض مستوى التعليم، يساهم بشكل أكبر في هذه المخاطر، ولا سيّما في البلدان النامية. والنساء معرضات لذلك بشكل خاص (Moriarty et al., 2004).

وينبغي أن تكون المعالَجة المناسبة للمياه المستعملة كافية لحماية الصحة العامة، إضافة إلى اقترانها بتطبيق معايير نوعية المياه في الزراعة المروية بالمياه العادمة. ومع ذلك، فإن المنهجيات البديلة ضرورية لمنع مسببات الأمراض من دخول سلاسل إنتاج الأغذية

> تعتبر إعادة استخدام المياه عملية مجدية اقتصادياً وجذابة عندما تكون هناك إمكانية لاسترداد التكاليف عن طريق معالجة المياه العادمة وفقاً لمعيار جودة المياه المقبول لدى المستخدمين

الإطار 16-9 سنغافورة نيوواتر: حملة تثقيف وتوعية شاملة

استخدم مجلس المرافق العامة في سنغافورة نهجاً شاملاً، يشمل برنامج ألف باء المياه للتوعية العامة؛ وبرنامج التثقيف العام (الشعب والعامة والخاصة)؛ ومركز زُوّار نيوواتر. وشمل برنامج «الشعب والعامة والخاصة» قادة المجتمع والصحفيين ومجموعات الأعمال والوكالات الحكومية ووسائل الإعلام. وبُني مركز زُوّار نيوواتر لتقديم برامج تثقيف عامة ونشر المعلومات. واجتذب المركز أكثر من 800000 زائر محلي وأجنبي. ومن أجل الحد من التصوّر العام السلبي والخوف النفسي والاتصاف السلبي، ترجم المجلس المعلومات التقنية والمصطلحات إلى لغة بسيطة؛ وعلى سبيل المثال، فقد غيّر مصطلح «المياه العادمة ومياه المجارير» إلى «المياه المستعملة»، و«محطة معالجة الصرف الصحي» إلى «محطة تنقية المياه». كما أُتيحت المعلومات في صورة أشكال ورسوم بيانية بسيطة، وكذلك من خلال أدوات مسلية لتوعية المجتمع مثل لعبة «حافظ على مياهي» على الأجهزة المحمولة. وازداد التقبّل الاجتماعي فيما يتعلق بالمياه العادمة نتيجة لهذه الجهود التثقيفية الرامية إلى النهوض بالوعي والتوعية.

* لمزيد من المعلومات، انظر www.pub.gov.sg/

المصدر: مجلس المرافق العامة في سنغافورة (PUB).

في معظم البلدان ذات الدخل المنخفض، حيث تعاني معظم المياه العادمة المنتجة من معالجة ضئيلة أو معدومة. وتوصي توجيهات منظمة الصحة العالمية الخاصة باستخدام المياه المستعملة والمفرغات والمياه الرمادية في الزراعة (منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ)) باتباع نهج متعدد الحواجز لحماية الصحة العامة حال تنفيذ خيارات عدم المعالَجة (انظر الإطار 7-1).

إن الآثار الطويلة الأجل المحتملة للملوثات الناشئة على صحة الإنسان والنظم الإيكولوجية (انظر القسم 4-1) نتيجة استخدام المياه العادمة لم تُعرَف بعد (اليونسكو، 2016 (ب)). وهناك حاجة إلى إجراء مزيد من البحوث بشأن المخاطر التي تهدِّد صحة الإنسان والبيئة بسبب المواد الكيميائية والملوثات الناشئة في المياه العادمة (انظر القسم 17-2).

وتمثِّل مخاطر الصحة البيئية جانباً هاماً من جوانب استخدام المياه العادمة (انظر القسم 6-2-2). ومع ذلك، فكثيراً ما تُهمَل هذه المسألة. وهناك حاجة إلى برامج رصد بيئي شاملة، لا لتقدير المخاطر وتقييمها فحسب، بل أيضاً لوضع سياسات مناسبة لحماية البيئة.

> وفي الوقت الحاضر، فإن إمكانيات استعادة العناصر المغذية والطاقة هي منبين أكثر الإمكانات تقدماًمن حيث الجدوى التكنولوجية والمالية

16-5 لوائح لإعادة استخدام المياه

استندت اللوائح السابقة لاستخدام المياه العادمة إلى تدابير معالجة المياه العادمة، في حين تركِّز اللوائح الأحدث على معايير خاصة بنوعية المياه لأنواع مختلفة من الاستخدام، من أجل حماية الصحة البشرية والبيئية. ومع ذلك، فإن تكلفة المعالجة المتقدِّمة للمياه العادمة من أجل التوافق مع المعايير العالية لنوعية المياه لا تزال باهظة التكلفة بالنسبة لكثير من البلدان النامية. ويستجيب النهج المتعدد الحواجز (انظر الإطار 7-1) لهذا التحدي، لأنه يقوم على تقييم المخاطر وإدارتها.

وينبغي أن تكون المبادئ التوجيهية لاستخدام المياه العادمة قابلة للتطبيق من حيث الإمكانيات التكنولوجية والاقتصادية على السواء؛ وقابلة للتنفيذ عن طريق السياسات والبرامج المناسبة؛ وواقعية بالنسبة لظروف محلية محددة، مع مراعاة العوامل الاقتصادية والاجتماعية والثقافية والبيئية. وينبغي أن تكيَّف تدابير الصحة البشرية وحماية البيئة بحيث تتناسب مع التوازن المحلي بين القدرة على تحمل التكاليف والمخاطر.

وقد وضِعَت مبادئ توجيهية مختلفة لاستخدام المياه العادمة لأغراض الري على الصعيدين الدولي والوطني. وتشمل أهم المعايير البارامترات الصحية القائمة على المخاطر، بما فيها المعايير الميكروبيولوجية لاستخدام المياه العادمة مثل البكتيريا التي تؤشر على عدم وجود البراز، والبارامترات الفيزيائية والكيميائية للمياه العادمة المعالَجة، وقياس وجود إجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS)، والمواد المغذية والمعادن الثقيلة. ويمكن أن تشمل المبادئ التوجيهية أيضاً قيوداً تستند إلى ممارسات الري وفقاً لمصدر المياه العادمة واستخدامها النهائي، مثل فرض قيود على ري المحاصيل وتقنيات الري ومراقبة التعرض البشري.

> وقد وضعت مبادئ توجيهية مختلفة لاستخدام المياه العادمة لأغراض الري على الصعيدين الدولي والوطني

ووضعت البلدان المتقدِّمة معايير تقنية للكائنات المجهرية والكيماويات. وتتطلب قيم القيود الصارمة هذه جهوداً كبيرة للرصد والإنفاذ. ومن ناحية أخرى، تركّز اللوائح في البلدان النامية على قيود الاستخدام مثل تقييد الري بالمياه العادمة للخضراوات المخصصة للاستهلاك البشري المباشر و/أو فرض حدّ أدنى للمدة الفاصلة بين الري وحصاد المحاصيل. ولا يمكن رصد قيود الاستخدام هذه دون وجود وكالات رقابية عاملة. ونتيجة لذلك، اعتمدت بعض البلدان، مثل المكسيك وتونس، مبادئ توجيهية تستند إلى قيود الاستخدام مقترنة بقيم تقييد سهلة القياس.

ومن المبادئ التوجيهية المطبقة دولياً بشأن استخدام المياه العادمة توجيهات منظمة الصحة العالمية الخاصة باستخدام المياه المستعملة والمفرغات والمياه الرمادية في الزراعة (منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ)). وتركّز المبادئ التوجيهية لنوعية المياه العادمة لأغراض الاستخدام الزراعي التي وضعتها منظمة الأغذية والزراعة (1985؛ 1992) على تقييم مدى ملاءمة المياه للري وتحديد القيود المحتملة في الاستخدام. وغالباً ما تفتقر السياسات واللوائح الفعالة لاستخدام المياه العادمة واسترداد الموارد إلى المستوى الوطني، حيث تُنفَّذ فقط في عدد قليل من البلدان، بما فيها إسرائيل، والأردن، والمكسيك، وتونس، وتركيا، حيث يعتبر الري بالمياه العادمة ممارسة راسخة.

6-16 التقبّل الاجتماعي لاستخدام المياه العادمة

يمكن أن يواجِه استخدام المياه العادمة مقاومة عامة قوية بسبب نقص الوعي والثقة فيما يتعلق بمخاطر الصحة البشرية. وتشمل العوامل الأخرى التصوّرات الثقافية والدينية المختلفة حول المياه بشكل عام و/أو استخدام المياه العادمة المعالَجة. ففي حين أن المخاوف المتعلقة بالصحة والسلامة العامة كانت عادة السبب الرئيسي للمقاومة العامة لاستخدام المياه العادمة، تبدو الجوانب الثقافية (انظر الإطار 16-10) وسلوك المستهلكين هي العوامل الغالبة في معظم الحالات اليوم، حتى عندما تكون المياه المستردة الناتجة عن عمليات المعالَجة المتقدمة آمنة تماماً. وتؤدي الجوانب الجمالية للمياه المستردة، مثل اللون والرائحة والطعم، أيضاً دوراً هاماً في التقبّل العام.

إن النهوض بالتوعية والتثقيف هما الأداتان الرئيسيتان للتغلب على الحواجز الاجتماعية والثقافية وحواجز المستهلكين وللمساهمة بشكل كبير في بناء الثقة بين المستهلكين وتغيير النظرة العامة حول استخدام المياه العادمة. ويجب أن تكون حملات التوعية هذه مصمَّمة خصيصاً للمستهلكين ذوي الخلفيات الثقافية والدينية المختلفة. وينبغي أيضاً أن تستهدف برامج التوعية والتثقيف جميع الفئات العمرية حتى تكون فعالة. وعلاوة على ذلك، ينبغي تكييفها مع الظروف والاحتياجات المحلية. ويمثل الوصف ونشر المعلومات جانباً هاماً آخر يُسهم في التصوّر الإيجابي للجمهور عن المياه المستردة، فضلاً عن الموارد المستعادة مثل الأسمدة. على سبيل المثال، في سنغافورة، توصف المياه المنقاة بأنها «نيوواتر»
(مياه جديدة) على نطاق محدود (انظر الإطار 16-9). وتمثِّل الأطر التنظيمية والرصدية القوية التي تضمن سلامة الصحة البشرية أساساً لبناء ثقة المستهلكين وتغيير النظرة العامة.

الإطار 16-10 الآثار الثقافية المترتبة على إعادة استخدام المياه العادمة في الاستزراع السمكي في الشرق الأوسط

تُمارس إعادة استخدام المياه العادمة في الاستزراع السمكي على نطاق واسع بدرجات متفاوتة في مناطق مختلفة من العالم. وأُجريت دراسة إيضاحية واسعة النطاق في مصر لاستخدام المياه العادمة المعالَجة في الاستزراع السمكي ولري المحاصيل والأشجار. ورُصِدت المياه العادمة المعالَجة بعناية لملاحظة مسببات الأمراض الميكروبية والطفيليات والمواد الكيميائية السامة في المياه والأسماك. وعلى الرغم من أن الأسماك المنتجة كانت مناسبة تماماً للاستهلاك البشري، فإن المستهلكين في مصر لم يتقبّلوها.

المصدر: (Mancy et al., 200).

الفصل السابع عشر

اليونسكو - البرنامج الهيدرولوجي الدولي: سارانتويا زانداريا

معهد اليونسكو للتعليم في مجال المياه: دامير برديانوفيتش

بمساهمات من: منظور قادر (جامعة الأمم المتحدة - الشبكة الدولية المعنية بالمياه والبيئة والصحة التابعة للجامعة)؛ باي دريشسيل (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ خافيير ليفلايف (إدارة البيئة في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي)؛ تاكاهيرو كونامي (برنامج اليونسكو الهيدرولوجي الدولي)؛ ووزارة الأراضي والبنية التحتية والنقل والسياحة في اليابان

المعرفة والابتكار والبحوث وتنمية القدرات

اختبار جودة المياه في بحيرة بيفر بولاية مينيسوتا

يقدِّم هذا الفصل استعراضاً للاتجاهات في المعارف والبحوث والابتكار وبناء القدرات وإدارة المياه العادمة، مع التركيز على الثغرات والحواجز الحالية. وتأتي تدابير التصدي لهذه التحديات من حيث تنمية القدرات، والتوعية العامة وتحسين التعاون، وتسليط الضوء على إمكانية تحسين استرداد التكاليف وتطبيق الاستجابات التكنولوجية على نطاقات ملائمة.

17-1 اتجاهات البحوث والابتكار

مع التطور الابتكاري والتكنولوجي السريع، يحدث زخم متنامٍ لتحوّل نموذجي نحو إدارة المياه العادمة كجزء من الاقتصاد الدائري. فبدلاً من التفكير في إعادة استخدام المياه باعتبارها إضافة مكلفة إلى محطات معالجة المياه العادمة، فإن مفهوم تحويلها إلى «مصانع استرداد الموارد» التي ستستخدم المياه العادمة والحمأة كمواد خام وستستعيد المنتجات القيِّمة للتسويق للمستخدمين النهائيين يسترعي انتباهاً متنامياً.

ويرتبط تطور إدارة المياه العادمة بمكافحة الأوبئة والتقدم التكنولوجي الكبير، ولا سيّما في البلدان المتقدِّمة. وقد أتاحت تكنولوجيات الحمأة المنشَّطة الأساسية في القرن التاسع عشر (عن طريق معالجة المياه العادمة باستخدام الكائنات المجهرية لإزالة المواد العضوية من مياه المجارير) الانتقال من «عصور الظلام الصحي» إلى «عصر التنوير الصحي والثورة الصناعية» (Cooper, 2001). وركزت التطورات التكنولوجية في أواخر القرن العشرين على إزالة العناصر المغذية – النيتروجين والفوسفور – للتعامل مع المشكلة واسعة النطاق للإغناء بالمغذِّيات والحد من الآثار البيئية للمياه العادمة. وفي مطلع القرن الحادي والعشرين، ومع تنامي متطلبات معالجة المياه العادمة وقدرات الإدارة المؤسسية، تحوَّل التركيز البحثي والتكنولوجي إلى عمليات متقدمة من أجل الامتثال لمعايير أكثر صرامة فيما يتعلق باللوائح المشددة ومعايير النفايات السائلة. ومن المحتمل أن تركِّز اتجاهات البحوث والابتكار في مجال المياه العادمة مستقبلاً على استرداد الموارد لإعادة اختراع اقتصاديّات المعالجة والتخلّص الخاصة بالمياه العادمة والحمأة. وتؤدي الطلبات المتنافسة على المياه والموارد الطبيعية الأخرى أيضاً إلى دفع البحوث والابتكارات في مجال تكنولوجيا المياه العادمة وإدارتها.

وتهدف أحدث الابتكارات التكنولوجية الرئيسية في مجال معالجة المياه العادمة (انظر الإطار 17–1) إلى تحسين أوجه كفاءة المعالَجة (Brdjanovic, 2015; Qu et al., 2013; Van Loosdrecht and Brdjanovic, 2014).

وبينما تبنى في بعض أنحاء العالم المتقدم محطات معالجة جديدة استناداً إلى التكنولوجيات المتطورة، تتزايد الدعوات إلى استخدام تكنولوجيات ملائمة تتفق مع القيود المؤسسية وقيود الموارد التي تواجهها البلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض، مثل التكنولوجيات التي يمكن أن تعمل بطاقة خارجية محدودة الاحتياجات وتكاليف تركيب وتشغيل وصيانة أقل من نظم الحمأة المنشطة، مع تحقيق نفس أهداف الأداء (Libhaber and Orozco Jaramillo, 2012) (انظر الفصل الخامس عشر).

17-2 ثغرات المعارف والبحوث والتكنولوجيا وبناء القدرات

يتطلب استخدام التكنولوجيات القائمة تمويلاً وقدرات تكنولوجية وبنية تحتية، تفتقر إليها البلدان النامية في كثير من الأحيان. كما يتطلب استخدامها نقل المعارف وتبادل المعلومات وبناء القدرات عن طريق التثقيف والتدريب لدعم استدامة تطبيقات التكنولوجيا. وينبغي تقييم ثغرات المعارف والتكنولوجيا والقدرات من خلال تحليل للثغرات والقدرات من شأنه تيسير الجهود المطلوبة لنقل التكنولوجيا والتعليم وبناء القدرات عند الحاجة.

ويشير المستوى المنخفض للغاية من المعالجة الثانية والمتقدمة للمياه العادمة في البلدان النامية إلى الحاجة الماسة إلى الترقيات التكنولوجية في خيارات معالجة المياه العادمة وخيارات الاستخدام الآمن لدعم تحقيق الغاية رقم (6–2) من أهداف التنمية المستدامة (انظر الفصل الثاني). ويلزم نقل التكنولوجيات الملائمة والميسورة التكلفة من البلدان المتقدمة إلى البلدان النامية، مدعومة بنقل المعارف وبناء القدرات. وإضافة إلى التعاون بين الشمال والجنوب، يمكن للتعاون فيما بين بلدان الجنوب أن يواصل دعم البلدان النامية في تحسين قدراتها العلمية والتكنولوجية والابتكارية. وينبغي أيضاً تشجيع نقل التكنولوجيات الجديدة، حيثما يكون تطبيقها ممكناً وبأسعار معقولة.

من المحتمل أن تركز اتجاهات البحوث والابتكار في مجال المياه العادمة مستقبلاً على استرداد الموارد

الإطار 17-1 الابتكارات في تكنولوجيا المياه العادمة وبحوثها

الترشيح الغشائي. لم تقتصر التطورات في التكنولوجيا الغشائية على الحد من المخاطر الصحية التي تمثِّلها المياه العادمة المعالَجة على الإنسان والبيئة فحسب، بل فتحت أيضاً فرصاً جديدة لاستخدام المياه العادمة، مثل إعادة استخدام مياه الشرب. وأصبح استخدام التكنولوجيات الغشائية (التناضح العكسي، والترشيح الدقيق، والترشيح الفائق، وما إلى ذلك) شائعاً على نحو متنامٍ للمعالجة الثالثة أو المعالجة المتقدمة، ولا سيّما في البلدان المتقدِّمة، إذ تستمر الأغشية في التحسن وتستمر التكاليف التشغيلية في الانخفاض.

المفاعلات الحيوية الغشائية (MBRs) هي تكنولوجيا ناشئة، ناتجة عن الابتكارات، تهدف إلى تكثيف فصل الأغشية عن طريق دمجها في عملية الحمأة المنشَّطة. وفي الآونة الأخيرة، ازداد عدد المحطات التي تستخدم تكنولوجيا المفاعلات الحيوية الغشائية (Van Loosdrecht and Brdjanovic, 2014). وتقدِّم المفاعلات الحيوية الغشائية مزايا مثل الدمج والمرونة والقدرة على العمل بشكل موثوق وهي خاضعة للتحكم عن بُعد.

خلايا الوقود الميكروبية هي ابتكارات تكنولوجية تقوم على العمليات الحيوية الكهروكيميائية للبكتيريا، وقد بدأت في العثور على تطبيقات في معالجة المياه العادمة على مدى العقد الماضي، من أجل تجميع الطاقة (التيار الكهربائي) عن طريق استخدام الهضم اللاهوائي الذي يحاكي التفاعلات البكتيرية الموجودة في الطبيعة. ويمكن لهذه التكنولوجيا أن تقلل إلى حد كبير تكاليف عملية المعالجة وكمية الحمأة المتبقية. غير أنه نظراً للتحديات التي تواجه توسيع نطاق التطبيق العملي، يلزم إجراء المزيد من البحوث والتحسينات التكنولوجية للتغلب على الاحتياجات العالية من الطاقة.

ووجدت **التطورات الجديدة في عمليات المعالَجة البيولوجية** تطبيقاً ناجحاً بسبب أوجه الكفاءة العالية وانخفاض الاستثمار والتكاليف التشغيلية. وتشمل الأمثلة على ذلك عمليات ابتكارية لتحسين إزالة النيتروجين مثل نظام SHARON® (نظام المفاعل المفرد لإزالة الأمونيوم عالي النشاط على النتريت)، وANAMMOX® (أكسدة الأمونيوم اللاهوائي)، و BABE®(دفعة التعزيز الحيوية المعزّزة)، فضلاً عن عمليات التبلور المعدنية لاستعادة الفوسفور وإعادة استخدامه. كما تَظهر عمليات معالجة الحمأة الحبيبية باستخدام هياكل ميكروبية هندسية. وتم تسويق أول عملية حمأة حبيبية تحت اسم NEREDA®.

يمثِّل **النانو تكنولوجي** مجالاً ناشئاً ومتنامياً مع تطبيقات واعدة محتملة في مجال تنقية المياه ومعالجة المياه العادمة، وكذلك في مجال نوعية المياه ومراقبة المياه العادمة (Qu et al., 2013). وفي الوقت الحاضر، تركِّز تطبيقات النانو تكنولوجي في معالجة المياه والصرف الصحي على نُضج التكنولوجيا والتجريب على نطاق واسع.

وتجد **النظم المبتكَرة لرصد المياه العادمة ومراقبتها** مجالاً للتطبيق مع تحسن التكنولوجيات. وتشمل التطورات التكنولوجية الواعدة ما يلي: تكنولوجيات رصد مبتكرة تستند إلى أجهزة استشعار جديدة، وأجهزة محوسبة للقياس عن بُعد، وأدوات مبتكرة لتحليل البيانات. ويتسارع تقدُّم البحوث بشأن أجهزة الاستشعار ونظم التحكم. وتدخل منهجيات جديدة للتحكم في معالجة المياه العادمة باستمرار، بما فيها استخدام تطبيقات الأجهزة المحمولة لتشغيل نظام (التحكم الإشرافي والحصول على البيانات) (SCADA) لرصد ومراقبة نظم المياه العادمة عن بعد.

وأصبحت **نظم المعالَجة الطبيعية (نظم الأراضي الرطبة المبنية)** أكثر جاذبية باعتبارها حلولاً طبيعية مبتكرة لاستكمال أوجه القصور التكنولوجية القائمة، إذ تركِّز البحوث بشكل متنامٍ على العمليات الطبيعية.

وقد أصبحت **النمذجة** جانباً هاماً من التطورات البحثية الجديدة في مجال المياه العادمة، إذ تشهد المعارف الأساسية بشأن علم الأحياء المجهرية والكيمياء الحيوية تقدُّماً كما تتحسن القدرة الحسابية. ولا تتيح النمذجة بنقل المعارف العلمية إلى تطبيقات عملية فحسب، بل تسهل أيضاً التواصل بين العلماء والمهندسين على المستوى العالمي (Brdjanovic, 2015).

وتمثل الملوثات الناشئة (انظر الإطار 4-1) فجوة واضحة في المعارف والبحوث. ويلزم إجراء بحوث لتحسين فهم ديناميات هذه الملوثات في الموارد المائية والبيئة، وطرق إزالة هذه الملوثات من المياه العادمة (اليونسكو، 2015). وهناك حاجة إلى تكنولوجيات محسَّنة لتقييم الملوثات الناشئة ورصدها وإزالتها، وكذلك إجراء مزيد من البحوث بشأن احتمالية تطوّر مسببات الأمراض متعددة المقاومة. وهناك أيضاً ثغرات هائلة في الأطر التنظيمية والرصدية القائمة، وكذلك في توافر البيانات فيما يتعلق بمستوى حدوث الملوثات الناشئة في المياه العادمة والمسطحات المائية المستقبِلة للمياه (اليونسكو، 2015).

وثمة عنصر ضروري آخر للبحوث وبناء القدرات هو تقييم جديد للمخاطر الصحية يتعلق بمسبِّبات الأمراض الموجودة في المياه العادمة وتدابير التخفيف المطلوبة في البلدان النامية. وتستند تقييمات المخاطر الصحية الأكثر شيوعاً إلى نماذج خضعت للدراسة والتحقق إلى حد كبير في البلدان المتقدمة. وهناك حاجة إلى نماذج ودراسات مماثلة للبلدان النامية أيضاً. ولئن كانت تدابير التخفيف من المخاطر الصحية تستهدف عموماً التهديدات المرتبطة بمسببات الأمراض، فإنه ينبغي كذلك الاهتمام بالمخاطر الصحية المرتبطة بالملوثات الكيميائية، ولا سيّما بسبب عدم فعالية إدارة المياه العادمة المنصرفة من الصناعات في البلدان النامية والناشئة.

ومن الضروري أيضاً فهم كيف ستؤثر العوامل الخارجية، مثل تغير المناخ، على إدارة المياه العادمة. وقد بدأت البحوث المتعلقة بآثار تغير المناخ على نظم المياه العادمة وعمليات المعالَجة في الظهور مؤخراً (شراكة المياه العالمية، 2014) ولا تزال كثير من الأسئلة يتعين دراستها. وعلاوة على ذلك، يلزم بذل المزيد من الجهود البحثية وابتكار أدوات لجمع البيانات ومشاركتها لمعالجة الثغرات الهائلة في البيانات الخاصة بالمياه العادمة.

17-2-1 عوائق البحوث والابتكار وتطبيقات التكنولوجيا

لا يمثِّل الافتقار إلى التمويل عائقاً رئيسياً أمام تطبيق التكنولوجيات القائمة في البلدان النامية فحسب، بل يمثِّل أيضاً عائقاً أمام تعزيز البحوث وتحوّل التكنولوجيات الجديدة إلى تطبيقات واسعة النطاق في البلدان المتقدمة. وتؤدي التكاليف المرتفعة للتكنولوجيات العالية إلى إعاقة تطبيقها على نطاق واسع، ولا سيّما في البلدان النامية. وعلاوة على ذلك، تقف المكانة المحدودة لتطبيقات التكنولوجيا الجديدة في السوق عائقاً أمام الابتكار (Daigger, 2011). ويضاف إلى هذا التحدي المعارف المحدودة بشأن سوق المنتجات المستخرجة من المياه العادمة. وتمثِّل البيانات والمعلومات الشحيحة عن المياه العادمة عائقاً رئيسياً آخر أمام البحوث والابتكار، كما هي الصلة (التي غالباً ما تُفتقد) بين الأوساط الأكاديمية وقطاع الصناعة والحكومات المحلية.

وتتطلب ترجمة الابتكار إلى تطبيق عملي إجراء بحوث عن فرص التمويل وإيجاد سُبل لتهيئة سوق للتكنولوجيات الجديدة، وبناء القدرات البشرية والتقنية، وإشراك أصحاب المصلحة، بمن فيهم القطاع الخاص. ويمكن تحقيق ذلك من خلال إرادة سياسية قوية ودعم حكومي (انظر الإطار 17-2).

الإطار 17-2 تنفيذ التكنولوجيات المتطورة في المياه العادمة في اليابان

تدعم حكومة اليابان الابتكار في مجال معالجة المياه العادمة واسترداد الموارد من خلال مشروع B-DASH، بهدف تطبيق التكنولوجيات المتطورة من خلال دعم الابتكارات وتوحيد تطبيقها. وبموجب هذا المشروع، يمكن للشركات الخاصة الداخلة في شراكة مع الحكومات المحلية أن تتقدم بطلب للحصول على إعانات للاختبار الميداني وتنفيذ تكنولوجيات جديدة، بما فيها إنشاء مرفق. وتُستخدم نتائج هذا الاختبار الميداني لوضع مبادئ توجيهية للتوحيد القياسي، أصدرها المعهد الوطني لإدارة الأراضي والبنى التحتية في اليابان. وإجمالاً، اعتُمِدت 31 تكنولوجيا جديدة وجرى العمل بها من خلال مشروع B-DASH منذ بداية عام 2011، إذ يُحتمل أن تُطبَّق على الصعيد العالمي في المستقبل القريب.

على سبيل المثال، في عام 2012، تعاونت شركتان يابانيتان مع حكومة مدينة أوساكا لاختبار نظام جديد قائم على خطوط الأنابيب لاستخدام حرارة المياه العادمة في محطة إيبي لمعالجة المياه العادمة. ويمكن لهذا النظام الجديد أن يقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مكيّفات الهواء أو من إمدادات المياه الساخنة بنسبة تتراوح بين 15-25% مقارنة بالتكنولوجيات التقليدية. وفي عام 2014، أُصْدِر مبدأ توجيهي جديد لإدخال نظام لاسترداد حرارة المياه العادمة من الأنابيب استناداً إلى نتائج ميدانية. وعلاوة على ذلك، وبغية تعزيز استثمارات القطاع الخاص في المياه العادمة، عُدِّل قانون مياه المجارير في اليابان في عام 2015 حتى تتمكّن الشركات الخاصة من تركيب مبادلات حرارية للمياه العادمة داخل مجاري الصرف الصحي.

مساهمة من وزارة الأراضي والبنية التحتية والنقل والسياحة في اليابان، وتاكاهيرو كونامي (اليونسكو- البرنامج الهيدرولوجي الدولي).

17-3 الاتجاهات المستقبلية في إدارة المياه العادمة

في حين أن الابتكارات السابقة في مجال المياه العادمة كانت تركِّز أساساً على تكنولوجيات المعالَجة المتقدِّمة، فإن حلولاً جديدة ومبتكرة آخذة في الظهور، تجمع بين الجوانب التكنولوجية والإدارية.

وتركّز الاتجاهات المستقبلية في إدارة المياه العادمة تركيزاً متنامياً على إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد، ما يوفِّر فوائد إضافية لحماية الصحة العامة والحدّ من التلوث البيئي. على سبيل المثال، إن إعادة استخدام المياه، وصناعة أسمدة (فوسفورية) لأغراض تجارية، واسترداد الطاقة بشكل خاص، يمكن أن تقلل كثيراً من تكاليف التشغيل والصيانة (Wichelns et al., 2015).

كما أصبحت الحلول المبتكرة لإدارة المياه العادمة التي تتضمن منهجيات متعددة التخصصات ومتكاملة أكثر شيوعاً وأصبحت كذلك مجال اهتمامٍ بحثي متزايد. كما تظهر اللامركزية على مستوى مناسب، جامعة بين الحلول المركزية واللامركزية، كبديل محتمل، للانتقال من مرافق المياه ومرافق المياه العادمة ذات الحجم الكبير والمركزي، إلى بنية تحتية ذات نطاق إداري أكثر ملاءمة (انظر الفصل الخامس عشر).

17-3-1 التحوّل من معالجة المياه العادمة إلى إعادة استخدام المياه واسترداد الموارد

أتاحت التطورات التكنولوجية في معالجة المياه العادمة على مدى العقود الماضية فرصة لتحويل الهدف الرئيسي من إدارة المياه العادمة من «المعالَجة والتخلّص» إلى «إعادة الاستخدام وإعادة التدوير واسترداد الموارد». وتوجد خيارات تكنولوجية مختلفة لاسترداد الموارد من المياه العادمة والحمأة في مراحل مختلفة من التطوير والتطبيق، وهي تتطور بسرعة (انظر الفصل السادس عشر). ثم إن الفرص التكنولوجية لاسترداد الموارد من المياه العادمة تخلق أيضاً مكانة جديدة مع نماذج أعمال مربحة، ما يسهِّل استدامة الحلول التطبيقية (Strande et al., 2014; Otoo and Drechsel, 2015)، على الرغم من الحاجة إلى مزيد من البحوث في مجال أسواق استرداد الموارد ونماذج الإيرادات المستدامة اقتصادياً.

وتذهب الاتجاهات في استرداد الموارد نحو منهجيات الإدارة الابتكارية، ولا سيّما الاسترداد المتكامل للموارد، وهو ما يتطلب بدوره وجود لوائح داعمة، وطلب السوق، والاستثمار، والتقبّل الاجتماعي، والاستعداد المختلف لأصحاب المصلحة للعمل معاً. كما يتطلب نظرة شاملة من أجل ضمان التفكير الجماعي بين الممارسين وصنّاع القرار والمسوِّقين في المستقبل (Holmgren et al., 2015).

ومن المتوقع أن توفّر محطات معالجة المياه العادمة في المستقبل موارد مستردَّة ومياهاً ذات جودة عالية لإعادة استخدامها في قطاعات مختلفة، بينما تكون فعالة من حيث التكلفة ومكتفية ذاتياً من حيث الطاقة.

17.3.2 الجمع بين الحلول المركزية واللامركزية على نطاق مناسب

فيما يتعلق بتحوّل المسار من نظم الصرف الصحي الموجودة في الموقع إلى نظم الصرف الصحي خارج الموقع، أظهرت الابتكارات الحديثة أن مجموعة مختلطة من الحلول، بما فيها مرافق المياه العادمة التي تجمع بين الإدارة المركزية واللامركزية، يمكن أن تكون مناسبة أيضاً لمناطق الخدمات الكبيرة، وتقدِّم في الوقت ذاته الفوائد التي تتمتع بها اللامركزية مثل قلّة الاستثمار، وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، والتخصيص للظروف المحلية (Cairns Smith et al., 2014).

الإطار 17-3 نظم المياه العادمة الموزَّعة: بديل عن النظم المركزية

تمثِّل النظم الموزَّعة نهجاً مرناً ومحلياً وشبكياً للغاية، تضطلع فيها البنية التحتية المركزية بدور شرياني، بينما تعمل النظم الصغيرة والمفصَّلة على قدر الحجم مع المستخدمين على مستوى أكثر محلية (Biggs et al., 2009). إن نظم المياه الموزَّعة ليست مجرّد ابتكارات تقنية، بل تتطلب أيضاً حوكمة مبتكرة لكنها ليست مناسبة لكل السياقات. وحتى في تلك السياقات المحدَّدة التي تمثل فيها الحل الأنسب، تواجه النظم الموزَّعة عوائق عدة تحدّ من انتشارها (منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، 2015 (ب)):

أولاً، يمكن للنظم الموزَّعة أن تُضعِف النظم المركزية القائمة (مثلاً لجمع المياه العادمة ومعالجتها)، عندما ينفصل أفضل المستهلكين عن الشبكة المركزية، ما يحرم إدارة المرافق من الإيرادات. وهذه مسألة، إذ تعمل النظم الموزَّعة بشكل أفضل مع البنى الأساسية ذات الأنابيب المركزية. وقد تُمانع إدارات المرافق والمدن في دراسة الخيارات التي تؤثر سلباً على قاعدة الإيرادات التي تحصِّلها الشبكات القائمة، ما لم تُحدَّد مصادر بديلة للإيرادات.

ثانياً، تثير النظم الموزَّعة قضية المسؤولية: فمن هو المسؤول والذي يمكن محاسبته عن الخدمة المقدَّمة على مستوى المبنى أو المنطقة؟ فالمساءلة قضية مهمة، لأن النظم الموزَّعة تتطلب القدرة على رصد ومراقبة نوعية تدفقات المياه المتعددة على مستويات عدة، ما سيؤدي أيضاً إلى تكاليف إضافية.

ثالثاً، يحتاج تعقيد وفورات الحجم في إدارة المياه في المناطق الحضرية إلى العناية به. فبالنظر إلى وفورات الحجم المادي، فإن محطة المعالَجة الكبيرة عادة ما تكون أرخص تكلفة من عدة محطات أصغر. ومع ذلك، يمكن لاقتصادات النظام أن توازن بين وفورات الحجم المادي، على سبيل المثال، من خلال توفير تكاليف الاستثمار على التوسع المركزي في البنية التحتية مقارنة بتكنولوجيات معالَجة المياه العادمة في الموقع وتكنولوجيات إعادة الاستخدام.

المصدر: منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (2015 (ب)).

وساهم فيه خافيير ليفلايف (رئيس فريق المياه، إدارة البيئة في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي).

ويمكن النظر إلى مفهوم «نظم المياه العادمة الموزَّعة»، الذي يشير إلى نهج إنتاج عالي التشبيك والمحلية، والتوزيع والاستهلاك، كبديل يستند إلى الجمع الأمثل بين النظم المختلفة لإدارة المياه العادمة مركزياً ولامركزياً عبر نظم المجموعات المرتبطة شبكياً. وهذا الخيار هو أكثر كفاءة من حيث الوقت والطاقة والتكاليف، ويولِّد عوامل خارجية إيجابية لكلٍ من المستخدمين النهائيين والبيئة. ومع ذلك، يمكن أن توجد تحديات كبيرة من حيث التنفيذ (انظر الإطار 17-3).

وثمّة حاجة إلى مزيد من البحوث لفهم أفضل لكيفية الجمع بين النظم في مجموعة من الحلول (المجهَّزة بمجاري الصرف الصحي وغير المجهَّزة) عبر مجموعة متنوعة من المقاييس، في البلدان التي بدأت تظهر فيها البنية التحتية للمياه العادمة (Cairns-Smith et al., 2014). وتشمل المسائل البحثية الرئيسية في هذا المجال: فعالية التكاليف، وسلوك المستهلكين، والتقبّل والحوافز، ونماذج الأعمال والترتيبات المؤسسية. وعلاوة على ذلك، ينبغي النظر في المسائل المتعلقة بملكية النظام، وتقبّل الأسر المعيشية وتمويلها لهذه النظم، ولا سيما في البلدان النامية.

17-4 بناء القدرات، والتوعية العامة، والتعاون بين أصحاب المصلحة

ليس من السهل في البلدان الأقل نمواً الانتفاع بالمعارف العلمية، والبحوث والتكنولوجيات الجديدة والتعليم المناسب، والتدريب على الحلول المستدامة لإدارة المياه العادمة.

ويمثِّل التعليم وبناء القدرات أمراً حيوياً ويمكن تقديمه من خلال برامج تدريبية تركِّز على الجوانب المختلفة لإدارة المياه العادمة في البلدان النامية، لتستهدف كلاً من العاملين في مجال المياه وكذلك باعتبارها جزءاً من مناهج التعليم الرسمية على مختلف المستويات. ويمكن أن يؤثر ذلك تأثيراً مباشراً على قضايا التصوّر والتقبّل الاجتماعيين، ولا سيّما في استخدام المياه العادمة واسترداد الموارد.

ولا ينبغي التقليل من أهمية البعد الاجتماعي. فاستخدام المياه الآمنة، على سبيل المثال، يتطلب مشاركة فعالة من جانب أصحاب المصلحة، استناداً إلى فهم الفوائد والمخاطر. ويمكن لحملات التثقيف العام أن تنهض بمستوى الوعي لدى عامة الناس بشأن الطرق التي يمكن بها إعادة استخدام المياه بأمان، حتى لأغراض الشرب، بأمثلة مثيرة - مثل إعادة استخدام المياه من قبل رواد الفضاء في محطة الفضاء الدولية.

إن تمكين مشاركة أصحاب المصلحة وتنمية القدرات في أقرب وقت ممكن أمر بالغ الأهمية لنجاح مشاريع إعادة الاستخدام المُزمع إنشاؤها. ولئن كان إعادة الاستخدام يعتمد على نهج متعدد الحواجز، فإن التغيير السلوكي وقبول الممارسات المثلى هما مفتاحا النجاح. وبما أن أصحاب المصلحة قد يفتقرون إلى الوعي المناسب بالمخاطر و/أو لا يستفيدون مباشرة من اعتماد تدابير السلامة، فثمة حاجة إلى فهم أفضل للحوافز الخاصة بنوع الجنس (إيجابية كانت أو سلبية) لتعزيز الممارسات الموصَى بها، مع أعلى إمكانيات الاعتماد محلياً (Karg and Drechsel, 2011).

ومن الضروري بناء القدرات المؤسسية. وإذا افتقرت الجهة المسؤولة عن تشغيل وصيانة مرافق الصرف الصحي إلى القدرات المؤسسية المناسبة، سيبقى خطر الفشل قائماً، بغض النظر عمّا إذا كانت المنشأة تدير محطات مركزية صغيرة أو محطات لامركزية كبيرة (Murray and Drechsel, 2011). وفي هذا الصدد، يلزم تدريب جيل جديد من العلماء والمهندسين والمهنيين، يتناولون مختلف جوانب إدارة المياه العادمة، لمواجهة المشاكل التي تنشأ عن القضايا المتزايدة التعقيد والمترابطة على مختلف المستويات. وسيطلب مديرو المياه العادمة في المستقبل مزيجاً من المهارات الفنية والإدارية من أجل وضع وتنفيذ مجموعة من الحلول عبر مختلف تدفقات المياه العادمة، بدءاً من الحد من التلوث عند المصدر ومروراً بعملية الجمع والمعالجة وصولاً إلى إعادة استخدام المياه واسترداد المنتجات الثانوية المفيدة.

ويلزم بذل جهود ملموسة لتدريب الباحثات في مجال المياه العادمة، من أجل ترقية عدد أكبر من النساء العاملات في المستويات العليا للمؤسسات العلمية ومؤسسات صنع القرار في البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2016). والبلدان المتقدمة والنامية على حد سواء في حاجة ماسّة إلى التعليم على جميع المستويات - بدءاً من التعليم غير الرسمي للأطفال والكبار إلى تطوير مناهج التعليم العالي - بشأن قيم المياه العادمة، في حين أن مخاطر سوء إدارة المياه العادمة من أجل الصحة البشرية والبيئية بحاجة إلى اهتمام عاجل.

إن تطوير وتنفيذ منهجيات تعليمية وتدريبية مبتكرة ومتعددة التخصصات وشاملة، بما فيها مواد التعلّم والتدريب القائمة على حل المشكلات الفعلية والمراعية لبُعْد المسافات وللطلاب، هي أمور أساسية لضمان إمكانية تبنِّي القضايا والتحديات ببصيرة أعمق ومعرفة متقدمة وثقة أكبر.

الفصل الثامن عشر

البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية: ريتشارد كونور، أنجيلا ريناتا كورديرو أورتيغارا، إنجين كونكاغول، وستيفان أولينبروك

بمساهمات من: ماريان كيلين (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي)؛ سارة هندري (مركز السياسات والعلوم في مجال المياه (تحت رعاية اليونسكو)، جامعة دندي)؛ وسارانتويا زانداريا (اليونسكو – البرنامج الهيدرولوجي الدولي)

إنشاء بيئة وجعلها مواتية

جسر الرنتورس في هامبورغ (ألمانيا)

جسر الرنتورس في هامبورغ (ألمانيا)

في الختام، يعرض هذا الفصل خارطة طريق للاستجابات المحتملة وخيارات الحلول ووسائل التنفيذ التي يمكن اعتمادها لتعزيز التقدّم في تحسين إدارة المياه العادمة. وتتجاوز هذه الخيارات ما هو أبعد من مجرد الإطار التقني لتشمل الأطر القانونية والمؤسسية، وفرص التمويل، وبناء المعارف والقدرات، وتخفيف المخاطر الصحية البشرية والبيئية، وتشجيع التقبّل الاجتماعي. وبما أن التحديات تختلف من مكان لآخر في جميع أنحاء العالم، يتحتم على أصحاب المصلحة وصنّاع القرار في كل منطقة وبلد وحوض ومجتمع أن يحدِّدوا أنسب مزيج من الخيارات المناسبة لحالتهم الخاصة.

إن التصدي للتحديات المتعلقة بالمياه العادمة في العالم أمر بالغ الأهمية للنهوض بصحة الإنسان وسبل عيشه، وتعزيز نمو الاقتصادات المحلية والوطنية، وتحسين نوعية المياه والهواء والأرض، وحماية وتعزيز النظم الإيكولوجية والخدمات التي تقدمها. والواقع أن تحسين إدارة المياه العادمة يمثل عاملاً حاسماً في تحقيق التنمية المستدامة للجميع. ومع ذلك، وكما هو موصوف في هذا التقرير، فإن المياه العادمة ليست مجرد مشكلة تبحث عن حلول، بل هي مورد قيم يمكن أن يوفِّر فرصاً وفوائد هائلة إذا ما أدير بشكل صحيح.

ويتنامى الطلب على المياه واستخدامها في معظم أنحاء العالم نتيجة للنمو السكاني والتحضّر وتحسُّن الظروف الاجتماعية الاقتصادية. وفي الوقت نفسه، يزداد تعرُّض المياه للخطر بسبب تغيّر المناخ، والاستخراج غير المستَدَام للمياه الجوفية والتلوث. وفي العديد من المناطق، بدءاً من غرب الولايات المتحدة الأمريكية وجنوب أوروبا ومروراً بشمال أفريقيا والشرق الأوسط ووصولاً إلى أجزاء من الصين والهند، يجري بالفعل التأكيد بشدة على موارد المياه العذبة، ويكافح مقدِّمو الخدمات لتلبية الطلب المتنامي على المياه العذبة. ثم إن إعادة استخدام المياه يعزّز من توافر المياه العذبة لتلبية الاحتياجات البشرية والبيئية، وهو بالفعل يحدث في أماكن عدة. ويمكن أن تُستخدم المياه العادمة – وهو حاصل بالفعل – لأغراض متعددة، بدءاً من ري أراضي المناظر الطبيعية إلى الاستخدامات الصناعية، وحتى كمصدر لمياه الشرب الصالحة اعتماداً على مستوى معالجتها.

وكلما زاد استخدام المياه زادت أيضاً المياه العادمة. وكلما زاد صرف المياه العادمة للعالم دون معالجة، ازدادت الآثار على صحة الإنسان والبيئة بشكل متناسب.

وتقلِّل المعالَجة المناسبة للمياه العادمة قبل صرفها من الأعباء الملوثة للبيئة وتقلل من المخاطر الصحية على البشر. وقد تبدو بعض عمليات المعالَجة بالغة التطور باهظة التكلفة، ولا سيّما بالنسبة لأشد المجتمعات فقراً. ومع ذلك، فعند مقارنتها بتكلفة بناء سد جديد أو تحلية المياه أو استيراد المياه من حوض آخر، وكذلك عندما تؤخذ الفوائد الصحية والبيئية في الاعتبار، يصبح تحسين إدارة المياه العادمة منطقياً من الناحية الاقتصادية السليمة، وخاصة في ظل ظروف ندرة المياه. ويمكن أن يؤدي تحسين إدارة المياه العادمة إلى خلق فرص عمل مباشرة وغير مباشرة في القطاعات المعتمِدة على المياه وما وراءها (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2016).

وهناك أساساً نهجان للتصدّي للتحديات المتعلقة بالتلوث الناجم عن المياه العادمة. الأول، ويتضمن منع الاستخدام المفرط (الكمية) وتلوث المياه عند نقطة الاستخدام الأولي، ما يقلل من الحجم الكلي للمياه المستعملة المنتجة وأعباء التلوث التي تحتوي عليها. أما الثاني فيتضمن جمع المياه العادمة وتطبيق مستويات مناسبة من المعالَجة (أي حلول «المَصَبّ») للاستخدامات الأخرى أو التصريف في البيئة. ويشمل هذا النهج وضع معايير ولوائح جودة لتدفقات المياه العادمة الواردة والمياه العادمة المعالَجة الصادرة. وحيثما تكون الوقاية والعلاج المناسبان غير عمليين، تتوفر حلول فعالة من حيث التكلفة للحدّ من المخاطر الناجمة عن التعرض للمياه العادمة غير المعالَجة (انظر على سبيل المثال: منظمة الصحة العالمية، 2006 (أ)).

وقد اكتسب التخطيط لإعادة استخدام المياه زخماً في سياق إدارة موارد المياه المستدامة، وتخضير الاقتصادات، والتخطيط الحضري (انظر Lazarova et al. 2013). بيد أن المياه ليست المورد الوحيد الذي يمكن استخلاصه من المياه العادمة. فيمكن استخلاص العناصر المغذية والمواد العضوية والطاقة وغيرها أيضاً من المنتجات الثانوية المفيدة من أنواع معينة من المياه العادمة. فعلى سبيل المثال، وثّقت عملية استرداد الطاقة (الغاز الحيوي) ذات الكفاءة في التكلفة من حمأة مياه المجارير توثيقاً جيداً (قارن البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2014؛ ولجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). إن استرداد المياه والمنتجات الثانوية المفيدة أمر بالغ الأهمية لتحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة والموارد في اقتصاد دائري.

وتشمل دورة إدارة المياه العادمة أربع خطوات أساسية:

1 – الحدّ من التلوث ومنعه عند المصدر.

2 – إزالة الملوثات من مجاري المياه العادمة (أي المعالَجة)؛

3 – استخدام المياه العادمة المعالَجة لمختلف التطبيقات؛

4 – استعادة المنتجات الثانوية المفيدة.

ويمكن النظر إلى كل خطوة من هذه الخطوات على أنها خطوة واحدة مختلفة عن غيرها لكنها مترابطة في عملية منطقية، أو نهج متدرِّج، ضمن الإطار الأوسع للمعهد الدولي لإدارة المياه. وعلى هذا النحو، ينبغي أخذ عدد من الاعتبارات التقنية والتنظيمية والمالية في الاعتبار من أجل تحسين إدارة المياه العادمة وزيادة فرصها وفوائدها إلى أقصى حد.

وأصبحت ندرة المياه تحتل مكاناً متقدِّماً في جدول الأعمال السياسي العالمي، بما في ذلك خطة التنمية المستدامة لعام 2030. كما أن أهداف التنمية المستدامة المدرجة في جدول الأعمال تعمل على تعزيز نوعية المياه المحسَّنة من خلال تحسين إدارة المياه العادمة (الجمعية العامة للأمم المتحدة، 2015 (أ)). والواقع، أن سلامة النظم الإيكولوجية وتنوعها البيولوجي قد تأثرا بصورة متنامية بالمياه العادمة، ما أضرّ بخدمات النظم الإيكولوجية التي تعتمد عليها التنمية المستدامة – بجميع أبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

ونظراً لدور المياه العادمة المحتمل في التصدّي لندرة المياه والتلوث واسترداد الموارد، فليس من المستغرب أن تجتذب إدارة المياه العادمة اهتماماً متزايداً. وعلاوة على ذلك، فبالنظر إلى حقيقة أن القليل من المياه العادمة يخضع للمعالَجة والأقل منها ما يُستخدَم، تزداد الفرص المحتملة لاستغلال المياه العادمة المعالَجة بشكل مناسب كمورد ازدياداً هائلاً. وتصف الأقسام التالية عدداً من الاستجابات التي من شأنها أن تخلق مجتمعة بيئة مواتية لتعزيز إعادة استخدام المياه واسترداد المنتجات الثانوية المفيدة.

1-18 الخيارات التكنولوجية

على الرغم من تنامي عدد حالات إعادة استخدام المياه للأغراض الزراعية والصناعية والبيئية والترفيهية فضلاً عن مياه الشرب، فإن إمكانات استخدام مياه الصرف المعالَجة «المتوافقة مع الغرض» لم تُستَغلّ استغلالاً كاملاً بعد، ولا سيّما في البلدان النامية والاقتصادات الناشئة. وفي حين أن البلدان ذات الدخل المرتفع تعالج حوالي 70% من المياه العادمة التي تنتجها، فإن بلدان الشريحة الدنيا من الدخل المتوسط والبلدان التي تنتمي إلى فئة الدخل المنخفض تعالج فقط ما يقدر بنحو 28% و8%، على التوالي، من المياه العادمة (Sato et al., 2013).

ويتوقف اختيار التكنولوجيات على الموقع بشكل كبير. وتدار المياه العادمة في تنوّع عريض من النظم المناخية، بدرجات متفاوتة من توافر الموارد المائية، ومستويات التنمية الاقتصادية، وأنواع النشاط الاقتصادي وأنماط الاستيطان، وكل ذلك يؤدي إلى تحديات مختلفة فيما يتعلق بإدارة المياه العادمة ونوعية المياه (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (أ)). وعلى الرغم من الثغرات القائمة على المعارف، فقد طوِّرت مجموعة واسعة من الحلول التقنية، وغالباً ما تكون المسألة مسألة اختيار وتنفيذ التكنولوجيات المناسبة في المكان المناسب، بطريقة تستفيد على النحو الأمثل من المزيج الأنسب من كل من البنية التحتية الرمادية والبنية التحتية المراعية للبيئة.

وبالنسبة للبلدان النامية، تتوفر تكنولوجيات معالجة المياه العادمة المناسبة والفعالة والمنخفضة التكلفة (انظر الفصل الخامس عشر). ويمكن أن تكون المعالَجة التمهيدية، والمعالجة الأولى والمعالجة الثانية عمليات بسيطة تنتج النفايات السائلة بالنوعية المطلوبة لمجموعة متنوعة من الاستخدامات، مع انخفاض تكاليف الاستثمار، وبالأخص انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة (Jiménez Cisneros, 2011; Libhaber and Orozco –Jaramillo, 2012)، ولا سيّما عندما تقترن بالبنية التحتية المراعية للبيئة التي تدار بشكل جيد (انظر الفصل الثامن). وبما أن العمليات البيولوجية تؤدي أداء أفضل في درجات الحرارة المرتفعة، فإن العديد من هذه العمليات مناسب بشكل خاص للبلدان ذات المناخ الحار، التي تشمل معظم البلدان النامية (Qadir et al., 2015b). وسيكون هدفها زيادة مستويات معالجة المياه العادمة تدريجياً بدءاً من عمليات المعالَجة التمهيدية والأولى والثانية إلى المعالَجة الثالثة، وبالتالي توليد نفايات سائلة بجودة متزايدة.

ومن المهم أيضاً اختيار أنسب نوع من أنواع نظم معالجة المياه العادمة. وعلى الرغم من عدم وجود حل مشترك واحد، فإن التكلفة المنخفضة في نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة (DEWATS) يكتسب قبولاً ويزداد استخدامه في البلدان المتقدمة والنامية على السواء (انظر الفصل الخامس عشر). وفيما يتعلق بالبلدان النامية على وجه الخصوص، أُشِير إلى أن محطات المعالَجة المركزية والمتطوِّرة تمثِّل استثماراً محفوفاً بالمخاطر بسبب عدم كفاية القدرة المؤسسية والتمويل. وعادة ما تكون التكنولوجيات المناسبة التي تعتمد على عمليات بسيطة مع قلّة في تكاليف رأس المال والتشغيل والصيانة أكثر استدامة، بل يمكنها أن توفر نفايات سائلة ذات مستويات جودة مناسبة للعديد من الاستخدامات المحتملة، بما فيها الزراعة (Libhaber and Orozco). وتشير التقديرات إلى أن تكاليف الاستثمار في مرافق المعالَجة البسيطة أو «المناسبة» تمثِّل فقط 20% – 50% من محطات المعالَجة التقليدية، مع انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة (في حدود 5 – 25% من محطات معالجة الحمأة المنشطة التقليدية) (Wichelns et al., 2015).

وعلى الرغم من أن البلدان المتقدِّمة لديها نظم متطورة لمعالجة المياه العادمة في الموقع، فإنها تواجه أيضاً عدداً من التحديات، بما فيها البنية التحتية المتقادمة والتي غالباً ما تكون غير ملائمة للتعامل مع أعباء المياه العادمة الحالية (انظر الفصل الثاني عشر)، وتناقص عدد الموظفين (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2016) والقلق المتنامي بشأن الملوثات الناشئة (انظر الفصلين الرابع والسابع عشر).

إن مفهوم «التوافق مع الغرض» هو اعتبار آخر بالغ الأهمية. وحيث إنه من غير المرجَّح أن تزداد القدرة على المعالجة المتقدِّمة للمياه العادمة في البلدان النامية زيادة كبيرة في المستقبل القريب، سيكون من المهم تطوير واعتماد تكنولوجيات مصمَّمة خصيصاً لمعالجة المياه العادمة تصل إلى مستويات مناسبة لاستخدامات نهائية مختارة. وقد كانت الزراعة المروية هي الأكثر شيوعاً تاريخياً من حيث استخدام المياه العادمة المعالَجة جزئياً، وأفادت التقارير عن استخدامها لهذا الغرض في حوالي 50 بلداً، على 10% من جميع الأراضي المروية (منظمة الأغذية والزراعة، 2010). وثمة فرص

أخرى أيضاً لاستخدام المياه العادمة المعالَجة – بدءاً من المزروعات التجميلية في المناطق الحضرية إلى المياه الصالحة للشرب، وكل منها يتطلب مستويات مختلفة من المعالَجة. إن دمج هذه الاستخدامات المحتملة في نظم إدارة المياه العادمة (عن طريق المعالَجة «المتوافقة مع الغرض») مطلوبة لتمكين القدرات الكبيرة لإعادة استخدام المياه (انظر الفصل السادس عشر).

وأخيراً، فإن تكنولوجيات استرداد المنتجات الثانوية النافعة من المياه العادمة، مثل الطاقة (الحرارة والغاز الحيوي) والعناصر المغذية، تتطور بسرعة وتزداد فعالية من حيث التكلفة، ولا سيما عند النظر إليها ضمن دورة إدارة المياه العادمة ككل (انظر الفصل السادس عشر). فعلى سبيل المثال، يمكن استرداد الطاقة الحرارية والكيميائية والهيدروليكية الموجودة في المياه العادمة في شكل غاز حيوي أو شكل تدفئة/تبريد أو كهرباء سواء أكان ذلك من خلال العمليات التي تتم في الموقع أم خارج الموقع (meda et al., 2012)، وتوجد تكنولوجيات متنوعة لاسترداد الطاقة في الموقع من خلال عمليات معالجة الحمأة/المركَّبات الصلبة الحيوية المتكاملة مع محطات معالجة المياه العادمة. كما تتوفر طرق جديدة لاسترداد الفوسفور من المياه العادمة وتحويل مخلفات التعفين إلى سماد بتكلفة منخفضة. وستؤدي الابتكارات التكنولوجية في هذه المجالات دوراً حاسماً في النهوض باسترداد الموارد وإعادة استخدامها، ولا سيّما في البلدان النامية والأسواق الناشئة (Hanjra et al., 2015a).

2-18 الأطر القانونية والمؤسسية

أحد الأسباب الرئيسية التي أدت إلى إهمال المياه العادمة إلى حد كبير هو افتقارها غالباً إلى البيت المؤسسي، فلم تحقِّق كثيرٌ من مرافق المياه التي جرى إصلاحها القيمة المتوخاة من وراء الاستثمار في البنية التحتية للمياه العادمة (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وبالتالي، يتطلب تحسين إدارة المياه العادمة مواءمة المصالح المختلفة بطرق تسمح للأفراد والمنظمات بالتعاون من أجل تلبية الاحتياجات المشتركة الأساسية مع زيادة الفوائد عبر مختلف مراحل إدارة المياه العادمة إلى أقصى حد (انظر الفصل الثالث).

ويجب أن تكون الأطر التنظيمية ملائمة للزمان والمكان، وتقرّ بتنوع الاقتصادات والثقافات والاحتياجات المختلفة اختلافاً بيِّناً لأجزاء المجتمع المختلفة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (ب)). وعلى الرغم من الحاجة إلى رفع معايير نوعية المياه في كل مكان تقريباً، فإن تحقيق التقدم سيتطلب نهجاً مرناً ومتصاعداً. فالتنظيم الكافي يستغرق وقتاً طويلاً وهو مكلف، لكن إذا ما أُخذت في الحسبان التكاليف والفوائد المتعلقة بإدارة المياه العادمة على مدى العمر الافتراضي، فإن الوفورات المتحققة للمجتمع والبيئة والاقتصاد يمكن أن تكون كبيرة (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2015 (أ)). وتستلزم الأطر التنظيمية الفعالة تزويد السلطات التنفيذية بالقدرات التكنولوجية والإدارية الضرورية وتمكينها من تأدية المهام المنوطة بها على نحو استقلالي، مع تخويلها في الصلاحيات الكافية التي تكفل لها تطبيق القواعد والمبادئ التوجيهية. وتسهم مبادئ الشفافية وإتاحة المعلومات في تحفيز مستوى الامتثال عن طريق تعزيز الثقة بين المستخدمين تجاه إجراءات التنفيذ والإنفاذ (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (ب)).

وتمثِّل إدارة المياه العادمة مصدر قلق دولي، إذ إن مشاكل التلوث غير محدودة. وتتجلّى أهمية التعاون الدولي في حالتي نهر الدانوب والبحر الأسود (انظر الإطار 3-1). ويمكن أن يساعد التنسيق الكافي على المستويين الوطني والدولي على ضمان إنفاق الموارد المالية المحدودة بأكثر الطرق فعالية.

ومع ذلك، فإن إجراءات التصدي لتلوث المياه – عن طريق عمليات الإنتاج والاستهلاك الأنظف والمعالجة الأكثر كفاءة وشمولاً – تتم دائماً تقريباً على المستوى المحلي. ومن ثم، فإن التنظيم المحلي، والتشاور مع أصحاب المصلحة، والتحفيز للامتثال تظل عناصر حاسمة في أي استراتيجية مستدامة لإدارة المياه العادمة.

وتنفَّذ أيضاً السياسات والأدوات التنظيمية على المستوى المحلي، ويتعين تكييفها مع ظروف مختلفة. فعلى سبيل المثال، حيثما تكون أوجه التفاوت الاقتصادي صارخة، فمن غير المرجَّح أن تستطيع استراتيجية مركزية واحدة تقديم الخدمات لجميع المستخدمين. ولذلك فمن المهم توزيع الدعم السياسي والمؤسسي والمالي بالتساوي، إذ أن المبادرات «التصاعدية من القاعدة»، وتوفير الخدمات المحلية الصغيرة (أي اللامركزية) لخدمات إدارة المياه العادمة تحتاج أيضاً إلى الدعم والبيئات المواتية للازدهار.

وبالمثل، ينبغي اختيار طرق معالجة المياه العادمة واستخدامها وفقاً للظروف المحلية، مع مراعاة احتياجات النظم الإيكولوجية، والاستخدامات التنافسية للمياه والممارسات المقبولة ثقافياً. وفي ظل هذه القيود، يمكن إعادة استخدام المياه – بل يجب إعادة استخدامها – على نحو مكثف قدر الإمكان استجابة لندرة المياه والطلب المتزايد على الغذاء والطاقة. وحيثما كانت النفايات السائلة عالية الجودة مطلوبة، يتبين أن اعتماد (أو تغيير) تشريعات إعادة استخدام المياه هو «المحفِّز» الرئيسي الذي أثر على محطات المعالَجة في تغيير تكنولوجياتها الحالية عن طريق إجبارها أساساً على تنفيذ خطط معالجة متقدمة (DEMOWARE, 2016).

وفي كثير من البلدان، سيلزم وضع تشريعات وترتيبات مؤسسية جديدة لاستيعاب وتنظيم استخدام المياه العادمة لمجموعة متنوعة من الاستخدامات، بدءاً من الري وإعادة تدوير المياه الصناعية إلى إعادة تغذية المياه الجوفية وتعزيز خدمات النظم الإيكولوجية. ويمكن دمج المياه العادمة المعالَجة في المخططات الوطنية لإمدادات المياه، باعتبارها مصدراً إضافياً للمياه (Hanjra et al., 2015b).

وثمة حاجة كذلك إلى لوائح جديدة تتعلق باسترداد المنتجات الثانوية من المياه العادمة. وعلى الرغم من توافر الخبرة الفنية (انظر الفصل السادس عشر)، فغالباً ما تغيب التشريعات المتعلقة بمعايير نوعية هذه المنتجات، ما يخلق حالات من عدم اليقين في السوق يمكنها أن تثبط الاستثمار. ويمكن حفز أسواق هذه المنتجات عن طريق حوافز مالية أو قانونية (مثل المزج الإلزامي للفوسفات المستَردّ في الأسمدة الصناعية). ويمكن أن يساعد تطبيق

معايير الجودة على المنتج النهائي، بدلاً من تطبيقها على المواد المدخلة، على تعزيز تقبّل السوق للمواد عالية الجودة المستخلصة من المياه العادمة المنصرفة من البلديات، فضلاً عن حفز عملية إعادة تدوير العناصر المغذية وغيرها من المنتجات الثانوية الموجودة في المياه العادمة باعتبارها جزءاً بالغ الأهمية من الاقتصاد الدائري.

إن إدارة المياه العادمة وما يترتب عليها من حماية موارد المياه هي مجال يمثّل تحدّياً مستمراً لقدرة المجتمعات على العمل لصالح أولئك الذين ليس لديهم صوت سياسي خاص بهم – وهم الضعفاء والأجيال القادمة والنظم الإيكولوجية. وعندما يلزم إنفاذ المعايير والتصاريح، يكون حياد السلطات العامة حاسماً. وقد تكون الشفافية والمشاركة العامة في صنع السياسات سبيلين لضمان حلول معقولة ومقبولة ومستدامة. وتمثّل الرؤية المشتركة والاتفاق العام على أهداف إدارة المياه العادمة أفضل ضامن لتنفيذها بنجاح.

3-18 فرص التمويل

تُعتبر إدارة المياه العادمة والصرف الصحي عموماً مكلفة وتستهلك رأس المال (انظر القسم 3-3). ويصدُق ذلك بوجه خاص على النظم المركزية الكبيرة، التي تتطلب قدراً كبيراً من النفقات الرأسمالية المبدئية. وعند الانتهاء، فإن هذه النظم نادراً ما تولِّد إيرادات كبيرة وبالتالي فهي غير قادرة على تغطية تكاليف التشغيل والصيانة الخاصة بها على المدى المتوسط والبعيد، ما يؤدي إلى تدهورها السريع. ولذلك، فليس مستغرباً ألا ينظر إلى الاستثمار في إدارة المياه العادمة وجودة المياه كأولوية سياسية في عديد من الاقتصادات المتقدِّمة والنامية على السواء. وتزداد المشكلة تفاقماً بسبب الافتقار المزمِن للاستثمارات في مجال تنمية المؤسسات والقدرات البشرية (انظر الفصل السابع عشر). فمن الضروري تنسيق الاستثمارات والتمويل من أجل تحسين الأداء العام لنظم إدارة المياه العادمة (منظمة الصحة العالمية، 2015). ويمكن لنهج التمويل القائم على النتائج أن يساعد أيضاً في تعزيز التصميم الأمثل والتنفيذ الفعال لهذه النظم (المجلس العالمي للمياه/منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015).

ويمكن استخدام نظم المعالجة اللامركزية للمياه العادمة لتعويض بعض المشاكل المالية الناتجة عن النظم المركزية (انظر القسم 15-4). واستخدامها هو الأكثر شيوعاً في المجتمعات الأصغر حجماً، التي تعالج كميات أقل من المياه العادمة. وغالباً ما تُستخدم تكنولوجيات منخفضة التكلفة (مثل بحيرات ترسيب النفايات، والمرشِّحات اللاهوائية، والأراضي الرطبة المبنية). وعند تصميم هذه التكنولوجيات منخفضة التكلفة وتنفيذها بصورة سليمة، يمكنها توفير نتائج مرضية من حيث نوعية النفايات السائلة. ومع ذلك، فعلى الرغم من أن الاستثمارات الأولية لهذه التكنولوجيات منخفضة، فإنها لا تزال تتطلب مستوى مناسباً من التشغيل والصيانة من أجل تجنّب فشل النظام. ولذلك، فإن الموارد المالية والاستثمارات في القدرات البشرية تحتاج إلى الاهتمام المبكر في مرحلة التصميم لضمان حسن سير النظم اللامركزية على المدى البعيد.

وبغية تحقيق أقصى قدر من الفوائد الصافية لنظم معالجة المياه العادمة، فمن المهم أيضاً دراسة تكاليفها وفوائدها الاجتماعية والبيئية والمالية محلياً ودراستها في نهاية المطاف، ومقارنة هذه النتائج مع أفضل البدائل التالية، بما في ذلك تكاليف عدم اتخاذ إجراء على المدى البعيد. والواقع أن الغالبية العظمى من الأدلة المتاحة تشير إلى أن تكاليف عدم كفاية الاستثمار في إدارة المياه العادمة أكبر بكثير من النفقات الفعلية التي تُنفَق، ولا سيّما عندما تؤخذ في الاعتبار الأضرار المباشرة وغير المباشرة التي تلحق بالصحة والتنمية الاجتماعية والاقتصادية والبيئة (انظر القسم 13-5) (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)).

ويمكن أن يؤدي استخدام المياه العادمة إلى إضافة رافد جديد لإيرادات معالجة المياه العادمة، ولا سيّما في ظل ظروف شحّ المياه المتكرر أو المزمن. وقد نُفِّذ العديد من نماذج الأعمال المختلفة يتيح فيه استرداد التكاليف والقيمة ميزة كبيرة من منظور مالي (انظر القسم 16-3). ومع ذلك، فإن الإيرادات المتحصَّلة من بيع المياه العادمة المعالَجة ليست كافية بشكل عام لتغطية تكاليف التشغيل والصيانة لمرفق معالجة المياه نفسه. وعندما تضطلع كيانات مختلفة بالمسؤولية عن أجزاء مختلفة من سلسلة خدمات الصرف الصحي، فينبغي أن توجد آليات متفق عليها بوضوح بشأن التكاليف والمخاطر وتقاسم الفوائد (مثل الشراكات بين القطاعين العام والخاص أو نهُج المشاركة الأخرى) إذا كانت القيمة التي نشأت عن طريق إعادة الاستخدام هي المساعدة في إبقاء سلسلة خدمات الصرف الصحي (Wichelns et al., 2015). وفي إطار السياق الأوسع لإدارة الموارد المائية، قد توفِّر البنية التحتية متعددة الأغراض للمياه مزايا إضافية لتحسين معالجة المياه العادمة، لكن هذا غالباً ما يكون أكثر صعوبة في التمويل من المشاريع ذات الغرض الواحد (المجلس العالمي للمياه/منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، 2015).

وحتى عندما توصّل المياه الصالحة للشرب إلى صنابير المياه، فإن قيمتها تظل منقوصة عموماً كما يظل سعرها أقل من قيمتها مقارنة بالتكلفة الفعلية للخدمة. ويجب تسعير المياه العادمة المعالَجة بأقل من سعر المياه الصالحة للشرب من أجل الحصول على تقبّل الجمهور. وفي مثل هذه الحالات، يكون لتشجيع إعادة استخدام المياه الأسبقية على استرداد التكاليف. ومع ذلك، فحتى عندما تفشل العائدات المتحصَّلة من استخدام المياه العادمة في تغطية تكاليفها الإضافية، فإن الاستثمارات في مجال إعادة استخدام المياه تضاهي عموماً تكاليف السدود وتحلية المياه والتحويلات بين الأحواض وغيرها من الخيارات لزيادة إمدادات المياه (Wichelns et al., 2015).

ويمكن أن يؤدي استرداد العناصر المغذية (وخاصة الفوسفور والنيتروجين) والطاقة إلى إضافة روافد جديدة وكبيرة للقيمة لتحسين مُقترَح استرداد التكاليف. وقد ظهرت ابتكارات تكنولوجية عدة في السنوات الأخيرة، تسمح بزيادة الكفاءة في استرداد العناصر المغذية والطاقة (انظر القسم 16-2). وتبيِّن الدراسات المتعلقة باسترداد الموارد المتعددة أن الفوائد المالية الكبيرة تصبح ممكنة عندما لا يمتد مسار إعادة استخدام الموارد إلى الطاقة

فحسب، بل يستهدف أيضاً ائتمانات الكربون (Hanjra et al., 2015b). وقد استُخدِم الغاز الحيوي المسترد بنجاح كمصدر للطاقة لمحطة المعالَجة نفسها، وفي توليد الحرارة والطاقة معاً، أو ما يُعرف بالتوليد المشترك، وحتى كوقود للنقل (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2014). ومن شأن إعادة إنتاج الفوسفور والنيتروجين المسترَد كسماد خفض أسعار هذه المنتجات والمساهمة في خفض التكلفة الإجمالية للأغذية (Sengupta et al., 2015). وتتوافر الآن طرائق لاسترداد الفوسفور من المياه العادمة وتحويل مخلفات التعفين إلى سماد حُبيْبي بتكلفة منخفضة (Hanjra et al., 2015a). وعلاوة على ذلك، فإن التحكم في استرداد الفوسفور – وهو مورد غير متجدد لا غنى عنه كسماد في الزراعة الحديثة – يمكن أن يمثّل فائدة من الناحية المالية أكثر من المعالَجة الكيميائية اللازمة لإزالة الهطول الفوسفوري غير المرغوب فيه في محطة المعالَجة. ومن المرجَّح أن يصبح استرداد الفوسفور أكثر تنافسية من حيث التكلفة مع ارتفاع تكلفة استخراج الفوسفات الصخري المحدود (Wichelns et al., 2015). وبصرف النظر عن الفوائد الاقتصادية الملموسة، فإن تحسين استرداد النيتروجين من شأنه أيضاً التقليل من تحميل النيتروجين إلى الغلاف الجوي (Sengupta et al., 2015). وعلى الرغم من أن تكنولوجيات الاسترداد لا تزال في مراحل مبكِّرة من التطوير، إلا أن التكنولوجيات المبتكرة لاسترداد مواد قيِّمة أخرى آخذة في الظهور أيضاً، مثل استعادة المعادن من خلال عمليات كيميائية كهربية حيوية (Wang and Ren, 2014).

وباختصار، يصبح تمويل معالجة المياه العادمة واستخدامها مؤاتياً بشكل متزايد عندما تكون تكاليف المعالَجة منخفضة ويتجاوز مُقترَح القيمة حد استرداد المياه من المياه العادمة لتشمل استرداد العناصر المغذية والطاقة وغيرها من المنتجات الثانوية المفيدة. وبالنظر إلى أوجه التآزر المحتملة هذه عَبْر دورة إدارة المياه العادمة، يظهر أن الشراكات بين القطاعين العام والخاص، المستندة إلى استرداد التكاليف في جميع مراحل دورة إدارة المياه العادمة، يمكنها المساعدة في تحفيز قطاع الصرف الصحي/المياه العادمة بل تمويله تمويلاً مشتركاً، وفي الوقت نفسه تروِّج لأصحاب المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم (Murray et al., 2011). ويمثّل توافر المستخدمين النهائيين الذين يمكنهم استيعاب إمدادات المُنتَج وهم على استعداد وقادرون على دفع ثمنها (أي السوق) أهمّ شرط لتنفيذ أي برنامج لإعادة استخدام المياه واسترداد المنتجات الثانوية واستخدامها (Rao et al., 2015).

4-18 تعزيز المعارف وبناء القدرات

إن البيانات والمعلومات المتعلقة بتوليد المياه العادمة ومعالجتها واستخدامها ضرورية لصانعي السياسات والباحثين والممارسين والمؤسسات العامة من أجل وضع خطط عمل وطنية ومحلية تهدف إلى حماية البيئة والاستخدام الآمن والمُنْتِج للمياه العادمة. ومع ذلك، فهناك افتقار واسع النطاق للبيانات ذات الصلة تقريباً بجميع جوانب نوعية المياه وإدارة المياه العادمة، وخاصة في البلدان النامية (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وعند توافرها، فإن البيانات على المستوى القُطري بشأن توليد المياه العادمة ومعالجتها واستخدامها تكون غير مكتملة أو قديمة (Sato et al., 2013)، بحيث تكون المقارنات المباشرة بين البلدان صعبة أو مستحيلة (انظر القسم 4-4). ويُتوقَّع أن تتمكن عملية الرصد المطلوبة لقياس التقدُّم نحو الغاية رقم (6-3) من أهداف التنمية المستدامة أن تولِّد بعض التقدم في الرصد ووضع التقارير على المستوى الوطني (انظر الفصل الثاني).

وتمثِّل المعارف المتعلقة بالأحجام، وربما الأهم من ذلك بمكونات المياه العادمة، أدوات ضرورية لحماية صحة الإنسان والبيئة وسلامتهما. وهنا أيضاً، مجال كبير للتحسين على مستوى الحوض وعلى المستوى المحلي من أجل رصد فعالية النظم التنظيمية ودعم إنفاذ القوانين البيئية.

ومن أجل تعزيز إدارة المياه العادمة، من الضروري أيضاً ضمان وجود المستويات المناسبة من القدرات البشرية (انظر الفصل السابع عشر). لذا، فهناك حاجة إلى التطوير المهني المستمر على جميع المستويات لمواكبة التكنولوجيا دائمة التطوّر والاحتياجات المجتمعية.

وتبقى دائماً حاجة إلى موظفين مدربين تدريباً مناسباً، بصرف النظر عما إذا كان الأمر يتعلق بالنظم المركزية لإدارة المياه العادمة أو النظم الأصغر داخل الموقع. وعلى سبيل المثال، فغالباً ما تُرك تشغيل وصيانة العديد من النظم التي تعمل داخل الموقع لمالكين محليين أو للسلطات المحلية، ما أدّى إلى فشل النظم بسبب نقص الصيانة أو عدم ملاءمتها (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). ووفقاً للرابطة الدولية للمياه، «تفتقر العديد من الاقتصادات النامية إلى أعداد كبيرة من المهنيين في مجال المياه، كما تفتقر للمعارف والخبرة والمهارات المتخصصة اللازمة لتلبية الطلب المتنامي على خدمات المياه والصرف الصحي» (الرابطة الدولية للمياه، 2014، ص 3). كما أن الاستثمار في التدريب الكافي يصنع الفرق بين السياسات التنظيمية الجيّدة وبين التحكم الفعلي في الفوائد المتعلقة بتجميع المياه ونوعيتها (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وكما ورد في تقرير الأمم المتحدة عن تنمية المياه في العالم لعام 2016، «توجد علاقات حرجة وروابط أساسية بين إدارة المياه [بأوسع معانيها] وفرص التوظيف في البلدان على جميع مستويات التنمية. [...] وتلعب المياه دوراً رئيسياً في توليد واستدامة فرص العمل المباشرة عبر مجموعة كبيرة من القطاعات وكذلك في إطلاق الإمكانات التي تخلق فرص عمل غير مباشرة من خلال تأثيرها المضاعف» (البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية، 2016، ص 7 و126).

كما أن القدرات التنظيمية والمؤسسية في قطاع إدارة المياه العادمة غير كافية، ولا سيّما في البلدان النامية. وبالنظر إلى أن إدارة المياه العادمة غالباً ما تفتقر إلى «البيت المؤسسي»، فإن التحديات التي ينطوي عليها التوفيق بين المصالح المختلفة وزيادة التعاون نحو تحقيق الأهداف المشتركة الأساسية تتطلب مؤسسات قوية تتسم بالكفاءة والشفافية، وتكون قادرة كذلك على تصميم المبادئ التوجيهية وإنفاذ اللوائح.

وأخيراً، فهناك حاجة إلى البحوث والتطوير من أجل تكييف التكنولوجيات المبتكرة مع السياقات المحلية، سواء من حيث تحسين نظم معالجة المياه العادمة ذات التكلفة المنخفضة (بما فيها فصل تيارات النفايات السائلة لتفصيل معالجة تناسب الاستخدام المقصود التالي)، فضلاً عن زيادة أوجه الكفاءة في استخدام المياه العادمة المعالَجة والمنتجات الثانوية المستردَّة (انظر الفصل السابع عشر). ومن الأهمية بمكان أيضاً تحسين العمليات الخاصة باسترداد المعادن والملوثات الناشئة، التي تتطلب عادة تكنولوجيات ذات رأس مال عالٍ وقدرات عالية. ويلزم إجراء مزيد من البحوث بشأن آثار الملوثات الناشئة مثل الميكروبيدات وإمكانية إزالتها (انظر الإطار 4-2) والمواد الكيميائية الصيدلانية التي يُحتمل أن تكون خطرة مثل مسبِّبات اختلال الغدد الصماء والمركّبات المقاوِمة لمضادات الميكروبات.

18-5 التخفيف من المخاطر الصحية على الإنسان والبيئة

يمكن أن يؤدي تصريف المياه العادمة غير المعالَجة إلى آثار خطيرة على صحة الإنسان والبيئة، بما فيها تفشّي الأمراض المنقولة عن طريق الأغذية والمياه والأمراض التي تنتقل عن طريق ناقلات الأمراض، فضلاً عن التلوث وفقدان التنوع البيولوجي وخدمات النظم الإيكولوجية. ولسوء الحظ، فإنه على الرغم من الجهود المتنامية لزيادة مستويات المعالَجة والتغطية، ستظل معظم المياه العادمة المنصرفة من المدن والمناطق الريفية دون معالجة أو المعالجة جزئياً فقط لسنوات عديدة قادمة. ونتيجة لذلك، فمن المرجَّح أن يستمر الاستخدام غير المقصود وغير الرسمي إلى حد كبير للمياه العادمة غير المعالَجة أو المعالَجة جزئياً لأغراض الري والاستخدامات الأخرى. ولذلك فإن إدارة المخاطر ضرورية لتعزيز سلامة استخدام المياه العادمة.

وسيختلف الخيار الأنسب لإدارة المخاطر الناجمة عن استخدام المياه العادمة في سياق معين باختلاف الاستخدام النهائي المقصود، والتقبّل الاجتماعي الثقافي، إضافة إلى العوامل الاقتصادية والمؤسسية والفيزيائية الحيوية والتكنولوجية (Balkema et al., 2002). وكلما اعْتُبِر التعرض البشري محتمَلاً (على سبيل المثال عن طريق الغذاء أو الاتصال المباشر)، ستبرز الحاجة إلى تدابير أكثر صرامة لإدارة المخاطر. على سبيل المثال، سيتم تطبيق تدابير إدارة أقل صرامة حيث تستَخدم المياه العادمة لري المحاصيل غير الغذائية، مقارنة بري المزروعات التجميلية في الحدائق العامة أو المدارس، حيث يكون الاتصال المباشر مع الملوثات المكشوفة مرجَّحاً. ويلزم اتخاذ تدابير أشدّ صرامة عند استخدام المياه العادمة لزيادة الإمدادات الصالحة للشرب (Keraita et al., 2015).

وتقترح *توجيهات منظمة الصحة العالمية الخاصة باستخدام المياه المستعملة والمفرغات والمياه الرمادية في الزراعة* (انظر القسم 7-2-2) نهجاً متعدِّد الحواجز لا تكون فيه معالجة المياه العادمة سوى أحد الخيارات المتعددة لحماية الصحة العامة (منظمة الصحة العالمية، 2006أ). وعندما تستَخدَم المياه العادمة غير المعالَجة لري المحاصيل الصالحة للأكل، وللحواجز عند مصادر المياه العادمة، وفي المزارع، وفي الأسواق، وعلى مستوى المستهلك، فإنها بالتالي توفِّر الحماية في نقاط مختلفة على طول سلسلة الإنتاج.

18-6 تعزيز التقبل الاجتماعي

وحتى إذا كانت مشاريع استخدام المياه العادمة مصمَّمة تصميماً جيداً، وتبدو قابلة للتحقق من الناحية المالية ولديها تدابير مناسبة للحماية الصحية، فإن خطط إعادة استخدام المياه يمكن أن تفشل، إذا لم يراع المخطِّطون بشكلٍ كافٍ ديناميات التقبّل الاجتماعي (انظر القسمين 3-4 و16-6). ويختلف التقبّل العام (الآمن) للمياه العادمة باختلاف مرحلة تطوّر المجتمع، ويمكن أن يكون عملية دينامية، تضطلع بدراسات الجدوى الاجتماعية، والمشاركة الوثيقة لمجموعات المستخدمين، والمكوِّنات الحاسمة لبناء الثقة لبرنامج ناجح لاستخدام المياه العادمة (Drechsel et al., 2015b). وفي حين أن ندرة المياه يمكن أن تعزّز التصور الإيجابي لاستخدام المياه العادمة، فإن عوامل أخرى سوف تؤثر على التقبّل العام لها، منها توافر مصادر المياه البديلة، ومستويات التعليم، وتصورات المخاطر الصحية، والشواغل الدينية والوسائل والرسائل المستخدمة في تبادل المعارف والاتصالات. ويمثِّل التغلب على التصورات السلبية لدى العامة أمراً بالغ الأهمية بوجه خاص في حالة مياه الشرب (أي إعادة استخدام مياه الشرب). وعلى الرغم من أن هذه النظم غالباً ما تقدِّم معايير المياه هذه أعلى من تلك التي لمصادر المياه الأخرى، يلزم القيام بحملات إعلامية واسعة النطاق ومشاركة الجمهور لبناء الثقة في النظام والتغلب على ما يسمى بعامل «الاشمئزاز».

ويتعين تقييم المخاطر الصحية المرتبطة بإعادة استخدام المياه وإدارتها ورصدها وتقديم تقارير عنها بصورة منتظمة من أجل الحصول على تقبّل الجمهور وزيادة فوائد استخدام المياه العادمة إلى أقصى حدٍ ممكن مع تقليل الآثار السلبية (لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية، 2015 (أ)). وفي البلدان التي يتراوح دخلها بين الدخل المنخفض والمتوسط وهي ذات قدرة محدودة على المعالَجة، حيث تطلق فيها المياه العادمة غير المعالَجة أو المعالَجة جزئياً في المسطحات المائية ثم تستَخرج وتستَخدَم لأغراض الري غير الرسمي، لا يكمن التحدي الثقافي والاجتماعي في إدخال مفهوم إعادة استخدام المياه، بل في منع الاستخدام غير المقصود/غير الآمن للمياه العادمة غير المعالَجة. وفي تلك الحالات، تكون الحاجة إلى الدعم من أجل الانتقال إلى إعادة الاستخدام الآمن للمياه العادمة (Drechsel et al., 2015b).

18-7 الخاتمة

في عالم يتزايد فيه الطلب على المياه العذبة تزايداً متواصلاً، ويشتد فيه الضغط على الموارد المائية المحدودة بسبب الاستخراج المفرط والتلوث وتغيّر المناخ، يبدو إغفال الفرص التي يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة أمراً لا يمكن فعلاً تصوّره.

المراجع

Aagaard-Hansen, J. and Chaignat, C. L. 2010. Neglected tropical diseases: Equity and social determinants. E. Blas and A. S. Kurup (eds). *Equity, Social Determinants and Public Health Programmes*. Geneva, Switzerland, World Health Organization (WHO).

Abiye, T. A., Sulieman, H. and Ayalew, M. 2009. Use of treated wastewater for managed aquifer recharge in highly populated urban centers: A case study in Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Geology*, Vol. 58, No. 1, pp. 55–59. Doi: 10.1007/s00254-008-1490-y

ADB (Asian Development Bank). 2013. *Asian Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and the Pacific*. Mandaluyong, Philippines, ADB. www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2013

Ajiboye, A. J., Olaniyi, A. O. and Adegbite, B. A. 2012. A review of the challenges of sustainable water resources management in Nigeria. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 1–9.

Akcil, A. and Koldas, S. 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, No. 12–13, pp. 1139-1145. dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006

AKDN (Aga Khan Development Network). n.d. *Aga Khan Award for Architecture, Wadi Hanifa Wetlands*. AKDN website. www.akdn.org/architecture/project.asp?id=2258

Alcott, B. 2005. Jevon's Paradox. *Ecological Economics*, Volume 54, No. 1, pp. 9–21.

Ammerman, A. J. 1990. On the origins of the Forum Romanum. *American Journal of Archaeology*, Vol. 94, No. 4, pp. 627–645.

Amoah, P., Keraita, B., Akple, M., Drechsel, P., Abaidoo, R. C. and Konradsen, F. 2011. *Low-cost Options for Reducing Consumer Health Risks from Farm to Fork where Crops are Irrigated with Polluted Water in West Africa*. IWMI Research Report No. 141. Colombo, International Water Management Institute (IWMI). www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB141/RR141.pdf

AMWC (Arab Ministerial Water Council). 2011. *Arab Strategy for Water Security in the Arab Region to Meet the Challenges and Future Needs for Sustainable Development 2010-2030*. Cairo, AMWC. www.accwam.org/Files/Arab_Strategy_for_Water_Security_in_the_Arab_Region_to_meet_the_Challenges_and_Future_Needs_for_Sustainable_Development_-_2010-2030.pdf

Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C. 2016. *Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: From Waste Disposal to Resource Recovery*. Nairobi/Stockholm, United Nations Environment Programme/Stockholm Environment Institute (UNEP/SEI). www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/NEW/SEI-UNEP-2016-SanWWM&Sustainability.pdf

AQUASTAT. 2014. *Area Equipped for Irrigation*. Infographic. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation_eng.pdf

_____. 2016. *Water Withdrawal by Sector*, around 2010. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf

_____. n.d.a. *Municipal Wastewater*. AQUASTAT database. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/wastewater/index.stm

_____. n.d.b. AQUASTAT database. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm

Armitage, N., Vice, M., Fisher-Jeffes, L., Winter, K., Spiegel, A. and Dunstan, J. 2013. *Alternative Technology for Stormwater Management: The South African Guidelines for Sustainable Drainage Systems*. WRC Report no. TT 558/13. Pretoria/Cape Town, Water Research Commission (WRC)/University of Cape Town. www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT%20558-13.pdf

Asano, T. and Levine, A. D. 1998. *Wastewater Reclamation, Recycling, and Reuse: An Introduction*. T. Asano (ed.), *Wastewater Reclamation and Reuse*. CRC Press.

Asano, T., Maeda, M., and Takaki, M. 1996. Wastewater reclamation and reuse in Japan: Overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, Vol. 34, No. 11, pp. 219–226.

ATSE (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering). 2013. Drinking Water through Recycling: The Benefits and Costs of Supplying Direct to the Distribution System. Melbourne, Australia, ATSE. www.atse.org.au/Documents/reports/drinking-water-through-recycling-full-report.pdf

Badr, F. 2016. *Assessment of Wastewater Services and Sludge in Egypt*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). www.cairoclimatetalks.net/sites/default/files/assessment%20of%20wastewater%20services%20in%20Egypt1%20(1).pdf

Bahri, A., Drechsel, P. and Brissaud, F. 2008. *Water Reuse in Africa: Challenges and Opportunities*. Paper presented at the First African Water Week: Accelerating Water Security for Socio-Economic Development of Africa, Tunis, 26–28 March 2008. publications.iwmi.org/pdf/H041872.pdf

Balkema, J. A., Preisig, H. A., Otterpohl, R. and Lambert, F. J. D. 2002. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. Urban Water, Vol. 4, pp. 153–161.

Ballestero, M., Arroyo, V. and Mejía, A. 2015. *Documento Temático: Agua Potable y Saneamiento para Todos* [Technical Document: Drinking Water and Sanitation for All]. VII World Water Forum Regional Process. (In Spanish.)

Bartone, C. R., Bernstein, J., Leitmann, J. and Eigen, J. 1994. *Toward Environmental Strategies for Cities: Policy Considerations for Urban Environmental Management in Developing Countries*. Urban Management Programme Policy Paper No. 18. Washington, DC, World Bank. documents.worldbank.org/curated/en/826481468739496129/pdf/multi-page.pdf

Bauer, H. 1993. Cloaca Maxima. E. M. Steinby (ed.), *Lexicon Topographicum Urbis Romae*. Rome, Quasar, pp. 288–290.

Bernhardt, B. and Massard-Guibaud, G. (eds). 2002. *Le démon moderne. La pollution dans les sociétés urbaines et industrielles d'Europe* [The Modern Demon. Pollution in Urban and Industrial European Societies]. Clermont-Ferrand, France, Presses universitaires Blaise Pascal. Support Livre broché. (In French.)

BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). n.d. TC *Lebanon: Protection of Jeita Spring*. BGR website. www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Libanon/jeita_fb_en.html

Bianchi, E. 2014. *La Cloaca Maxima e i Sistemi Fognari di Roma dall'Antichità ad Oggi* [The Cloaca Maxima and Rome's Sewerage Systems from Antiquity to Today]. Rome, Palombi Editore. (In Italian.)

Biggs, C., Ryan, C., Wiseman, J. and Larsen, K. 2009. *Distributed Water Systems: A Networked and Localized Approach for Sustainable Water Services – Business Intelligence and Policy Instruments*. Melbourne, Australia, Victorian Eco-innovation Lab (VEIL), University of Melbourne. www.ecoinnovationlab.com/wp-content/attachments/234_Distributed-Water-Systems.VEIL_.pdf

Blue Tech Research. n.d. *Turning Whey from Dairy Wastewater into Alcohol and Revenue*. Cork, Ireland, Blue Tech Research. www.bluetechresearch.com/news/turning-whey-from-dairy-wastewater-into-alcohol-and-revenue/.

Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R. and Matsuura, T. 2009. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. Desalination, Vol. 239, No. 1–3, pp. 229–246.

Boufaroua, M., Albalawneh, A. and Oweis, T. 2013. Assessing the efficiency of grey-water reuse at household level and its suitability for sustainable rural and human development. *British Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 962–972.

Brdjanovic, D. (ed.). 2015. *Innovations for Water and Development*. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE. www.unesco-ihe.org/sites/default/files/unesco-ihe_innovations_e_vs050315.pdf

Cairns-Smith, S., Hill, H. and Nazarenko, E. 2014. *Urban Sanitation: Why a Portfolio of Solutions is Needed*. Working Paper. The Boston Consulting Group. www.bcg.com/documents/file178928.pdf

Cakir, F. Y. and Stenstrom, M. K. 2005. Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research*, Vol. 39, No. 17, pp. 4197–4203. dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.042

California Department of Water Resources. 2013. *Resource Management Strategies*, Vol. III of *California Water Plan Update 2013*. Sacramento, Calif., California Department of Water Resources. demoware.eu/en/demo-sites/tarragona

Cho, R. 2011. *From Wastewater to Drinking Water*. State of the Planet, News of the Earth Institute. New York, Earth Institute, Columbia University. blogs.ei.columbia.edu/2011/04/04/from-wastewater-to-drinking-water/

Cooper, P. F. 2001. Historical aspects of wastewater treatment. P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga (eds), *Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation*. Integrated Environmental Technology Series. London, IWA Publishing.

Copeland C. 2015. *Microbeads: An Emerging Water Quality Issue*. CSR Insights. www.fas.org/sgp/crs/misc/IN10319.pdf

Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development*. United Nations Environment Programme/United Nations Human Settlements Programme/GRID-Arendal (UNEP/UN-Habitat). www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf

CPCT (Cleaner Production Centre of Tanzania). n.d. *Nyanza Bottling Company Limited. Resource Efficient and Cleaner Production (RECP) – Case Studies*. Mwanza, Tanzania, CPCT. cpct.or.tz/selected%20photo/Beverage%20Industries.pdf

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, Vol. 356–357, pp. 351–356.

Craggs, R. J., Lundquist, T. J. and Benemann, J. R. 2013. Wastewater treatment and algal biofuel production. M. A. Borowitzka and N. R. Moheimani (eds), *Algae for Biofuels and Energy*, Vol. V of *Developments in Applied Phicology*, pp. 153–163. Springer Netherlands. Doi: 10.1007/978-94-007-5479-9

CReW (Caribbean Regional Fund for Wastewater Management). n.d. CReW website. www.gefcrew.org/

Culp, G. L. and Culp, R. L. 1971. *Advanced Wastewater Treatment*. New York, Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series.

Daigger, G. T. 2011. Changing paradigms: From wastewater treatment to resource recovery. *Proceedings of the Water Environment Federation, Energy and Water 2011*, Vol. 16, pp. 942-957.

Daniels, M. 2015. *Innovative Wastewater Financing Mechanism – Why CReW is not only about Constructing Wastewater Treatment Plants (Important Considerations for Replication)*. Georgetown, Guyana Wastewater Revolving Fund. www.aidis.org.br/PDF/cwwa2015/CWWA%202015%20Paper%20Submission%20-%20Marlon%20Daniels%20-%20Innovative%20Financing%20Mechanisms%20-%20Why%20CReW%20is%20not%20only%20about%20Wastewater%20Treatment%20Plants.pdf

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2016. *Microbead Ban Announced to Protect Sealife*. Government of the United Kingdom. www.gov.uk/government/news/microbead-ban-announced-to-protect-sealife

De Groot, R. S., Stuip, M. A. M., Finlayson, C. M. and Davidson, N. 2006. *Valuing Wetlands: Guidance for Valuing the Benefits Derived from Wetland Ecosystem Services*. Ramsar Technical Report No. 3/CBD Technical Series No. 27. Gland, Switzerland, Ramsar Convention Secretariat and Montreal, PQ, Secretariat of the Convention on Biological Diversity. www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-27.pdf

DEMOWARE (Innovation Demonstration for a Competitive and Innovative European Water Reuse Sector). 2016. *Market Analysis of Key Water Reuse Technologies*. Report D4.1. demoware.eu/en/results/deliverables/deliverable-d4-1-market-analysis-of-key-water-reuse-technologies.pdf

_____. n.d. *Tarragona*. DEMOWARE website. demoware.eu/en/demo-sites/tarragona

Despommier, D. 2011. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. London, McMillan.

Difaf, H. H. 2016. *Cost-effective Treatment of Wastewater in Remote Areas for Potential Reuse to Cope with Climate Change Impacts and Water Scarcity*. Presentation held during the UNESCWA and ACWUA Workshop on Developing the Capacities of the Human Settlements Sector for Climate Change Adaptation Using Integrated Water Resources Management (IWRM) Tools, Amman, 21–23 May 2016. www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/07-difaf_lenanon.pdf

Dillon, P. J., Escalante, F. E. and Tuinhof, A. 2012. *Management of Aquifer Recharge and Discharge Processes and Aquifer Storage Equilibrium*. GEF–FAO Groundwater Governance Thematic Paper 4. Canberra, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

Domenech, T. and Davies, M. 2011. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 10, pp. 79–89.

Doorn, M. R. J., Strait, R., Barnard, W. and Eklund, B. 1997. *Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (US EPA). cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryID=115121

Doorn, M. R. J., Towprayoon, S., Manso Vieira, S. M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R. and Wang, C. 2006. Wastewater Treatment and Discharge. IPCC. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*. Hayama, Japan, Global Environmental Strategies (IGES). www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf

Drechsel, P. and Evans, A. E. V. 2010. Wastewater use in irrigated agriculture. *Irrigated and Drainage Systems*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–3. Doi: 10.1007/s10795-010-9095-5

Drechsel, P., Hope, L. and Cofie, O. 2013. Gender mainstreaming: Who wins? Gender and irrigated urban vegetable production in West Africa. *Journal of Gender and Water* (wH2O), Vol. 2, No. 1, pp. 15–17.

Drechsel, P. and Karg, H. 2013. Motivating behaviour change for safe wastewater irrigation in urban and peri-urban Ghana. *Sustainable Sanitation Practice*, Vol. 16, pp. 10–20. www.ecosan.at/ssp/issue-16-behaviour-change/SSP-16_Jul2013_10-20.pdf/view

Drechsel, P., Mahjoub, O. and Keraita, B. 2015b. Social and cultural dimensions in wastewater use. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Drechsel, P., Qadir, M. and Wichelns, D. (eds). 2015a. *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. and Bahri, A. (eds). 2010. *Wastewater, Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. Colombo, International Water Management Institute (IWMI), London, Earthscan and Ottawa, International Development Research Centre (IDRC). cgspace.cgiar.org/handle/10568/36471

Ebiare, E. and Zejiao, L. 2010. Water quality monitoring in Nigeria: Case study of Nigeria's industrial cities. J*ournal of American Science*, Vol. 6, No. 4, pp. 22–28.

EC (European Commission). 2016a. *CSI Guidance on Integrating Water Reuse in Water Planning Management*. Meeting of the Strategic Co-ordination Group, 2–3 May 2016. Brussels, EC.

_____. 2016b. *Eighth Report on the Implementation Status and the Programmes for Implementation of Council Directive 91/271/EEC concerning Urban Waste Water Treatment*. Brussels, EC. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0105

EEA (European Environment Agency). 2013. Urban Waste Water Treatment. EEA website. www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-3

_____. 2016. SOER 2015 – *The European Environment – State and Outlook 2015*. Copenhagen, EEA. www.eea.europa.eu/soer

_____. n.d. *European Pollutant Release and Transfer Register*. prtr.ec.europa.eu/#/home

Ekane, N., Kjellén, M., Noel, S. and Fogde, M. 2012. *Sanitation and Hygiene Policy: Stated Beliefs and Actual Practice – A Case Study in the Burera District, Rwanda*. Working paper 2012-07. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI).

Ekane, N., Nykvist, B., Kjellén, M., Noel, S. and Weitz, N. 2014. *Multi-level Sanitation Governance: Understanding and Overcoming Challenges in the Sanitation Sector in Sub-Saharan Africa*. Working paper 2014-04. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). Doi: 10.3362/2046-1887.2014.024

Environment Agency. 2009. *Discharges of Consented Red List Substances National Dataset User Guide*. Version 2.0.0. 1st January, 2009. Bristol, United Kingdom, Environment Agency. www.findmaps.co.uk/assets/pdf/Discharges_of_Consented_Redlist_Substances_User_Guide_v2.0.0.pdf

EPA Victoria (Environment Protection Authority Victoria). 2002. *Guidelines for Environmental Management: Disinfection of Treated Wastewater*. Victoria, Australia, EPA Victoria. www.epa.vic.gov.au/our-work/publications/publication/2002/september/730

EU (European Union). 1991. Council Directive Concerning Urban Waste Water Treatment Directive, 91/271/EEC. *Official Journal of the European Communities*, L 135/40.

_____. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327/1.

_____. 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of the European Communities*, L 312/3.

Eurostat. 2014. *Data Collection Manual for the OECD/Eurostat Joint Questionnaire on Inland Waters: Concepts, Definitions, Current Practices, Evaluations and Recommendations*. Version 3.0. Luxembourg, Eurostat. ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6664269/Data+Collection+Manual+for+the+OECD_Eurostat+Joint+Questionnaire+on+Inland+Waters+%28version+3.0%2C+2014%29.pdf/f5f60d49-e88c-4e3c-bc23-c1ec26a01b2a

_____. n.d. *Water use in Industry*. Eurostat Statistics Explained. Luxembourg, Eurostat. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_use_in_industry

Falconer, I. R. 2006. Are endocrine disrupting compounds a health risk in drinking water? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 3, No. 2, pp. 180–4.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1985. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Rome, FAO.

_____. 1992. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 47. Rome, FAO. www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm

_____. 1997. *Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production*. Eater Reports No. 10. Rome, FAO. www.fao.org/docrep/w5367e/w5367e00.htm

_____. 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030*. Summary Report. Rome, FAO. www.fao.org/docrep/004/Y3557E/Y3557E00.HTM

_____. 2005. *Pollution from Industrialized Livestock Production*. Livestock Policy Brief No. 2. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-a0261e.pdf

_____. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome, FAO.

_____. 2010. *The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture*. FAO Water Report No. 35. Rome, FAO. www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf

_____. 2011. T*he State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW): Managing Systems at Risk*. Rome, FAO.

_____. 2012. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, FAO.

_____. 2013a. *Food Wastage Footprints. Sustainable Pathways*. Rome, FAO. www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/Factsheet_FOOD-WASTAGE.pdf

_____. 2013b. *Guidelines to Control Water Pollution from Agriculture in China: Decoupling Water Pollution from Agricultural Production*. FAO Water Report No. 40. Rome, FAO. www.fao.org/documents/card/en/c/86c39a7c-b362-567e-b214-ae0df99ca72d/

_____. 2015. *Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction*. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i4068e.pdf

FAOSTAT. n.d.a. FAOSTAT website. faostat.fao.org/

_____. n.d.b. *Pesticides Use*. FAOSTAT website. faostat3.fao.org/browse/R/RP/E

FAO/CGIAR WLE (Food and Agriculture Organization of the United Nations/Consultative Group on International Agricultural Research Programme on Water, Land and Ecosystems). Forthcoming. *Water Pollution from Agriculture: A Global Review*.

Fernández, D., Jouravlev, A., Lentini, E. and Yurquina, A. 2009. *Contabilidad Regulatoria, Sustentabilidad Financiera y Gestión Mancomunada: Temas Relevantes en Servicios de Agua y Saneamiento* [Regulatory Accountability, Financial Sustainability and Joint Management: Relevant Topics in Water and Sanitation Services]. Santiago, Natural Resources and Infrastructure Division, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). (In Spanish.). www.cepal.org/es/publicaciones/6346-contabilidad-regulatoria-sustentabilidad-financiera-gestion-mancomunada-temas

Ferro, G. and Lentini, L. 2013. *Políticas Tarifarias para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM): Situación Actual y Tendencias Regionales Recientes* [Pricing Policies to Achieve the Millennium Development Goals (MDGs): Current Situation and Recent Trends in the Region]. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECLAC). (In Spanish.). repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4045/S2013024_es.pdf

Finger, M. and Allouche, J. 2002. *Water Privatisation: Trans-national Corporations and the Re-regulation of the Water Industry*. London/New York, Spon Press.

Förster, J. 2014. Eurostat Statistics Explained. *Water Use in Industry*. Luxembourg, Eurostat. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_use_in_industry

GEN (Global Ecolabelling Network). n.d. GEN website. www.globalecolabelling.net/

Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, Vol. 1–2, pp. 25–36.

GE Reports. 2015. *Ralph Exton: Closing the Gap between Treating Wastewater and Reusing it*. GE Reports website. www.gereports.com/post/120556373453/closing-the-gap-between-treating-wastewater-and-reusing/

Gerlach, E. and Franceys, R. 2010. Regulating water services for all in developing economies. *World Development*, Vol. 38, No. 9, pp. 1229–1240.

Godfrey, N., Hart, J., Vaughan, W. T. and Wong, W. 2009. Using wastewater energy to heat an Olympic village for the 2010 Winter Olympics and beyond. *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC* 2009, pp. 6572–6580(9). Alexandria, Va., Water Environment Federation (WEF).

Goldface-Irokalibe, I. J. 1999. The application of water resources: Decree to the development and management of river basin development authorities. *Canadian Journal of Law and Jurisprudence*, Vol. 5, No. 57.

_____. 2002. *Towards an Effective Legal and Institutional Framework for Integrated Water Resources Management in Nigeria*. A.B.U. Zaria.

Goldface-Irokalibe, I. J. et al. 2001. WRMS, *Legal and regulatory Framework* (GAC).

González, O., Bayarri, B., Acena, J., Pérez, S. and Barceló, D. 2016. Treatment technologies for wastewater reuse: Fate of contaminants of emerging concern. Vol. 45 of D. Fatta-Kassinos, D. D. Dionysiou and K. Kümmerer (eds), *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse: The Handbook of Environmental Chemistry*, pp. 5–37. Doi: 10.1007/698_2015_363

Government of British Columbia. 1992. *Urban runoff quality control guidelines for the province of British Columbia*. Vancouver, BC, Waste Management Group, Environmental Protection Division. www.env.gov.bc.ca/wat/wq/nps/NPS_Pollution/Stormwater_Runoff/urban_runoff_guidelines.pdf

Government of Canada. 2016. Order Adding a Toxic Substance to Schedule 1 to the Canadian Environmental Protection Act, 1999. *Canada Gazette*, Vol. 150, No. 13. Government of Canada. www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2016/2016-06-29/html/sor-dors150-eng.php#archived

_____. n.d. *Groundwater Contamination*. Website of the Government of Canada. www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=6A7FB7B2-1

Grigg, N. S., Rogers, P. D. and Edmiston, S. 2013. *Dual Water Systems: Characterization and Performance for Distribution of Reclaimed Water*. Denver, Colo., Water Research Foundation.

Grönwall, J. and Jonsson, A. C. Forthcoming. The impact of 'zero' coming into fashion: ZLD uptake and socio-technical transitions in Tirupur. *Water Alternatives*.

Groom, E., Halpern, J. and Erhardt, D. 2006. *Explanatory Notes on Key Topics in the Regulation of Water and Sanitation Services*. Water Supply And Sanitation Sector Board Discussion Paper Series No.6. Washington, DC, World Bank. hdl.handle.net/10986/17236.

Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., Jackson, S. J., Karvazy, K., Kelly, L., Macpherson, L., Mihelcic, J. R., Pramanik, A., Raskin, L., Van Loosrecht, M. C. M., Yeh, D. and Love, N. G. 2009. A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, No. 16, pp. 126–130. Doi: 10.1021/es9010515

GWI (Global Water Intelligence). 2015. *Industrial Water Technology Markets 2015: Meeting Industrial Needs in Process Water Treatment and Wastewater Reuse*. Oxford, United Kingdom, GWI. www.globalwaterintel.com/market-intelligence-reports/industrial-water-technology-markets-2015-meeting-industrial-needs-process-water-treatment-and-wastewater-reuse

GWOPA/UN-Habitat/ICLEI/WWF7/UCLG/WWC/DGI (Global Water Operators' Partnership Alliance/United Nations Human Settlements Programme/Local Governments for Sustainability/7th World Water Forum/The Global Network of Cities, Local and Regional Governments/World Water Council/Daegu Gyeongbuk Development Institute). 2015. *The Daegu-Gyeongbuk Water Action for Sustainable Cities and Regions. Draft Discussion Paper*. www.uclg.org/sites/default/files/lras_dg_water_action_for_sustainable_cities_and_regions_april2015.pdf

GWP (Global Water Partnership). 2013. *Integrated Urban Water Management (IUWM): Toward Diversification and Sustainability*. Policy Brief. Stockholm, GWP. www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf

_____. 2014. *Impacts of Climate on Wastewater Management*. Discussion Brief No. 5. Global Water Partnership. Stockholm, GWP. www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf

Hanjra, M. A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F. and Jackson, T. M. 2012. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 215, No.3, pp. 255–269. Doi: 10.1016/j.ijheh.2011.10.003

Hanjra, M. A., Drechsel, P., Wichelns, D. and Qadir, M. 2015a. Transforming urban wastewater into an economic asset: Opportunities and challenges. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Hanjra, M. A., Drechsel, P., Mateo-Sagasta, J., Otoo, M. and Hernández-Sancho, F. 2015b. Assessing the finance and economics of resource recovery and reuse solutions across scales. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Harris, S., Morris, C., Morris, D., Cormican, M. and Cummins, E. 2013. The effect of hospital effluent on antimicrobial resistant E. coli within a municipal wastewater system. *Environment Science: Process Impacts*, Vol. 15, No. 3, pp. 617–622.

Hasan, A. 1988. Orangi Pilot Project: A low-cost sewer system by low-income Pakistanis. B. Turner (ed.), *Building Community: A Third World Case Book*. London, Building Community Books.

Helmer, R. and Hespanhol, I. (eds). 1997. *Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*. London, F & F Spon, on behalf of the United Nations Environment Programme/ Water Supply & Sanitation Collaborative Council/World Health Organization (UNEP/WSSCC/ WHO).

Herbert, E. R., Boon, P., Burgin, A. J., Neubauer, S. C., Franklin, R. B., Ardón, M., Hopfensperger, K. N., Lamers, L. P. M. and Gell, P. 2015. A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, Vol. 6, No. 10, pp. 1–43.

Heymann, E., Lizio, D. and Siehlow, M. 2010. *World Water Markets: High Investment Requirements Mixed with Institutional Risks*. Frankfurt am Main, Germany, Deutsche Bank Research. www.dbresearch.de/ PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD0000000000258353.PDF

Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. and Kanae, S. 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, Vol. 3, pp. 816–821. Doi: 10.1038/nclimate1911

Hoekstra, A. Y. 2008. *Water Neutral: Reducing and Offsetting the Impacts of Water Footprints*. Value of Water Research Report Series No. 28. Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE. waterfootprint.org/en/ resources/publications/value-water-research-report-series-unesco-ihe/

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. 2011. T*he Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London/Washington, DC, Earthscan. waterfootprint. org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf

Holmgren, K. E., Li, H., Verstraete, W. and Cornel, P. 2015. *State of the Art Compendium Report on Resource Recovery from Water*. IWA Resource Recovery Cluster. London, International Water Association (IWA). www.iwa-network.org/downloads/1440858039-web%20State%20of%20the%20 Art%20Compendium%20Report%20on%20Resource%20Recovery%20from%20Water%20 2105%20.pdf

Hophmayer-Tokich, S. 2006. *Wastewater Management Strategy: Centralized v. Decentralized Technologies for Small Communities*. Enschede, The Netherlands, The Center for Clean Technology and Environmental Policy, University of Twente. purl.utwente.nl/publications/95384

HUBER. n.d. *Three HUBER projects for wastewater heat recovery in Switzerland*. HUBER website. Berching, Germany. www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/three-huber-projects-for-wastewater-heat-recovery-in-switzerland.html

Hudson, A. (ed.). 2012. *Catalysing Ocean Finance: Volume II Methodologies and Case Studies*. New York, United Nations Development Programme (UNDP). www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/ environment-energy/water_governance/ocean_and_coastalareagovernance/catalysing-ocean-finance.html

Hutton, G. and Haller, L. 2004. *Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level*. Geneva, Switzerland, World Health Organization (WHO). www.who.int/water_ sanitation_health/wsh0404.pdf

Hutton, G. and Varughese, M. 2016. *The Cost of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*. Technical paper. Washington, DC, World Bank/Water and Sanitation Programme (WSP). elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/K8543

Iannelli, R., Bianchi, V., Salvato, M. and Borin, M. 2011. Modelling assessment of carbon supply by different macrophytes for nitrogen removal in pilot vegetated mesocosms. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, Vol. 91, No. 7–8, pp. 708–726.

Idelovitch, E. and Ringskog, K. 1997. *Wastewater Treatment in Latin America: Old and New Options*. Washington, DC, World Bank. www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2011/08/11/000356161_20110811002849/Rendered/PDF/170370REPLACEM00as0previous0record0.pdf

IEA (International Energy Agency). 2014. *World Energy Outlook 2014*. Paris, IEA. dx.doi.org/10.1787/weo-2014-en

Ilic, S., Drechsel, P., Amoah, P. and Lejeune, J. T. 2010. Applying the multiple-barrier approach for microbial risk reduction in the post-harvest sector of wastewater irrigated vegetables. P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and A. Bahri (eds), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigation Risks in Low-income Countries*. London/Sterling, Va., Earthscan, pp. 239–259. www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater_Irrigation_and_Health_book.pdf

Industrial Ecology. n.d. *Kalundborg*. http://www.tudelft.nl/en/study/master-of-science/master-programmes/industrial-ecology/

Industrial Symbiosis Institute. 2008. *New Technologies and Innovation through Industrial Symbiosis*. Kalundborg, Denmark, Industrial Symbiosis Institute. www.ewp.rpi.edu/hartford/~stephc/ET/Other/Miscellaneous/Kalundborg-Industrial%20Symbiosis%20Institue.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CBO9781107415324

IWA (The International Water Association). 2014. *An Avoidable Crisis: WASH Human Resources Capacity Gaps in 15 Developing Economies*. London. IWA Publishing. www.iwa-network.org/downloads/1422745887-an-avoidable-crisis-wash-gaps.pdf

IWA (International Water Association) Publishing. n.d. *Industrial Wastewater Treatment*. IWA Publishing website. www.iwapublishing.com/news/industrial-wastewater-treatment

IWMI (International Water Management Institute). 2012. *Resource Recovery and Reuse (RRR) Project: Baseline Survey Report – Kampala*. Colombo, IWMI. ifadrrr.iwmi.org/Data/Sites/34/media/pdf/rrr-baseline-survey-report---kampala.pdf

Jackson, H. B. 1996. Global needs and developments in urban sanitation. D. Mara (ed.), *Low-cost Sewerage*. Chichester, UK, John Wiley & Sons.

Jiménez-Cisneros, B. 2008. Unplanned reuse of wastewater for human consumption: The Tula Valley, Mexico. B. Jiménez-Cisneros and T. Asano (eds), *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. Scientific and Technical Report No. 20. London, IWA Publishing.

_____, B. 2011. Safe sanitation in low economic development areas. P. Wilderer (ed.), *Treatise on Water Science*, Vol. 4, pp. 147–201. Amsterdam, Elsevier Science.

JPEC (Japan Petroleum Energy Center). 1999. *Treatment and Utilization of Oil-containing Produced-water in Oman*. Tokyo, JPEC. www.pecj.or.jp/japanese/report/reserch/report-pdf/H11_1999/99surv9-e.pdf

Jouravlev, A. 2004. *Drinking Water Supply and Sanitation Services on the Threshold of the XXI Century*. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECLAC). repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6454/S047591_en.pdf

Kalundborg Symbiosis. n.d. *Kalundborg Symbiosis Diagram*. www.symbiosis.dk/diagram

Karg H. and Drechsel, P. 2011. Motivating behaviour change to reduce pathogenic risk where unsafe water is used for irrigation. *Water International*, Vol. 36, No. 4, pp. 476–490. dx.doi.org/10.1080/02508060.2011.594684

Karnib, A. 2016. Assessing population coverage of safely managed wastewater systems: A case study of Lebanon. Research Paper No. 313. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, Vol. 6, No. 2. Doi: 10.2166/washdev.2016.009

Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M., Seager, R. and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 112, No. 11, pp. 3241–3246. Doi: 10.1073/pnas.1421533112

Keraita, B. and Drechsel, P. 2004. Agricultural use of untreated urban wastewater in Ghana. C.A. Scott, N.I. Faruqui, and L. Raschid-Sally (eds), *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*. Wallingford, UK, CABI Publishing; Colombo/Ottawa, International Water Management Institute/International Development Research Centre (IWMI/IDRC).

Keraita, B., Drechsel, P., Mateo-Sagasta, J. and Medlicott, K. 2015. Health risks and cost-effective health risk management in wastewater use systems. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Kjellén, M. 2006. *From Public Pipes to Private Hands: Water Access and Distribution in Dar es Salaam, Tanzania*. Stockholm, Department of Human Geography, Stockholm University.

Kjellén, M., Pensulo, C., Nordqvist, P. and Fogde, M. 2012. *Global Review of Sanitation System Trends and Interactions with Menstrual Management Practices*. Report for the Menstrual Management and Sanitation Systems Project. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-ProjectReport-Kjellen-GlobalReviewOfSanitationSystemTrendsAndInteractionsWithMenstrualManagementPractices.pdf

Knudsen, L. G., Phuc, P. D., Hiep, N. T., Samuelsen, H., Jensen, P. K., Dalsgaard, A., Raschid-Sally, L. and Konradsen, F. 2008. The fear of awful smell: Risk perceptions among farmers in Vietnam using wastewater and human excreta in agriculture. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, Vol. 39, No. 2, pp. 341–352.

Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johanssons, M., Jönsson, H., Af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. and Drangert, J.-A. 2014. *Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation*. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/esr3.pdf

Lahnsteiner, J., Du Pisani, P., Menge, J. and Esterhuizen, J. 2013. More than 40 years of direct potable reuse experience in Windhoek. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri and J. Anderson (eds). *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.

Lanciani, R. 1890. La Cloaca Maxima [The Cloaca Maxima]. *Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Rome* [Bulletin of the Municipal Archeological Commission of Rome], Vol. 18, No. 3, pp. 95–102. (In Italian.)

LAS/UNESCWA/ACWUA (League of Arab States/United Nations Economic and Social Commission for Western Asia/Arab Countries Water Utilities Association). 2015. *Supporting the Move from the MDGs to the SDGs in the Arab Region*. Regional Initiative for Establishing a Regional Mechanism for Improved Monitoring and Reporting on Access to Water Supply and Sanitation Services in the Arab Region (MDG+ Initiative). Beirut, UNESCWA. www.unescwa.org/files/page_attachments/brochure-mdgs_to_sdgs-nov2015.pdf

_____. 2016. MDG+ Initiative Report 2016.

Lautze, J., Stander, E., Drechsel, P., Da Silva, A. K. and Keraita, B. 2014. *Global Experiences in Water Reuse*. Resource Recovery and Reuse Series 4. Colombo, International Water Management Institute (IWMI)/CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems. www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_4.pdf

Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A. and Anderson, J. 2013. *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.

Lentini, E. 2015. *El Futuro de los Servicios de Agua y Saneamiento en América Latina: Desafíos de los Operadores de Áreas Urbanas de más de 300.000 Habitantes* [The Future of Water and Sanitation Services in Latin America: The Challenges of Providers of Urban Areas with over 300,000 Inhabitants]. Washington, DC, Inter-American Development Bank (IADB). (In Spanish.) publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7176/El_futuro_de_los_servicios_de_agua_y_saneamiento_en_America_Latina.pdf

Li, F. T., Wang, H. T. and Mafuta, C. 2011. Current status and technology demands for water resources and water environment in Africa. L. F. Ting (ed.), *Research on Water Resources of African Typical Areas*. Beijing, Science Press.

Libhaber, M. and Orozco-Jaramillo, Á. 2012. *Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater. For Decision Makers and Practicing Engineers*. London, IWA Publishing.

Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R. and Searchinger, T. 2013. *Reducing Food Loss and Waste: Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future*. Working paper. Washington, DC, World Resources Institute (WRI). www.wri.org/sites/default/files/reducing_food_loss_and_waste.pdf

Liu, Z., Kanjo, Y. and Mizutani, S. 2009. Removal mechanisms for endocrine disrupting compounds (EDCs) in wastewater treatment – Physical means, biodegradation, and chemical advanced oxidation: A review. *Science of The Total Environment*, Vol. 407, No. 2, pp. 731–748. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.08.039

Lorenz, J. J. 2014. A review of the effects of altered hydrology and salinity on vertebrate fauna and their habitats in northeastern Florida Bay. *Wetlands*, Vol. 34, Supplement 1, pp. 189–200.

Lowrance, R., Altier, L. S., Newbold, J. D., Schnabel, R. R., Groffman, P. M., Denver, J. M., Correll, D. L., Gilliam, J. W., Robinson, J. L., Brinsfield, R. B., Staver, K. W., Lucas, W. and Todd, A. H. 1995. *Water Quality Functions of Riparian Forest Buffer Systems in the Chesapeake Bay Watershed*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (US EPA).

Mahjoub, O. 2013. Ateliers de sensibilisation au profit des agriculteurs et des femmes rurales aux risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture: Application à la région de Oued Souhil, Nabeul, Tunisie [Awareness-raising workshops for farmers and rural women about the risks related to the use of wastewater in agriculture: Applied to the area of Oued Souhil, Nabeul, Tunisia]. UN-Water. *Proceedings of the Safe Use of Wastewater in Agriculture*. International wrap-up event, 26–28 June 2013, Tehran. (In French.) www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/550/mod_page/content/84/Tunisia_Ateliers%20de%20sensibilisation%20au%20profit%20des%20agriculteurs%20et%20des%20femmes%20rurales_Mahjoub.pdf

Major, D. C., Omojola, A., Dettinger, M., Hanson, R. T. and Sanchez-Rodriguez, R. 2011. Climate change, water, and wastewater in cities. C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer and S. Mehrotra (eds), *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 113–143. uccrn.org/files/2014/02/ARC3-Chapter-5.pdf

Maksimović, C. and Tejada-Guibert, J. (eds). 2001. *Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope*. London, IWA Publishing.

Mancy, K. H., Fattal, B. and Kelada, S. 2000. Cultural implications of wastewater reuse in fish farming in the Middle East. *Water Science & Technology*, Vol. 42, No. 1–2, pp. 235–239.

Mara, D. (ed.). 1996. *Low-cost Sewerage*. New York, John Wiley.

Mara, D. and Alabaster, G. 2008. A new paradigm for low-cost urban water supplies and sanitation in developing countries. *Water Policy*, Vol. 10, pp. 119–129.

Mara, D. and Carincross, S. 1989. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection*. Geneva, Switzerland, World Health Organization (WHO).

Markandya, A., Perelet, R., Mason, P. and Taylor, T. 2001. *Dictionary of Environmental Economics*. London, Earthscan.

Massoud, M. A., Tarhini, A. and Nasr, J. A. 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, No. 1, pp. 652–659. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.07.001

Matassa, S., Batstone, D. J., Hülsen, T., Schnoor, J. and Verstraete, W. 2015. Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? *Environmental Science and Technology*, Vol. 49, No. 9, pp. 5247–5254. Doi: 10.1021/es505432w

Mateo-Sagasta, J. and Burke, J. 2010. *Agriculture and Water Quality Interactions: A Global Overview*. SOLAW Background Thematic Report-TR08. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO).

Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. 2015. Global wastewater and sludge production, treatment and use. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns, *Wastewater: Economic Asset in Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Meda, A., Lensch, D., Schaum, C. and Cornel, P. 2012. Energy and water: Relations and recovery potential. V. Lazarova, K. Choo and P. Cornel (eds), *Water–Energy Interactions in Water Reuse*. London, IWA Publishing.

Mejía, A., Requena, B., Rivera D., Pardón, M. and Rais, J. 2012. *Agua Potable y Saneamiento en América Latina y el Caribe: Metas Realistas y Soluciones Sostenibles* [Drinking Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean: Realistic Goals and Sustainable Solutions]. Caracas, Development Bank of Latin America (CAF). (In Spanish.) publicaciones.caf.com/media/17238/libro_agua_esp.pdf

Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. 2011. *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption*. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE Institute for Water Education. waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf

_____. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advanced*, Vol. 2, No. 2. Doi: 10.1126/sciadv.1500323

Melo, J. C. 2005. *The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil: Case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas*. Water and Sanitation Program (WSP). Washington, DC, World Bank. documents.worldbank.org/curated/en/505601468226737476/The-experience-of-condominial-water-and-sewerage-systems-in-Brazil-case-studies-from-Brasilia-Salvador-and-Parauebas

Mensah, A., Cofie, O. and Montangero, A. 2003. *Lessons from a Pilot Co-composting Plant in Kumasi, Ghana*. 29th WEDC International Conference, Towards the Millennium Development Goals, Abuja. wedc.lboro.ac.uk/resources/conference/29/Mensah.pdf

MEW (Ministry of Energy and Water, Government of Lebanon). 2012. *National Strategy for the Wastewater Sector*. Resolution No. 35 of the 17th October 2012. Beirut, Government of Lebanon.

Michaud, D., Gabric, S., Hommann, K. and Shegay, A. 2015. *Water and Wastewater Services in the Danube Region: A State of the Sector*. Vienna, World Bank Group. documents.worldbank.org/curated/en/327761467999140967/Water-and-wastewater-services-in-the-Danube-region-a-state-of-the-sector

MIE/PWA (Ministry of Infrastructure and Environment of the Netherlands/Public Waste Agency of Flanders, Belgium). 2016. *Inventory of Awareness, Approaches and Policy: Insight in Emerging Contaminants in Europe*. Deventer, The Netherlands, Witteveen+Bos and TTE Consultants.

Mihelcic, J. R., Fry, L. M. and Shaw, R. 2011. Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere*, Vol. 84, No. 6, pp. 832–839. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.046

Milieu. 2016. *Assessment of Impact of Storm Water Overflows from Combined Waste Water Collecting Systems on Water Bodies (including the Marine Environment) in the 28 EU Member States, Final Report*. Brussels, Milieu Ltd. Law and Policy Consulting.

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F. and Sala-Garrido, R. 2011. Cost–benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, Vol. 92, No. 12, pp. 3091–3097.

MOPIC (Ministry of Planning and International Cooperation of the Hashemite Kingdom of Jordan) 2016. *Jordan Response Plan for the Syrian Crisis 2016–2018 Annexes*. Amman, MOPIC. www.jrpsc.org/

Moriarty, P., Butterworth, J. A. and Van Koppen, B., 2004. *Beyond Domestic: Case Studies on Poverty and Productive Uses of Water at the Household Level*. Technical Paper Series No. 41. Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre.

Moussa, M. S. 2008. *Process Analysis of Textile Manufacturing: Environmental Impacts of Textile Industries*. E-textile toolbox. yeumoitruong.vn/attachments/u2s3-4-environmental-impact-of-textile-industries-pdf.355/

MRC (Mekong River Commission). 1995. *Agreement on the Cooperation for the Sustainable Development of the Mekong River Basin*. Phnom Penh, Mekong River Commission. www.mrcmekong.org/assets/Publications/policies/agreement-Apr95.pdf

Muñoz, I., Gómez-Ramos, M. J., Agüera, A., Fernández-Alba, A. R., García-Reyes, J. F. and Molina-Díaz, A. 2009. Chemical evaluation of contaminants in wastewater effluents and the environmental risk of reusing effluents in agriculture. *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 28, No. 6, pp. 676–694. doi:10.1016/j.trac.2009.03.007

Murray, A., Cofie, O. and Drechsel, P. 2011. Efficiency indicators for waste-based business models: Fostering private-sector participation in wastewater and faecal-sludge management. *Water International*, Vol. 36, No. 4, pp. 505-521. dx.doi.org/10.1080/02508060.2011.594983

Murray, A. and Drechsel, P. 2011. Why do some wastewater treatment facilities work when the majority fail? Case study from the sanitation sector in Ghana. *Waterlines*, Vol. 30, No. 2, pp. 135–149. dx.doi.org/10.3362/1756-3488.2011.015

Mustapha, M. K. 2008. Assessment of the water quality of Oyun Reservoir, Offa, Nigeria, using selected physico-chemical parameters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 8, No. 2, pp. 309–319. www.trjfas.org/abstract.php?lang=en&id=626

MWI (Ministry of Water and Irrigation of the Hashemite Kingdom of Jordan). 2016a. *Water Substitution and Reuse Policy*. Amman, MWI. www.mwi.gov.jo/sites/en-us/Hot%20Issues/Strategic%20Documents%20of%20%20The%20Water%20Sector/Water%20Substitution%20and%20Reuse%20Policy%2025.2.2016.pdf

_____. 2016b. *Decentralized Wastewater Management Policy*. www.mwi.gov.jo/sites/en-us/Hot%20Issues/Strategic%20Documents%20of%20%20The%20Water%20Sector/Decentralized%20Wastewater%20Management%20Policy%2025.2.2016.pdf

Nandeesha, M. C. 2002. Sewage Fed Aquaculture System of Kolkata – A Century-old Innovation of Farmers. *Aquaculture Asia*, Vol. 7, pp. 28–32. library.enaca.org/AquacultureAsia/Articles/April-June-2002/SewerageFedAquacultureSystemsOfKolkata.pdf

Narayan, D., Patel, R., Schafft, K., Rademacher, A. and Koch-Schulte, S. 2000. *Can Anyone Hear us? Voices from 47 Countries*. Vol. I of *Voices of the Poor*. Washington, DC, World Bank.

Narducci, P. 1889. *Sulla fognatura della città di Roma* [On the sewerage of the city of Rome]. Technical description. Rome, Forzani e C. (In Italian.)

National Academies of Science, Engineering and Medicine. 2015. *Using Graywater and Stormwater to enhance Local Water Supplies: An Assessment of Risks, Costs and Benefits*. Washington, DC, National Academies Press.

Nikiema, J. Cofie, O. and Impraim, R. 2014. Technological options for safe resource recovery from fecal sludge. Colombo, International Water Management Institute (IWMI) CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE). www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_2.pdf

Nikiema, J., Figoli, A., Weissenbacher, N., Langergraber, G., Marrot, B., Moulin, P. 2013. Wastewater treatment practices in Africa - Experiences from seven countries. *Sustainable Sanitation Practice*, Vol. 14, pp. 26–34. cgspace.cgiar.org/handle/10568/40210

NLÉ. 2012. *Makoko Floating School: Adapting African Coastal Cities to the Impacts of Climate Change*. Research Report. Amsterdam, NLÉ. www.nleworks.com/publication/makoko-prototype-book/

Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, L. P. and Hernández-Padilla, F. 2012. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean – Soil, Air, Water*, Vol. 40, No. 9, pp. 926–932. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201100707/full

NRMMC/EPHC/NHMRC (Natural Resource Management Ministerial Council/Environment Protection and Heritage Council/National Health and Medical Research Council). 2009. *National Water Quality Management Strategy - Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) - Stormwater Harvesting and Reuse*. Document No. 23. Canberra, NRMMC/EPHC/NHMRC. www.environment.gov.au/system/files/resources/4c13655f-eb04-4c24-ac6e-bd01fd4af74a/files/water-recycling-guidelines-stormwater-23.pdf

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2010. *Pricing Water Resources and Water and Sanitation Services*. Paris, OECD Publishing.

_____. 2011a. *Ten Years of Water Sector Reform in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*. Paris, OECD Publishing. dx.doi.org/10.1787/9789264118430-en

_____. 2011b. *Environmental Performance Review: Israel*. Paris, OECD Publishing.

_____. 2012. *Meeting the Challenge of Financing Water and Sanitation: Tools and Approaches*. Paris, OECD Publishing. dx.doi.org/10.1787/9789264120525-en

_____. 2013a. *Business Models for Rural Sanitation in Moldova*. Paris, OECD.

_____. 2013b. *New Modes of Water Supply and Sanitation Management and Emerging Business Models*. Paris, OECD. www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPBWE/RD(2013)7&docLanguage=En

_____. 2015a. *The Economic Consequences of Climate Change*. Paris, OECD Publishing.

_____. 2015b. *Water and Cities. Ensuring Sustainable Futures*. Paris, OECD Publishing. www.oecd.org/fr/regional/water-and-cities-9789264230149-en.htm

_____. 2016. *Sustainable Business Models for Water Supply and Sanitation in Small Towns and Rural Settlements in Kazakhstan*. Paris, OECD Publishing. dx.doi.org/10.1787/9789264249400-en

_____. n.d. Pollutant Release and Transfer Register. OECD website. www.oecd.org/chemicalsafety/pollutant-release-transfer-register/

Olmstead, S. M. 2010. The Economics of Water Quality. *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 4, No. 1, pp. 44–62.

O'Neill, M. 2015. *Ecological Sanitation – A Logical Choice? The Development of the Sanitation Institution in a World Society*. Tampere, Finland, Tampere University of Technology.

Osibanjo, O. and Majolagbe, A. O. 2012. Physicochemical quality assessment of groundwater based on land use in Lagos city, Southwest, Nigeria. *Chemistry Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 79–86.

Otoo, M. and P. Drechsel. 2015. *Resource Recovery from Waste: Business Models for Energy, Nutrient and Water Reuse*. London, Earthscan.

Otoo, M., Mateo-Sagasta, J. and Madurangi, G. 2015. Economics of water reuse for industrial, environmental, recreational and potable purposes. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Outotec GmbH & Co. n.d. *Outotec Sewage Sludge Incineration Plants*. Outotec website. www.outotec.com/en/Products--services/Energy/Sewage-Sludge-Incineration-Plants/

PAHO (Pan American Health Organization). 1990. *The Situation of Drinking Water Supply and Sanitation in the American Region at the End of the Decade 1981–1990, and Prospects for the Future*. Volume 1. Washington, DC, PAHO. www.ircwash.org/sites/default/files/827-AAL90-8870-0.pdf

Palmer, N., Lightbody, P., Fallowfield, H. and Harvey, B. 1999. *Australia's Most Successful Alternative to Sewerage: South Australia's Septic Tank Effluent Disposal Schemes*. www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/articles/australia.pdf

Peal, A., Blackett, I., Hawkins, P. M. and Heymans, C. 2014. Fecal sludge management: A comparative analysis of 12 cities. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, Vol. 4, No. 4, pp. 563–575. doi:10.2166/washdev.2014.026

Pillay, A. E., Salih, F. M. and Maleek, M. I. 2010. Radioactivity in oily sludge and produced waste water from oil: Environmental concerns and potential remedial measures. *Sustainability*, Vol. 2, pp. 890–901. www.mdpi.com/2071-1050/2/4/890/pdf

Poongothai, S., Ravikrishnan, R. and Murthy, P. 2007. Endocrine disruption and perspective human health implications: A review. *The Internet Journal of Toxicology*, Vol. 4, No. 2. ispub.com/IJTO/4/2/3638

Postel, S. 2012. *«Sewer Mining» – Efficient Water Recycling Coming to a Community near You*. National Geographic website. voices.nationalgeographic.com/2012/01/16/sewer-mining-coming-to-a-community-near-you/

PR Newswire. 2013. *Constructed Wetland System Wins National Honor, Saves $26 Million*. www.prnewswire.com/news-releases/constructed-wetland-system-wins-national-honor-saves-26-million-203799381.html

Prüss-Üstün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford Jr, J. M., Cumming, O., Curtis, V., Bonjour, S., Dangour, A. D., De France, J., Fewtrell, L., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Johston, B. R., Mathers, C., Mäusezahl, D., Medlicott, K., Neira, M., Stocks, M., Wolf, J. and Cairncross, S. 2014. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine and International Health*, Vol. 19, No. 8, pp. 894–905. Doi: 10.1111/tmi.12329

Qadir, M., Bahri, A., Sato, T. and Al-Karadsheh, E. 2010. Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. *Irrigation and Drainage Systems*, Vol. 24, No. 1, pp. 37–51. Doi: 0.1007/s10795-009-9081-y

Qadir, M., Boelee, E., Amerasinghe, P. and Danso, G. 2015a. Costs and benefits of using wastewater for aquifer recharge. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic asset in an urbanizing world*. Springer Netherlands.

Qadir, M., Mateo-Sagasta, J., Jiménez, B., Siebe, C., Siemens J. and Hanjra, M. A. 2015b. Environmental risks and cost-effective risk management in wastewater use systems. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic asset in an urbanizing world*. Springer Netherlands.

Qu, X., Alvarez, P. J. J. and Li, Q. 2013. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*, Vol. 47, No. 12, pp. 3931–3946. dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058

Raghav, M., Eden, S., Mitchell, K. and Witte, B. 2013. Contaminants of emerging concern in water. *Arroyo 2013*. Tucson, Ariz., Water Resources Research Center, College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona.

Rao, K., Hanjra, M. A., Drechsel, P. and Danso, G. 2015. Business models and economic approaches supporting water reuse. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. 2008. *Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment*. IWMI Research Report No. 127. Colombo, International Water Management Institute (IWMI).

RECPnet (Resource Efficient and Cleaner Production). n.d.a. *Capturing and Promoting Knowledge on Resource Efficient and Cleaner Production*. Factsheet. United Nations Industrial Development Organization/United Nations Environment Programme (UNIDO/UNEP). recpnet.org/wp-content/uploads/2016/05/KMS_Capturing-and-Promoting-Knowledge-on-RECP.pdf

_____. n.d.b. *RECP Experiences at Musoma Texitle Mills Tanzania Limited (MUTEX) – Tanzania*. RECP Experiences. United Nations Industrial Development Organization/ United Nations Environment Programme (UNEP/UNIDO). africa.recpnet.org/uploads/resource/3dd4f3974e38a68ecb59b16ff6cc158d.pdf

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P .K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, F. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, Vol. 14, No. 2, art. 32. www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/

Rodríguez, D. J., Delgado, A., DeLaquil, P. and Sohns, A. 2013. *Thirsty Energy*. Water Papers. Washington, DC, World Bank. documents.worldbank.org/curated/en/2013/01/17932041/thirsty-energy

Rojas Ortuste, F. 2014. *Políticas e Institucionalidad en Materia de Agua Potable y Saneamiento en América Latina y el Caribe* [Policies and Institutions involved in Drinking Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean]. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECLAC). (In Spanish.) repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36776/S2014277_es.pdf

Rosenwinkel, K. H., Borchmann, A., Engelhart, M., Eppers, R., Jung, H., Marzinkowki, J. and Kipp, S. 2013. Closing loops – Industrial water management in Germany. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri, and J. Anderson (eds), *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.

Rossi, A. 2009. Matanza Riachuelo River Basin Authority. *Circular of the Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean*, No. 29. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECLAC). repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/Carta29_en.pdf

Rothstein, B., and Tannenberg, M. 2015. *Making Development Work: The Quality of Government Approach*. Stockholm, Expertgruppen för Biståndsanalys (EBA). eba.se/wp-content/uploads/2015/12/Making_development_work_07.pdf

SADC (Southern African Development Community). 2000. *Revised Protocol on Shared Watercourses in the Southern African Development Community*. Gaborone, Southern African Development Community. www.sadc.int/documents-publications/show/1975

Saldias Zambrana, C. 2016. *Analyzing the Institutional Challenges for the Agricultural (Re)use of Wastewater in Developing Countries*. PhD Dissertation. Ghent, Belgium, University of Ghent.

Salgot, M., Huertas, E., Weber, S., Dott, W. and Hollender, J. 2006. Wastewater reuse and risk: Definition of key objectives. *Desalination*, Vol. 187, No. 1–3, pp. 29–40.

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Zahoor, A. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, pp. 1–13. dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007

Schoumans, O. F., Bouraoui, F., Kabbe, C., Oenema, O. and Van Dijk, K. C. 2015. Phosphorus management in Europe in a changing world. *Ambio*, Vol. 44, No. 2, pp. 180–192. doi.org/10.1007/s13280-014-0613-9.

Schreinemachers, P. and Tipraqsa, P. 2012. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy,* Vol. 37, No. 6, pp. 616–626.

Schuster-Wallace, C. J., Wild, C. and Metcalfe, C. 2015. *Valuing Human Waste as an Energy Resource: A Research Brief Assessing the Global Wealth in Waste*. Hamilton, Ont., United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). inweh.unu.edu/vast-energy-value-human-waste

Schutte, F. 2008. Water reuse in central and southern regions of Africa. B. Jiménez and T. Asano (eds), *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. London, IWA Publishing.

Scott, C., Drechsel, P., Raschid-Sally, L., Bahri, A., Mara, D., Redwood, M. and Jiménez, B. 2010. Wastewater irrigation and health: Challenges and outlook for mitigating risks in low-income countries. P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and A. Bahri (eds), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risks in Low-income Countries*. London/Sterling, Va., Earthscan. www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater_Irrigation_and_Health_book.pdf

SEI (Stockholm Environment Institute). *Piloting Enclosed Long-term Composting in an Indian village*. Stockholm, SEI. www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/sei-fs-2014-biharecosan-mohaddipur.pdf

Sengupta, S., Nawaz, T. and Beaudry, J. 2015. Nitrogen and phosphorus recovery from wastewater. *Current Pollution Reports*, Vol. 1, No. 3, pp. 155–166. link.springer.com/article/10.1007/s40726-015-0013-1

Sheikh, S. 2008. *Public Toilets in Delhi: An Emphasis on the Facilities for Women in Slum/Resettlement Areas*. CCS Working Paper No. 192. Summer Research Internship Programme 2008, Centre for Civil Society. ccs.in/internship_papers/2008/Public-toilets-in-Delh-192.pdf

Shiklomanov, I. A. 1999. World water resources and their use a joint SHI/UNESCO product. Database. http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2003. El tratamiento de aguas servidas en Chile [Wastewater treatment in Chile]. *Aguas Claras* [Clear Waters], No. 2. Santiago. SISS, Government of Chile. (In Spanish.) www.siss.gob.cl/577/articles-4482_recurso_1.pdf

_____. 2015. *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2014* [Management Report of the Sanitation Sector 2014]. Santiago, SISS, Government of Chile. (In Spanish.)

SSWM (Sustainable Sanitation and Water Management). n.d. Reuse Water between Businesses. SSWM website. www.sswm.info/category/implementation-tools/water-use/hardware/optimisation-water-use-industry/reuse-water-between

State of Green. 2015. *Sustainable Urban Drainage System: Using Rainwater as a Resource to Create Resilient and Liveable Cities*. Think Denmark: White paper for a green transition. Copenhague, State of Green. stateofgreen.com/files/download/8247

Statistics Canada. 2014. *Industrial Water Use 2011*. Ottawa, Statistics Canada. publications.gc.ca/collections/collection_2014/statcan/16-401-x/16-401-x2014001-eng.pdf

_____. n.d. Industrial Water Survey (IWS). Statistics Canada website. www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&Id=253674

Steen, I. 1998. Management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium*, Vo. 217, pp. 25–31.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. and Sorlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Vol. 347, No. 6223. Doi: 10.1126/science.1259855

Sterner T. 2003. *Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management*. Washington, DC, Resource for the Future.

Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (eds). 2014. *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*. London, IWA Publishing.

Taiwo, A. M. 2011. Composting as a sustainable waste management technique in developing countries. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 4, pp. 93–102. Doi: 10.3923/jest.2011.93.102

Taiwo, A. M., Olujimi, O. O., Bamgbose, O. and Arowolo, T. A. 2012. Surface water quality monitoring in Nigeria: Situational analysis and future management strategy. K. Voudoris (eds), *Water Quality Monitoring and Assessment*. InTech. www.intechopen.com/books/water-quality-monitoring-and-assessment/surface-water-quality-monitoring-in-nigeria-situational-analysis-and-future-management-strategy

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and David Stensel, H. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th edition. New York, Metcalf & Eddy Inc.

Thomson et al. 1998. *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*. Toronto, Ont., Department of Architectural Science, Ryerson University.

Trachsel, M. 2008. *Consensus Platform «Endocrine Disruptors in Waste Water and in the Aquatic Environment»: Final Document*. Bern, Swiss National Science Foundation (SNSF).

Transparency International. 2008. *Global Corruption Report 2008: Corruption in the Water Sector*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. www.transparency.org/whatwedo/publication/global_corruption_report_2008_corruption_in_the_water_sector

Tréhu, É. 1905. *Des pouvoirs de la municipalité parisienne en matière d'assainissement, l'application de la loi du 10 juillet 1894 sur l'assainissement de Paris et de la Seine* [The Powers of the Parisian Municipality with regard to Sanitation, applying the Law of 10 July 1894 to the Sanitation of Paris and the River Seine]. PhD disseration. Faculty of Law, Paris University. (In French.)

Trent, J. 2012. *Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA) – A Feasibility Study for Wastewater to Biofuels*. NASA Ames Research Center project report for the California Energy Commission. www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-143/CEC-500-2013-143.pdf

TSG (TechKNOWLEDGEy Strategic Group). 2014. *2014 Water Market Review*. Boulder, Colo., TSG. www.tech-strategy.com/index.htm

Umweltbundesamt GmbH. 2015. *Technical Assessment of the Implementation of Council Directive concerning Urban Waste Water Treatment (91/271/EEC)*. Brussels, Umweltbundesamt GmbH. ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/implementation/pdf/Technical%20assessment%20UWWTD.pdf

UN (United Nations). 1997. *Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses*. New York, United Nations. legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/conventions/8_3_1997.pdf

_____. n.d.a. *Sustainable Development Goals*. www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/

_____. n.d.b. *Wastewater Treatment*. Sustainable Development Knowledge Platform, United Nations. www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/freshwater/waste_water_treatment.pdf

UNCED (United Nations Conference on Environment and Development). 1992. *Agenda 21*. New York, United Nations. sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf

UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2004. *Catalyzing Change: A Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies*. Thirteenth Session of the Commission on Sustainable Development. Background Paper No. 5. Submitted by the Global Water Partnership (GWP) Technical Committee. DESA/DSD/2005/5.

_____. 2014. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York, United Nations. www.un.org/en/development/desa/publications/2014-revision-world-urbanization-prospects.html

UNDP (United Nations Development Programme). 2006. *Human Development Report 2006: Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. New York, UNDP. www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/hdr/human-development-report-2006.html

_____. 2010. *Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations*. Pathways to Human Development. New York, UNDP. hdr.undp.org/sites/default/files/reports/270/hdr_2010_en_complete_reprint.pdf

UNDP WGF at SIWI/Cap-Net/Water-Net/WIN. 2009. *Training Manual on Water Integrity*. Stockholm, Stockholm International Water Institute (SIWI).

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). 1992. *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. Helsinki, 17 March 1992. www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf

_____. 2013. *Guide to Implementing the Water Convention*. New York/Geneva, United Nations. www.unece.org/env/water/publications/ece_mp.wat_39.html.

UNECE/OECD (United Nations Economic Commission for Europe/Organisation for Economic Co-operation and Development). 2014. *Integrated Water Resources Management in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. European Union Water Initiative National Policy Dialogues Progress Report 2013*. New York/Geneva, United Nations. www.unece.org/index.php?id=35306

UNECE/WHO (United Nations Economic Commission for Europe/World Health Organization). 1999. *Protocol on Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. Geneva, UNECE/WHO. www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2000/wat/mp.wat.2000.1.e.pdf

_____. 2013. *The Equitable Access Score-card: Supporting Policy Processes to Achieve the Human Right to Water and Sanitation*. Geneva, UNECE/WHO.

_____. 2016. *A Healthy Link: The Protocol on Water and Health and the Sustainable Development Goal*. www.unece.org/index.php?id=44282&L=0

UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. *International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management*. London, IWA Publishing on behalf of UNEP. www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-15/main_index.asp

_____. 2010. *Clearing the Waters: A Focus on Water Quality Solutions*. Nairobi, UNEP. www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4123

_____. 2012a. Greening the Economy through Life Cycle Thinking – Ten Years of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Nairobi, UNEP. www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1536xPA-GreeningEconomythroughLifeCycleThinking.pdf

_____. 2012b. *Measuring Water Use in a Green Economy. A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*. Nairobi, UNEP. www.unep.org/resourcepanel-old/Portals/24102/Measuring_Water.pdf

_____. 2015a. *Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards*. Nairobi, UNEP. unep.org/gpa/documents/publications/GoodPracticesforRegulatingWastewater.pdf

_____. 2015b. *Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action*. Nairobi, UNEP. unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf

_____. 2015c. *Options for Decoupling Economic Growth from Water Use and Water Pollution*. Report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management. Nairobi, UNEP. www.unep.org/resourcepanel/KnowledgeResources/AssessmentAreasReports/Water/tabid/133332/Default.aspx

_____. 2016. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment*. Nairobi, UNEP. en.unesco.org/emergingpollutants

_____. n.d. Cleaner & Safer Production. UNEP website. www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/tabid/55543/Default.aspx

UNEP-DHI/IUCN/TNC/WRI (United Nations Environment Programme-DHI Partnership/International Union for the Conservation of Nature/The Nature Conservancy/World Resources Institute). 2014. *Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based Management Approaches for Water-related Infrastructure Projects*. Nairobi, UNEP. www.unepdhi.org/-/media/microsite_unepdhi/publications/documents/unep/web-unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en-20140814.pdf

UNEP FI (United Nations Environment Programme Finance Initiative). 2007. *Half Full or Half Empty? A Set of Indicative Guidelines for Water-Related Risks and an Overview of Emerging Opportunities for Financial Institutions*. Geneva, Switzerland, UNEP FI. www.unepfi.org/publications/water/

UNESCAP (United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific). 2010. *Statistical Yearbook 2009*. Bangkok, UNESCAP.

_____. 2013. *Development Financing for Tangible Results: A Paradigm Shift to Impact Investing and Outcome Models – The Case of Sanitation in Asia*. Discussion Paper. Bangkok, UNESCAP. www.unescap.org/resources/development-financing-tangible-results-paradigm-shift-impact-investing-and-outcome-models

_____. 2014. Statistical Yearbook for Asia and the Pacific 2014. Bangkok, UNESCAP. www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2014

_____. 2015a. *Eco-Efficient Infrastructure Development towards Green and Resilient Urban Future*. Brochure. www.unescap.org/resources/brochure-eco-efficient-infrastructure-development-towards-green-and-resilient-urban-future

_____. 2015b. *Statistical Yearbook for Asia and the Pacific 2015*. Bangkok, UNESCAP. www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2015

UNESCAP/UN-Habitat (United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific/United Nations Human Settlements Programme). 2015. *The State of Asian and Pacific Cities 2015: Urban Transformations, Shifting from Quantity to Quality*. UNESCAP/UN-Habitat.

UNESCAP/UN-Habitat/AIT (United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific/United Nations Human Settlements Programme/Asian Institute of Technology). 2015. *Policy Guidance Manual on Wastewater Management with a Special Emphasis on Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS)*. United Nations/AIT. www.unescap.org/resources/policy-guidance-manual-wastewater-management

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2011. A World of Science. *Natural Sciences Quarterly Newsletter*, Vol. 9, No. 4, pp. 1–24. unesdoc.unesco.org/images/0021/002122/212222e.pdf

_____. 2015. *UNESCO Project on Emerging Pollutants in Wastewater Reuse in Developing Countries*. Brochure. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235241E.pdf

_____. 2016a. *Harnessing Scientific Research Based Outcomes for Effective Monitoring and Regulation of Emerging Pollutants: A Case Study of Emerging Pollutants in Water and Wastewater in Nigeria*. Series of Technical and Policy Case Studies. UNESCO-IHP International Initiative on Water Quality (IIWQ). en.unesco.org/emergingpollutants/strengthening-scientific-research-and-policy/case-studies

_____. 2016b. *Emerging Pollutants in Water and Wastewater: Technical and Policy Case Studies*. UNESCO Project on Emerging Pollutants in Wastewater Reuse in Developing Countries. en.unesco.org/emergingpollutants

UNESCO-IHP/GTZ (International Hydrological Programme of the United Nations/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2006. Capacity Building for Ecological Sanitation – Concepts for Ecologically Sustainable Sanitation in Formal and Continuing Education. Paris/Eschborn, Germany, UNESCO-IHP/GTZ. unesdoc.unesco.org/images/0014/001463/146337e.pdf

UNESCWA (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia). 2013. *ESCWA Water Development Report 5: Issues in Sustainable Water Resources Management and Water Services in the Arab Region*. New York, United Nations. www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-5-issues-sustainable-water-resources-management-and

_____. 2015. *ESCWA Water Development Report 6: The Water, Energy, Food Security Nexus in the Arab Region*. Beirut, United Nations. www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-6-water-energy-and-food-security-nexus-arab-region

UNGA (United Nations General Assembly). 2010. *Resolution 64/292. The Human Right to Water and Sanitation*. New York, UNGA.

_____. 2014. *Report of the Special Rapporteur on the Human Right to Safe Drinking Water and Sanitation, Catarina de Albuquerque*. Twenty-seventh session of the Human Rights Council. UNGA A/HRC/27/55. documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N13/418/25/PDF/N1341825.pdf?OpenElement

_____. 2015a. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. A/70/L.1. New York, UNGA. www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

_____. 2015b. *Promotion and Protection of Human Rights: Human Rights Questions, including Alternative Approaches for Improving the Effective Enjoyment of Human Rights and Fundamental Freedom*. Seventieth session of the Third Committee. A/C.3/70/L.55/Rev.1 2015. UNGA.

UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme). 2012. *State of the World's Cities Report 2012/2013: Prosperity of Cities*. World Urban Forum Edition. Nairobi, UN-Habitat. sustainabledevelopment.un.org/content/documents/745habitat.pdf

_____. 2016. *World Cities Report 2016 - Urbanization and Development: Emerging Futures*. Nairobi, UN-Habitat. wcr.unhabitat.org/main-report/

_____. n.d. *Lake Victoria Region Water and Sanitation (LVWATSAN)*. Initiative Reports. mirror.unhabitat.org/content.asp?cid=2289&catid=462&typeid=24&subMenuId=0

UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees). 2016. *Jordan: UNHCR Operational Update - August 2016*. reliefweb.int/report/jordan/jordan-unhcr-operational-update-august-2016

UNICEF/WHO (United Nations Children's Fund/World Health Organization). 2000. *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. New York/Geneva, UNICEF/WHO. www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf

_____. 2009. *Diarrhoea: Why Children are still Dying and What can be Done*. New York/Geneva, UNICEF/WHO. www.unicef.org/media/files/Final_Diarrhoea_Report_October_2009_final.pdf

_____. 2011. *Drinking Water: Equity, Safety and Sustainability*. New York/Geneva, UNICEF/WHO WHO Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/report_wash_low.pdf

_____. 2012. *Progress on Drinking Water and Sanitation, 2012 Update*. New York/Geneva, UNICEF/WHO Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation.

_____. 2014. *Progress on Drinking Water and Sanitation, 2014 Update*. New York/Geneva, UNICEF/WHO Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation.

_____. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment*. New York/Geneva, UNICEF/WHO Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-Update-report-2015_English.pdf

UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). 2010. *A Greener Footprint for Industry: Opportunities and Challenges of Sustainable Industrial Development*. Vienna, UNIDO. www.unido.org/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/greenindustry/green-industry-platform.html

_____. 2011. *UNIDO Green Industry Policies for Supporting Green Industry*. Vienna, UNIDO. www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Green_Industry/web_policies_green_industry.pdf

UNOCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs). 2016. *Humanitarian Bulletin Lebanon*, Issue 22, 1–31 August 2016. reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/OCHA-HumanitarianBulletin-Issue22-August2016.pdf

UNSD (United Nations Statistics Division). 2012. *SEEA-Water: System of Environmental–Economic Accounting for Water*. New York, UNSD. unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seeawaterwebversion.pdf

_____. n.d. *Questionnaire 2013 on Environment Statistics*. UNSD website. UNSD/UNEP. unstats.un.org/unsd/environment/questionnaire2013.htm

UN-Water. 2015a. *Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief*. UN-Water. www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/UN-Water_Analytical_Brief_Wastewater_Management.pdf

_____. 2015b. *Compendium of Water Quality Regulatory Frameworks: Which Water for Which Use?* UN-Water.

_____. 2016a. *Metadata on Suggested Indicators for Global Monitoring of the Sustainable Development Goal 6 on Water and Sanitation*. UN-Water. www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/Goal%206_Metadata%20Compilation%20for%20Suggested%20Indicators_UN-Water_v2016-04-01_2.pdf

_____. 2016b. *Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development*.

Urbis Limited. 2007. *A Study on Green Roof Application in Hong Kong*. Hong Kong, Urbis Limited. www.archsd.gov.hk/media/11630/green_roof_study_final_report.pdf

US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture*. Washington, DC, US EPA. www.epa.gov/nps/national-management-measures-control-nonpoint-source-pollution-agriculture

_____. 2004. *Guidelines for Water Reuse*. Washington, DC, US EPA. nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30006MKD.PDF?Dockey=30006MKD.PDF

_____. 2012. *2012 Guidelines for Water Reuse*. Washington, DC, US EPA. nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf

_____. 2015. *Steam Electric Power Generating Effluent Guidelines – 2015 Final Rule*. US EPA website. www.epa.gov/eg/steam-electric-power-generating-effluent-guidelines-2015-final-rule

_____. 2016. *Clean Watershed Needs Survey 2012 – Report to Congress*. Washington, DC, US EPA. www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cwns_2012_report_to_congress-508-opt.pdf

_____. n.d.a. *Glossary of Climate Change Terms*. US EPA website. www3.epa.gov/climatechange/glossary.html#W

_____. n.d.b. *Terminology Service (TS): Vocabulary Catalogue*. US EPA website. ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary

_____. n.d.c. Clean Water State Revolving Fund (CWSRF). US EPA website. www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/cwsrfinfographic-030116.pdf www.epa.gov/cwsrf

USGS (United States Geological Survey). n.d. *Contaminants of Emerging Concern in the Environment*. USGS website. toxics.usgs.gov/investigations/cec/index.php

Van de Helm, A. W. C., Bhai, A., Coloni F., Koning, W. J. G. and De Bakker, P. T. 2015. *Developing Water and Sanitation Services in Refugee Settings from Emergency to Sustainability – The Case of Zaatari Camp in Jordan*. Proceeding of the IWA Water Development Congress and Exhibition 2015, Jordan, 18–22 October 2015. London, International Water Association (IWA). repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:7953d49d-194a-4ecb-81d8-63afcb3f6f60?collection=research

Van Dien, F. and Boone, P. 2015. *Constructed Wetlands Pilot at Sher Ethiopia PLC*. Evaluation Report. ECOFYT. www.hoarec.org/images/Evaluation%20Report%20Constructed%20Wetland%20Pilot%20at%20Sher%20Ethiopia%20PLC.pdf

Van Houtte, E. and Verbauwhede, J. 2013. Long-time membrane experience at Torreele's water re-use facility in Belgium. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, No. 22–24, pp. 4253–4262. www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19443994.2013.769487

Van Loosdrecht, M. C. M. and Brdjanovic, D. 2014. Anticipating the next century of wastewater treatment. *Science*, Vol. 344, No. 6191, pp. 1452–1453. Doi: 10.1126/science.1255183

Van Vuuren, D. P., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W. 2010. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change*, Vol. 20, No. 3, pp. 428–439. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.004

Van Weert, F., Van der Gun, J., Reckman, J. 2009. *Global Overview of Saline Groundwater Occurrence and Genesis*. Utrecht, The Netherlands, International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC).

Veolia/IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality*. White Paper. Veolia / IFPRI. www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water

Vinnerås, B. 2001. *Faecal Separation and Urine Diversion for Nutrient Management of Household Biodegradable Waste and Wastewater*. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. pub.epsilon.slu.se/3817/1/vinneras_b_091216.pdf

Visvanathan C., Ben Aim, R. and Parameshwaran, K. 2000. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 1–48. Doi: 10.1080/10643380091184165

Von Muench, E. 2009. *Compilation of 24 SuSanA case studies: Pre-Print for the 10th SuSanA meeting*. Eschborn, Germany, Sustainable Sanitation Alliance. www.susana.org/en/resources/library/details/1937

Von Sperling, M. 2007. *Wastewater Characteristic, Treatment and Disposal*. Vol. I of Biological Wastewater Treatment Series. London, IWA Publishing. www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SPERLING%202007%20Wastewater%20Characteristics,%20Treatment%20and%20Disposal.pdf

Walters, J., Oelker, G. and Lazarova, V. 2013. Producing designer recycled water tailored to customer needs. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri and J. Anderson (eds). *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA: Publishing.

Wang, H. and Ren, Z. J. 2014. Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: A review. *Water Research*, Vol. 66, pp. 219–232.

Wang, H., Wang, T., Zhang, B., Li, F., Toure, B., Omosa, I. B., Chiramba, T., Abdel-Monem, M. and Pradhan, M. 2014. Water and wastewater treatment in Africa – Current practices and challenges. *Clean – Soil, Air, Water*, Vol. 42, No. 8, pp. 1029–1035. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201470073/pdf

Water Online. 2014. Texas Leads the Way with First Direct Potable Reuse Facilities in U.S. Water Online, 16 September 2014. www.wateronline.com/doc/texas-leads-the-way-with-first-direct-potable-reuse-facilities-in-u-s-0001

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). n.d. *Scaling up Industrial Water Reuse*. WBCSD website. www.wbcsd.org/work-program/sector-projects/water/waterreuse.aspx

WBCSD/IWA (World Business Council for Sustainable Development/International Water Association). n.d. *Anglo American plc eMalahleni Water Reclamation Project*. Case Study. WBCSD/IWA.

WEF (World Economic Forum). 2016. *The Global Risks Report 2016*. Geneva, Switzerland, WEF. wef.ch/risks2016

West Basin Municipal Water District. n.d. *Recycled Water*. West Basin Municipal Water District website. www.westbasin.org/water-reliability-2020/recycled-water/about-recycled-water.html

WHO (World Health Organization). 2006a. *Guidelines of the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water – Vol. 2: Wastewater Use in Agriculture*. Geneva, Switzerland, WHO. www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wwuvol2intro.pdf

_____. 2006b. *A Compendium of Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region*. Cairo, WHO. apps.who.int/iris/handle/10665/116515

_____. 2008. Acute pesticide poisoning: a proposed classification tool. *Bulletin of the World Health Organization*, Vol. 86, pp. 205–209. who.int/bulletin/volumes/86/3/07-041814/en/

_____. 2010. *Third Edition of the WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture: Guidance Note for National Programme Managers – Health-Based Targets*. Geneva, Switzerland, WHO. www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/FLASH_OMS_WSHH_Guidance_note3_20100901_17092010.pdf?ua=1

_____. 2014a. *Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities*. UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water GLAAS 2014 Report. Geneva, Switzerland, WHO. apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087_eng.pdf?ua=1

_____. 2014b. *Preventing Diarrhoea through Better Water, Sanitation and Hygiene: Exposures and Impacts in Low- and Middle-income Countries*. Geneva, Switzerland, WHO. apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823_eng.pdf

_____. 2015. *UN-Water GLAAS TrackFin Initiative: Tracking Financing to Sanitation, Hygiene and Drinking-water at the National Level*. Guidance document summary for decision-makers. Geneva, Switzerland, WHO. www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/investments/trackfin-summary.pdf

_____. 2016a. *Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks*. Geneva, Switzerland, WHO. www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

_____. 2016b. *Sanitation Safety Planning: Manual for Safe Use and Disposal of Wastewater, Greywater and Excreta*. Geneva, Switzerland, WHO. www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/en/

Wichelns, D., Drechsel, P. and Qadir, M. 2015. Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.

WIN (Water Integrity Network). 2016. *Water Integrity Global Outlook 2016*. Berlin, WIN.

Winblad, U. and Simpson-Hébert, M. (eds). 2004. *Ecological Sanitation: Revised and Enlarged Edition*. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI).

Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernandez, F. and Torricelli, R. 2010. *The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture*. FAO Water Report No. 35. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e00.htm

Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., Van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J. C. J., Ligtvoet, W., Lucas, P. L., Van Vuuren, D. P. and Ward, P. J. 2016. Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, Vol. 6, pp. 381–385. Doi: 10.1038/nclimate2893

Winsemius, H. C. and Ward, P. J. 2015. *Projections of future urban damages from floods. Personal communication to OECD*.

Woodall, A. 2015. *Innovative Water Use in Texas*. Presentation held during the Groundwater Protection Council 2015 Annual Forum, 27–30 September 2015, Oklahoma City, OK, USA. www.gwpc.org/sites/default/files/event-sessions/Woodall_Allison.pdf

World Bank. 2012. *The Future of Water in African Cities: Why Waste Water?* Washington, DC, World Bank.

_____. n.d. *World Development Indicators*. World Bank website. data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators

World Water. 2013. *Fresh Thinking to Improve Business and Sustainability.* msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08d9/0901b803808d92c4.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-50111.pdf&fromPage=GetDoc

WssTP (Water Supply and Sanitation Technology Platform). 2013. *Water Reuse Report: Water Supply and Sanitation Technology Platform, Brussels. An Executive Summary*. wsstp.eu/wp-content/uploads/sites/102/2013/11/ExS-Water-Reuse.pdf

WWAP (World Water Assessment Programme). 2006. *The United Nations World Water Development Report 2: Water: A Shared Responsibility*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

_____. 2012. *The United Nations World Water Development Report 2012: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

_____. 2014. *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

_____. 2015. *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf.

_____. 2016. *The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs*. Paris, Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

_____. n.d. *Facts and Figures. Fact 36: Industrial wastewater*. UNESCO website. www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/

WWC/OECD (World Water Council/Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015. *Water: Fit to Finance? Catalyzing national growth through investment in water security*. Report of the High-Level Panel on Financing Infrastructure for a Water-Secure World. Marseille/Paris, France, WWC/OECD.

WWF (World Wide Fund for Nature). 2015. *Das Grosse Wegschmeissen: Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland* [The great wastage: From field to end user: Magnitude and environmental impact of food waste in Germany]. WWF Germany. (In German.) www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Studie_Das_grosse_Wegschmeissen.pdf

Zarate, E., Aldaya, M., Chico, D., Pahlow, M., Flachsbarth, I., Franco, G., Zhang, G., Garrido, A., Kuroiwa, J., Cesar, J., Palhares, P. and Arévalo Uribe, D. 2014. Water and agriculture. B. Willaarts, A. Garrido and R. Llamas (eds), *Water for Food Security and Well-being in Latin America and the Caribbean. Social and Environmental Implications for a Globalized Economy*. Oxon, UK/New York, Routledge. www.fundacionbotin.org/paginas-interiores-de-una-publicacion-de-la-fundacion-botin/water-for-food-security-and-well-being-in-latin-america-and-the-caribbean.html

الملحق 1 مسرد المصطلحات

يمكن أن تكون هناك تعاريف مختلفة، بل متناقضة، للمصطلحات المتعلقة بالمياه العادمة. ولذلك جرى إعداد التعاريف التالية استناداً إلى عدد من المصنفات المنشورة من أجل إيجاد فهم مشترك للمصطلحات المستخدمة في التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017 وضمان اتساقها.

مياه الصرف السطحي الزراعية: مياه الحقول الزراعية التي لا تَنفذ إلى التربة، والتي تنصرف عن طريق الجريان السطحي.

المركَّبات الصلبة الحيوية: حمأة مياه المجاري المعالَجة بطريقة ملائمة والمستخدمة كسماد لتحسين إنتاجية التربة والمحافظة على إنتاجيتها وتحفيز نمو النباتات.

المياه السوداء: المياه العادمة الناتجة عن المراحيض، التي تُجْمع بمعزل عن مياه المجاري. وتحتوي المياه السوداء على البول والبراز ومياه المراحيض (المياه المستخدمة لأغراض الشطف والتنظيف) و/أو ورق المراحيض.

نظام المعالجة المركزية للمياه العادمة: نظام لمعالجة المياه العادمة يتكون من مجارٍ أو مجارير لتجميع المياه العادمة، ومن محطة معالجة واحدة تُستخدَم لجمع ومعالجة المياه العادمة الواردة من منطقة خدمة محددة.

الاقتصاد الدائري: اقتصاد يوازن بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة والموارد. ويركز الاقتصاد الدائري على استخدام الموارد وإعادة تدويرها بالطريقة الأكثر فعالية وكفاءة، وكذلك على حماية البيئة. ويتسم الاقتصاد الدائري بانخفاض استهلاك الطاقة والموارد الأخرى، وانخفاض انبعاث الملوِّثات، وإنتاج أقل قدر ممكن من النفايات، والتمتع بالكفاءة العالية. ويتطلب الاقتصاد الدائري الأخذ بأساليب أكثر نظافة للإنتاج في الشركات، فضلاً عن تطوير المجمَّعات الصناعية الإيكولوجية والتخطيط المتكامل القائم على الموارد من أجل التنمية الصناعية والتنمية الزراعية والتنمية في المناطق الحضرية.

الملوِّث (الملوِّثات): مادة بيولوجية أو فيزيائية أو كيميائية أو إشعاعية تضرّ بالماء أو التربة أو الهواء. ولا يعني وجود ملوِّثات بالضرورة أن المياه تشكل مخاطر صحية.

نظام الصرف الصحي المشترك: نظام الصرف الصحي المصمَّم لجمع المياه العادمة البلدية (من المصادر المنزلية والصناعية والمصادر الأخرى) ومياه الصرف السطحي الحضرية ونقلها إلى محطة معالجة المياه العادمة (أو وسيلة أخرى للتخلص منها).

نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة: النظام المستخدم لجمع ومعالجة وصرف أو تنقية المياه العادمة الواردة من تجمع سكاني صغير أو منطقة خدمة صغيرة.

المياه العادمة المنزلية: مياه عادمة تتكون من مياه سوداء ومياه رمادية، وقد تحتوي على أنواع أخرى من المياه العادمة الناتجة عن الأنشطة المنزلية في التجمعات السكنية.

الملوِّثات الناشئة: أية مادة كيميائية اصطناعية أو طبيعية أو أية كائنات حية دقيقة لا تُرصد عادة في البيئة، بيد أنها يمكن أن تدخل إلى البيئة وأن تتسبب في أضرار معروفة أو محتملة تمس بالبيئة و/أو بصحة الإنسان.

المركَّبات المسبِّبة لاضطراب الغدد الصمّاء: مركَّبات طبيعية أو اصطناعية تعيق إنتاج أو إفراز أو نقل أو ربط أو عمل أو طرح الهرمونات الطبيعية للكائنات الحية المسؤولة عن المحافظة على التوازن والتكاثر والتطور و/أو السلوك.

جهاز الغدد الصماء: مجموعة من الغدد البشرية تنتج الهرمونات التي تنظِّم الأيض (التمثيل الغذائي) والنمو والتطور، ووظائف الأنسجة، والتكاثر، والمزاج، والنوم، و/أو وظائف فيزيولوجية أخرى.

الإغناء بالمغذيات: عملية إغناء مسطح مائي بالعناصر المغذية الذائبة (مثل النيتروجين والفوسفور) التي تحفِّز نمو النباتات المائية، ممّا يؤدي عادة إلى نفاد الأكسجين المذاب.

المياه الرمادية: المياه العادمة الناتجة عن الغسّالة، أو حوض الاستحمام، أو مكان الاغتسال، أو المغسلة، التي تُجمع بمعزل عن مياه المجاري. فلا تضم المياه الرمادية المياه العادمة الواردة من المرحاض.

التلوث الحراري: المياه الناتجة عن النُظم الصناعية (نُظم التبريد في محطات الطاقة الحرارية مثلاً) التي تكون درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة المياه المحيطة، ممّا يؤدي إلى تغيير درجة حرارة المسطح المائي الذي تتدفق إليه هذه المياه بطريقة تؤثر على البيئة المحلية.

التلوث بالمعادن الثقيلة: تلوث بمعادن ذات كتلة ذرية كبيرة ترد من عدد من المصادر، ومنها مثلاً النفايات السائلة الصناعية.

المياه العادمة الصناعية: المياه التي تُصرف بعد استخدامها في عمليات الإنتاج الصناعي أو عمليات إنتاج الطاقة، أو بعد إنتاجها خلال تلك العمليات.

الملوِّثات الدقيقة: الملوِّثات الموجودة بدرجات تركيز منخفضة في الماء (أي ميكروغرام/لتر أو أقل)، ومنها مثلاً المستحضرات الصيدلانية، ومكونات المواد الكيميائية المنزلية، والمواد الكيميائية المستخدمة في المؤسسات التجارية أو الصناعية الصغيرة، والملوِّثات الصيدلانية المقاومة للتحلل في البيئة، والمبيدات أو الهرمونات.

المياه العادمة البلدية: المياه العادمة الواردة من المصادر المنزلية والصناعية والتجارية والمؤسسية داخل تجمع بشري أو سكني معين. وقد يختلف تركيب المياه العادمة البلدية اختلافاً كبيراً، ويبيّن هذا الأمر مقدار تنوع الملوِّثات الواردة من مصادر مختلفة.

التلوث الوارد من مصدر غير ثابت أو التلوث المنتشر: التلوث الناجم عن الصرف السطحي الأرضي، أو هطول الأمطار، أو الترسبات الجوية، أو صرف المياه الأرضية.

نظام معالجة المياه العادمة في الموقع: نظام يعتمد على العمليات الطبيعية و/أو المكونات الميكانيكية لجمع ومعالجة وصرف أو تنقية المياه العادمة الواردة من موقع معيّن.

مسبِّبات الأمراض أو الكائنات الحية المجهرية المسبِّبة للأمراض (مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات والفطريات): الكائنات الحية المجهرية التي يمكن أن تؤدي إلى إصابة البشر بالأمراض.

الملوِّثات العضوية الثابتة: مواد كيميائية سامة تضر بصحة الإنسان وبالبيئة، ومنها المركَّبات الثنائية الفينيل المتعددة الكلور، ومادة «دي دي تي» (ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإيثان)، والديوكسينات. وتظل الملوِّثات العضوية الثابتة على حالها في البيئة لفترات زمنية طويلة للغاية، ويمكن أن تتراكم أحيائياً في الأنسجة الدهنية للكائنات الحية.

التلوث الوارد من مصدر ثابت: التلوث الوارد من أية وسيلة نقل واضحة ومحددة يمكن أن تُطرح منها ملوِّثات، ومنها على سبيل المثال لا الحصر أي أنبوب أو مصرف أو قناة أو نفق أو مجرى أو بئر أو شق أو حاوية، أو مكان للتربية المكثفة للماشية، أو سفينة أو مركبة أخرى عائمة. ولا يشمل هذا المصطلح ما يُصرف من مياه الأمطار الحضرية، وما يعود إلى باطن الأرض من المياه المستخدمة لأغراض الزراعة.

التلوث: نتيجة تسرب مواد أو ملوِّثات إلى المسطحات المائية وتدهور نوعية المياه من جرّاء ذلك. ويمكن أن تكون لتلوث المياه أسباب طبيعية ناجمة عن أسباب بيئية (الزرنيخ على سبيل المثال) أو عن أنشطة بشرية.

المياه المعاد تدويرها: المياه العادمة المعالَجة («الملائمة للغرض المنشود») التي يمكن استخدامها في ظروف خاضعة للرقابة لأغراض مفيدة داخل المؤسسة أو الصناعة ذاتها.

المياه المنقّاة: المياه العادمة المعالَجة («الملائمة للغرض المنشود») التي يمكن استخدامها في ظروف خاضعة للرقابة لأغراض مفيدة كالريّ على سبيل المثال.

التلوث بالرواسب: التلوث الناجم عن انجراف المعادن والرمال والطمي من الأرض إلى المياه، وما قد ينجم عن ذلك من مشكلات للكائنات الحية المائية.

مخلفات التعفين: المنتج الثانوي الغني بالعناصر المغذية، الذي يُستخلص من المياه العادمة المنزلية بعد المعالَجة التمهيدية، والذي يتراكم في خزان الصرف الصحي أو الحفرة الامتصاصية الخاصة بالمرحاض (أقل شيوعاً).

مياه المجاري أو المجارير: المياه العادمة والفضلات (المياه السوداء) التي تنقل في المجاري.

شبكة المجاري: الأنابيب والمضخات وغيرها من التجهيزات والمرافق أو البُنى الأساسية المستخدمة لجمع ونقل مياه المجاري من أماكن إنتاجها إلى الأماكن المراد إيصالها إليها (أي إلى محطة المعالَجة).

الحمأة: المواد العضوية الغنية بالعناصر المغذية الناتجة عن معالجة مياه المجاري المنزلية في مرفق لمعالجة المياه العادمة.

مياه الصرف السطحي الحضرية: المياه الناتجة عن الصرف السطحي لمياه الأمطار وغيرها من أشكال الهطول (المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج مثلاً) في المناطق الحضرية، حيث يُغطّى جزء كبير من سطح الأرض بالأرصفة والشوارع والمباني والحدائق ذات الأرضيات المضغوطة التي لا تسمح للمياه بالنفاذ إلى التربة، ولذلك يزداد حجم مياه الصرف السطحي. وتُعدّ مياه الصرف السطحي الحضرية مصدراً رئيسياً للفيضانات وتلوث المياه في المناطق الحضرية.

المياه العادمة الحضرية: تضم المياه العادمة الحضرية المياه العادمة البلدية ومياه الصرف السطحي الحضرية، ولذلك يُحتمل أن تحتوي على مجموعة كبيرة من الملوِّثات.

المياه العادمة أو النفايات السائلة: مزيج من نوع واحد أو أكثر من النفايات السائلة المنزلية المكونة من المياه السوداء والمياه الرمادية؛ والمياه الواردة من المنشآت التجارية والمؤسسات، ومنها المستشفيات؛ والنفايات السائلة الصناعية، ومياه الأمطار وغيرها من مياه الصرف السطحي الحضرية؛ ومياه الصرف السطحي الزراعية والبستانية، ومياه الصرف الناتجة عن تربية الأحياء المائية[13].

المنتجات الثانوية للمياه العادمة: المواد (مثل العناصر المغذية والمعادن) والطاقة التي يمكن استخلاصها من المياه العادمة واستخدامها.

13 قد لا تُعتبر مياه الصرف السطحي الحضرية ومياه الصرف السطحي الزراعية مياهاً عادمة وفقاً لتعاريف معينة (عندما يُراد بالمياه العادمة على سبيل المثال «المياه التي استُخدمت لغرض معيّن»)، وتُعتبر مع ذلك شكلاً من أشكال المياه العادمة لأغراض هذا التقرير، ويرجع ذلك جزئياً إلى علاقتها المباشرة ببلوغ الغاية 6-3 للتنمية المستدامة التي تنص على «تحسين نوعية المياه عن طريق الحد من التلوث ووقف إلقاء النفايات والمواد الكيميائية والمواد الخطرة وتقليل تسرّبها إلى أدنى حد (...)».

إدارة المياه العادمة: تشمل إدارة المياه العادمة منع التلوث أو الحد منه عند المصدر (من حيث عبء التلوث أو حمل التلوث، وحجم المياه العادمة المنتجة)، وجمع وإزالة الملوِّثات من مجاري المياه العادمة (أي المعالَجة)، والاستخدام المفيد للمياه العادمة المعالَجة ومنتجاتها الثانوية و/أو التخلص منها[14].

العناصر المغذية الموجودة في المياه العادمة: تشير هذه العبارة في المقام الأول إلى وجود النيتروجين والفوسفور في مياه الصرف المنزلية، ومياه الصرف السطحي الزراعية (ومنها المياه الناتجة عن تربية الماشية وصناعة الأغذية)، وكذلك في بعض النفايات السائلة الصناعية. ويمكن أن تؤدي العناصر المغذية إلى نمو مفرط للطحالب (أي الإغناء بالمغذيات) في المسطحات المائية، ولكنها تُعدّ أيضاً منتجاً ثانوياً قابلاً للاسترداد من المياه العادمة لاستخدامه لأغراض الزراعة وتربية الأحياء المائية.

معالجة المياه العادمة: عملية أو سلسلة من العمليات تزيل الملوِّثات من المياه العادمة لإتاحة استخدام المياه مرة أخرى بطريقة مأمونة (المعالجة الملائمة للغرض المنشود) أو إعادتها إلى الدورة المائية بأقل قدر ممكن من الآثار البيئية. وتوجد عدة مستويات لمعالجة المياه يتوقف اختيارها على نوع الملوِّثات، وعبء التلوث أو حمل التلوث، والاستخدام النهائي المرتقب للنفايات السائلة.

المعالَجة التمهيدية: إزالة مكونات المياه العادمة التي تضم مثلاً الخِرَق والعِصِي والأشياء الطافية والرمال والشحوم التي يمكن أن تسبب مشاكل في الصيانة أو التشغيل أثناء عمليات وإجراءات المعالَجة.

المعالَجة الأولى: إزالة جزء من المواد الصلبة المعلَّقة والمواد العضوية من المياه العادمة، ويمكن أن تتضمن أو ألا تتضمن هذه العملية مرحلة كيميائية أو ترشيحاً.

المعالَجة الثانية: إزالة المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي (في محلول أو مستعلَق)، والمواد الصلبة المعلَّقة، والعناصر المغذية (النيتروجين والفوسفور، أو أحدهما).

المعالَجة الثالثة: إزالة المواد الصلبة المعلَّقة المتبقية (بعد المعالَجة الثانية)، ومواصلة إزالة العناصر المغذية، والتطهير.

المعالَجة الرابعة: استخدام تقنيات لإزالة الملوِّثات الدقيقة التي يمكن ألا تكون قد أُزيلت خلال عمليات المعالَجة التقليدية (المعالَجة الأولى، والمعالَجة الثانية، والمعالَجة الثالثة).

إعادة استخدام المياه/استخدام المياه العادمة: استخدام المياه العادمة غير المعالَجة أو المعالَجة جزئياً أو المعالَجة.

14 يجوز للمرء، من الناحية اللغوية، أن يقول «يُعاد استخدام المياه»، وأن يقول "تُستخدَم المياه العادمة"، ولكن لا يجوز له أن يقول «يُعاد استخدام المياه العادمة».

المراجع (لمسرد المصطلحات)

Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme/United Nations Human Settlements Programme/GRID-Arendal (UNEP/UN-Habitat).

EPA Victoria (Environment Protection Authority Victoria). n.d. Reusing and Recycling Water. EPA Victoria website. Victoria, Australia, EPA. www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water

Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. 2008. Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment. IWMI Research Report No. 127. Colombo, International Water Management Institute (IWMI).

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and David Stensel, H. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Fourth edition. New York, Metcalf & Eddy Inc.

UN (United Nations). n.d. Wastewater Treatment. Sustainable Development Knowledge Platform, United Nations. www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/freshwater/waste_water_treatment.pdf

UNEP (United Nations Environment Programme). 2006. Circular Economy: An Alternative Model for Economic Development. Paris, UNEP.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). n.d. Terminology service: Vocabulary Catalogue. US EPA website. ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary

_____. n.d. International Cooperation, Persistent Organic Pollutants: A Global Issue, A Global Response. US EPA website. www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response

_____. n.d. Polluted Runoff: Nonpoint Source Pollution. US EPA website. Available at: www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/what-nonpoint-source

WateReuse Research Foundation/American Water Works Association/Water Environment Federation/National Water Research Institute. 2015. Framework for Direct Potable Reuse. Alexandria, Va.

WHO (World Health Organization). 2016. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture. Geneva, Switzerland, WHO.

المختصرات والتسميات المختصرة

BAT	أفضل التكنولوجيات المتاحة
B -DASH	طفرة من خلال نهج دينامي في تكنولوجيا الصرف الصحي العالية
BOD	الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي
CBD	منطقة مركزية للأعمال التجارية
CEF	مرفق تعزيز الائتمان
CHP	الجمع بين التدفئة والطاقة
CIP	التنظيف في الموقع
COD	الطلب على الأكسجين الكيميائي
CReW	الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة
CSOs	مجمعات مياه المجارير
CWSRF	الصندوق الدائر الخاص بالمياه النظيفة في الولاية
DEWATS	نظام المعالجة اللامركزية للمياه العادمة
DPR	إعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب
EcoSan	الصرف الصحي الإيكولوجي
EDCs	مركبات مسبِّبة لاختلال الغدد الصمّاء
EECCA	أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى
ESTs	التكنولوجيات السليمة بيئياً
EU	الاتحاد الأوروبي
FC	البكتيريا القولونية البرازية
FAO	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
FSM	معالجة حمأة الغائط
GCC	بلدان مجلس التعاون الخليجي
GEF	مرفق البيئة العالمية
GHG	غاز الدفيئة
GI	البنية التحتية المراعية للبيئة
IPR	إعادة الاستخدام غير المباشر لمياه الشرب
IWRM	الإدارة المتكاملة للموارد المائية
LCA	تقييمات دورة الحياة
MBR	مفاعل حيوي غشائي
MDG	الأهداف الإنمائية للألفية
MENA	الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
MW	ميغاواط

NGO	منظمة غير حكومية
OECD	منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي
p.e.	المكافئ السكاني
PCBs	المركّبات الثنائية الفينيل المتعددة الكلور
POPs	الملوثات العضوية الثابتة
PRTRs	سجلات إطلاق الملوثات وانتقالها
PUB	مجلس المرافق العامة في سنغافورة
RECP	الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد
SADC	الجماعة الإنمائية للجنوب الأفريقي
SDG	هدف من أهداف التنمية المستدامة
SEEA -Water	نظام المحاسبة البيئية والاقتصادية في مجال المياه
SFPUC	لجنة المرافق العامة في سان فرانسيسكو
SMEs	المنشآت الصغيرة ومتوسطة الحجم
SS	مواد صلبة عالقة
SUDS	نظم الصرف الصحي الحضرية المستدامة
TN	إجمالي النيتروجين
TP	إجمالي الفوسفور
TrackFin	تتبع التمويل للصرف الصحي والنظافة الصحية ومياه الشرب
TSS	إجمالي المواد الصلبة العالقة
UNECE	لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا
UNEP	برنامج الأمم المتحدة للبيئة
UNGA	الجمعية العامة للأمم المتحدة
UN -Habitat	برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية
UNICEF	منظمة الأمم المتحدة للطفولة
UNIDO	منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية
UNSD	الشعبة الاحصائية في الأمم المتحدة
US EPA	وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة
UWWTD	توجيه الاتحاد الأوروبي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية
WEF	المنتدى الاقتصادي العالمي
WHO	منظمة الصحة العالمية
WSS	إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي
ZLD	التوقف عن تصريف السوائل

الأطر، والأشكال، والجداول

الأطر

الإطار 1-1	النظم التاريخية للمياه العادمة: حالة روما القديمة	18
الإطار 1-2	الفقر وإدارة المياه العادمة والتنمية المستدامة - روابط متعددة	27
الإطار 2-2	الأدوار الجنسانية وإدخال الاستخدام الآمن للمياه العادمة	27
الإطار 2-3	"خسارة" المياه من النفايات الغذائية	28
الإطار 3-1	الإطار المؤسسي الدولي للحماية المشتركة لنوعية المياه في منطقة الدانوب والبحر الأسود	34
الإطار 4-1	الملوثات الناشئة	39
الإطار 4-2	منع ملوثات المياه العادمة: مثال الميكروبيدات	40
الإطار 4-3	تقييم المخاطر في إدارة نظم المياه العادمة	46
الإطار 5-1	التخلص من مياه المجارير والنفايات في لاجوس، نيجيريا	52
الإطار 5-2	إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه العادمة في أغراض الشرب ونموذج تطبيقه في سان دييغو، بكاليفورنيا	57
الإطار 5-3	أنظمة تربية الأسماك في مياه المجارير في كولكاتا: إبداع للمزارعين منذ مائة عام	58
الإطار 5-4	معالجة مياه الجريان السطحي للأمطار من منطقة صناعية، مدينة كولدينغ، الدنمارك	59
الإطار 6-1	استطلاعات المياه الصناعية في كندا	63
الإطار 6-2	مشروع شركة Anglo American لتنقية المياه في مدينة إيمالاهليني بمحافظة مبومالانجا في جنوب أفريقيا	66
الإطار 6-3	الاستخدام الإبداعي للمياه العادمة في شركة كاربري لمنتجات الألبان بمدينة كورك في آيرلندا	67
الإطار 6-4	التكافل الصناعي في مدينة كالوندبورغ بالدنمارك	68
الإطار 6-5	استخدام المياه العادمة المنصرفة من البلديات في الصناعة والطاقة	69
الإطار 7-1	طريقة الحواجز المتعددة للحد من المخاطر الصحية الناجمة عن الري بالمياه العادمة	79
الإطار 8-1	أرض ناكيفوبو الرطبة التي تتلقى الكثير من المياه العادمة المحلية والمياه العادمة المنصرفة من الصناعات في كمبالا (أوغندا)	82
الإطار 8-2	الأراضي الرطبة المبنية لمعالجة المياه العادمة، إنديانا، الولايات المتحدة الأمريكية	83
الإطار 8-3	واحة استوائية أُنشئت بواسطة المياه العادمة المعالَجة في ليما، بيرو	83
الإطار 8-4	القيمة المضافة لمعايير نوعية المياه المحيطة مقارنة بمعايير الانبعاثات	84
الإطار 9-1	استخدام المياه العادمة في كوماسي وأكرا، غانا	90
الإطار 9-2	إعادة تدوير المياه العادمة في توليد الطاقة الحرارية، جنوب أفريقيا	91
الإطار 10-1	الاستراتيجية الوطنية لقطاع المياه العادمة في لبنان	95
الإطار 10-2	إعادة استخدام المياه في تونس	96
الإطار 12-1	إدارة المياه العادمة المنصرفة من البلديات - تطوير البنية التحتية وإعادة ترميمها: الاتجاهات الأخيرة في بلدان أوروبا الشرقية والقوقاز وآسيا الوسطى	104
الإطار 12-2	الاستفادة المثلى من إمكانيات إعادة الاستخدام: مراقبة نوعية المياه العادمة المعالَجة واستكشاف الصرف الصحي الإيكولوجي في أوروبا وأمريكا الشمالية	105
الإطار 12-3	توجيه الاتحاد الأوربي لمعالجة المياه العادمة المنصرفة من المناطق الحضرية	106
الإطار 12-4	وضع الأهداف الوطنية بموجب بروتوكول لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا ومنظمة الصحة العالمية/بروتوكول أوروبا بشأن المياه والصحة: مواجهة تحديات المياه العادمة	106
الإطار 13-1	نتائج تصريف المياه العادمة غير المعالَجة المنصرفة من المناطق الحضرية: انتشار وباء الكوليرا عام 1991	109

الإطار 14-1	مبادئ توجيهية لمنع وتقليل توليد المياه العادمة	114
الإطار 14-2	التوقف عن تصريف السوائل في صناعات النسيج في تيروبور، الهند	115
الإطار 14-3	أمثلة من تنزانيا على الإنتاج الأنظف المتسم بالكفاءة في استخدام الموارد	116
الإطار 14-4	الصندوق الإقليمي الكاريبي لإدارة المياه العادمة (CReW)	117
الإطار 14-5	الصندوق الدائر الخاص بالولايات (SRF) لتمويل المياه العادمة والبنية التحتية	118
الإطار 15-1	جمع المياه العادمة وإعادة تدويرها من الصوبات الزراعية في إثيوبيا	122
الإطار 15-2	إزالة المياه العادمة في مدينة سوون، جمهورية كوريا	122
الإطار 15-3	استغلال المياه العادمة في سيدني، أستراليا	123
الإطار 16-1	التجربة الفريدة لإعادة الاستخدام المباشر لمياه الشرب في ويندهوك، ناميبيا	126
الإطار 16-2	أكبر حالة لإعادة استخدام المياه بشكل عَرَضي للاستهلاك البشري، المكسيك	126
الإطار 16-3	إدارة المياه واستخدام المياه العادمة لا مركزيا: تجربة سان فرانسيسكو، كاليفورنيا	127
الإطار 16-4	استرداد الفوسفور يكتسب زخما	128
الإطار 16-5	استرداد الطاقة والوقود الحيوي من المركَّبات الصلبة الحيوية: النهج الشامل (التشريعي والمالي) لليابان	129
الإطار 16-6	أمثلة على المباني التي يتم تسخينها وتبريدها بالمياه العادمة	129
الإطار 16-7	إجمالي استرداد الطاقة المحتملة لحالات حمأة مياه المجارير التي تشمل الهضم اللاهوائي والتحويل الحراري في زيوريخ، سويسرا	130
الإطار 16-8	المياه العادمة باعتبارها مصدراً للهيدروكربونات عالية القيمة من خلال الطحالب المجهرية	131
الإطار 16-9	سنغافورة نيووتر: حملة تثقيف وتوعية شاملة	135
الإطار 16-10	الآثار الثقافية المترتبة على إعادة استخدام المياه العادمة في الاسترزاع السمكي في الشرق الأوسط	136
الإطار 17-1	الابتكارات في تكنولوجيا المياه العادمة وبحوثها	139
الإطار 17-2	تنفيذ التكنولوجيات المتطورة في المياه العادمة في اليابان	140
الإطار 17-3	نظم المياه العادمة الموزَّعة: بديل عن النظم المركزية	141

الأشكال

الشكل 1	سحب المياه العذبة: الاستهلاك العالمي وإنتاج المياه العادمة حسب القطاع الرئيسي لاستخدام المياه (حوالي عام 2010)	9
الشكل 2	عدد الأشهر في السنة التي يتجاوز فيها حجم المياه السطحية والمياه الجوفية المسحوبة وغير المرتجعة 1.0 درجة على 30 × 30 دقيقة قوسية (1996-2005)*	10
الشكل 3	التغيرات المتوقعة في وتيرة الفيضانات*	11
الشكل 4	التركيزات التقديرية للبكتيريا القولونية البرازية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (شباط/فبراير 2008-2010)*	12
الشكل 5	التركيزات التقديرية للطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية (شباط/فبراير 2008-2010)*	13
الشكل 6	الاتجاه إلى تركيزات الطلب على الأكسجين الكيميائي الحيوي في الأنهار في الفترة بين 1990-1992 و2008-2010*	14
الشكل 1-1	المياه العادمة في دورة المياه	19
الشكل 1-2	تدفقات المياه العادمة	20
الشكل 1-3	تأطير إدارة المياه العادمة من منظور الموارد	22
الشكل 1-2	أهداف التنمية المستدامة	24
الشكل 2-2	النسبة المئوية للمياه العادمة غير المعالجة في عام 2015 في البلدان ذات مستويات الدخل المختلفة والتطلعات لعام 2030 (انخفاض بنسبة 50% عن خط الأساس لعام 2015)	26
الشكل 1-3	المستويات المؤسسية لوضع السياسات والتنفيذ	31
الشكل 2-3	نموذج التدفق المالي لإدارة حمأة الغائط	36
الشكل 1-4	مكونات المياه العادمة وآثارها	41
الشكل 2-4	إطار نفايات البراز لتقدير نسبة خدمات الصرف الصحي والمياه العادمة التي يتم إدارتها بشكل آمن	41
الشكل 3-4	التحولات في مجال الصرف الصحي والتخفيضات المرتبطة بها في أمراض الإسهال	42

الشكل 4-4	نظام إدارة المياه في كمبالا (أوغندا)	44
الشكل 4-5	نظام إدارة المياه في دكا (بنغلاديش)	44
الشكل 5-1	النسبة المئوية للسكان الذين يستخدمون أنواعاً مختلفة من أنظمة الصرف الصحي	51
الشكل 5-2	نسبة سكان الحضر الذين يعيشون في الأحياء الفقيرة من عام 2000 إلى عام 2012	54
الشكل 7-1	التكامل بين الزراعة وتربية الأحياء المائية	75
الشكل 7-1 أ	طريقة الحواجز المتعددة للحد من المخاطر المرتبطة بالاستهلاك على امتداد السلسلة الغذائية، كما هو مطبَّق في الري بالمياه العادمة	79
الشكل 9-1	سكان الحضر والريف (٪ نمو سنوي)، 2013	88
الشكل 9-2	تحديات إدارة المياه المنصرفة من المناطق الحضرية مقابل القدرات المؤسسية والاقتصادية	89
الشكل 11-1	المخطط الفني العام لنيوواتر في سنغافورة	99
الشكل 12-1	التغيرات الحاصلة في معالجة المياه العادمة في مناطق أوروبا في الفترة الممتدة من عام 1980 إلى عام 2012	103
الشكل 14-1	فصل النفايات وخيارات الاستخدام الممكنة	116
الشكل 16-1	إعادة استخدام المياه على الصعيد العالمي بعد المعالَجة المتقدمة (الثالثة): حصة السوق حسب التطبيق	126
الشكل 16-2	سلَّم مقترحات القيمة المتنامية لإعادة الاستخدام مع زيادة الاستثمارات في نوعية المياه أو سلسلة القيمة	134

الجداول

الجدول 1-1	أمثلة على الآثار السلبية للمياه العادمة غير المعالجة على صحة الإنسان والبيئة والأنشطة الإنتاجية	20
الجدول 1-2	مقاصد ومؤشرات الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة	25
الجدول 1-3	الجهات الفاعلة والأدوار والوظائف التي تحكم المياه العادمة	32
الجدول 1-4	مزايا وعيوب أنواع مختارة من نظم معالجة المياه العادمة	40
الجدول 2-4	مزايا وعيوب أنظمة معالجة المياه العادمة المختارة	47
الجدول 1-5	النماذج الحضرية والمياه العادمة، ومسائل الصرف المستدام للمناطق الحضرية	53
الجدول 2-5	تكوين المياه العادمة الخام في بلدان مختارة	55
الجدول 3-5	الملوثات الرئيسية للمياه العادمة، مصدرها وآثارها	55
الجدول 4-5	مواد القائمة الحمراء	56
الجدول 5-5	أمثلة على بيانات المياه العادمة المنصرفة من الصناعات	57
الجدول 1-6	توليد المياه العادمة حسب نوع الصناعة، 2011 (مليون متر مكعب)	62
الجدول 2-6	تصريف المياه العادمة من الصناعات بعد المعالجة (كنسبة مئوية من مجموع التصريفات)، 2007 -2011	63
الجدول 3-6	استهلاك المياه وتصريفها وإعادة تدويرها في الصناعة الكندية، 2011 (مليون متر مكعب)	64
الجدول 4-6	محتوى المياه العادمة النمطية في بعض الصناعات الرئيسية	65
الجدول 1-7	فئات ملوثات المياه الرئيسية من الزراعة والمساهمة النسبية من نظم الإنتاج الزراعي	73
الجدول 1-8	تأثيرات المعازل المشاطئة لضفاف الأنهار ذات الأحجام المختلفة على خفض الرواسب والمواد المغذية الناتجة عن الصرف السطحي من الحقول	81
الجدول 2-8	أمثلة على استخدام المياه العادمة المعالَجة لدعم خدمات النظام الإيكولوجي	83
الجدول 1-10	حجم المياه العادمة المجمَّعة، ومعالجة المياه العادمة واستخدامها (مليون متر مكعب في السنة)، 2013	94
الجدول 1-11	البلدان ذات المستوى الأدنى من معالجة المياه العادمة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ	99
الجدول 1-12	تحديات مختارة وتدابير إدارية في المناطق دون الإقليمية في منطقة لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (غير شاملة)	103
الجدول 1-16	أمثلة على حالات إعادة استخدام المياه مع إمكانات الأعمال	133

مراجع الصور

الملخَّص التنفيذي
ص.1 © Toa55/Shutterstock.com

المقدمة
ص.8 © Punghi/Shu tterstock.com

الفصل الأول
ص. 16 © gameanna/Shutterstock.com

الفصل الثاني
ص.23 © RossHelen/Shutterstock.com

الفصل الثالث
ص.29 © FAO/Matthias Mugisha flickr.com CC BY -NC 2.0

الفصل الرابع
ص.38 © Kletr/Shutterstock.com

الفصل الخامس
ص.50 © AfriramPOE/Shutterstock.com

الفصل السادس
ص.60 © John Kasawa/Shutterstock.com

الفصل السابع
ص.71 © Kosin Sukhum/Shutterstock.com

الفصل الثامن
ص.80 © Lochmueller Group

الفصل التاسع
ص.86 © Nestlé flickr.com CC BY -NC -ND 2.0

الفصل العاشر
ص.93 © ACWUA

الفصل الحادي عشر
ص.97 © Viengsompasong Inthavong/World Bank flickr.com CC BY -NC -ND 2.0

الفصل الثاني عشر
ص.101 © Riccardo Auci/Indissoluble.com flickr.com CC BY -SA 2.0

الفصل الثالث عشر
ص.107 © Caroline Bennett/Rainforest Action Network flickr.com CC BY -NC 2.0

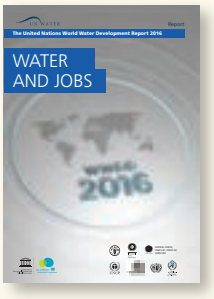
الفصل الرابع عشر
ص.113 © Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) flickr.com CC BY -NC 2.0

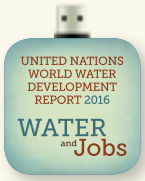
الفصل الخامس عشر
ص.119 © Hans Engbers/Shutterstock.com

الفصل السادس عشر
ص.124 © CTR Photos/Shutterstock.com

الفصل السابع عشر
ص.137 © Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) flickr.com CC BY -NC 2.0

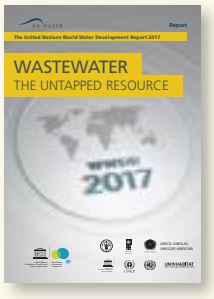
الفصل الثامن عشر
ص.143 © Boris Stroujko/Shutterstock.com





ISBN 978-92-3-100146-8
© UNESCO 2016
166 pages
Price: EUR 45.00

التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2016 بالألوان الكاملة، مع الأطر والأشكال والخرائط والجداول والملاحظات والصور والمراجع وقائمة المختصرات والتسميات المختصرة، فضلاً عن مقدمات بقلم كلّ من الأمين العام للأمم المتحدة بان كي مون، والمديرة العامة لليونسكو إيرينا بوكوفا، ورئيس لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية والمدير العام لمنظمة العمل الدولية غاي رايدر



ISBN 978-92-3-100201-4
© UNESCO 2017
200 pages
Price: EUR 45.00

التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017 بالألوان الكاملة، مع المسرد والأطر والأشكال والخرائط والجداول والملاحظات والصور والمراجع وقائمة الاختصارات والتسميات المختصرة، فضلاً عن مقدمات بقلم كلّ من المديرة العامة لليونسكو إيرينا بوكوفا، ورئيس لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية والمدير العام لمنظمة العمل الدولية غاي رايدر

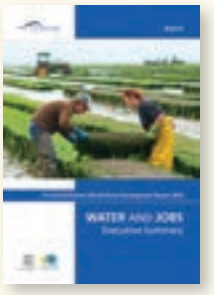
لشراء نسخة مطبوعة من التقرير، يرجى زيارة الموقع التالي: publishing.unesco.org

لطلب قرص مضغوط يحتوي على التقرير والمنشورات المرتبطة به، يرجى مراسلة الموقع التالي: wwap@unesco.org

لتنزيل نسخة من التقرير والمنشورات المترابطة به بصيغة PDF، وطبعات سابقة من التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية والمواد الإعلامية، يرجى زيارة الموقع التالي: www.unesco.org/water/wwap

المحتويات الأساسية على ذاكرة USB: التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017، والملخص التنفيذي بعشر لغات، وحقائق وأرقام بخمس لغات والطبعات السابقة من التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية

منشورات مرتبطة بالتقرير



الملخص التنفيذي للتقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2016

12 صفحة

متوفر باللغات العربية والصينية والإنجليزية والفرنسية والألمانية والإيطالية والكورية والبرتغالية والروسية والإسبانية

حقائق وأرقام من التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2016

12 صفحة

متوفر باللغات الإنجليزية والفرنسية والإسبانية والإيطالية

الملخص التنفيذي للتقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017

12 صفحة

متوفر باللغات العربية والصينية والإنجليزية والفرنسية والألمانية والإيطالية والهندية والبرتغالية والروسية والإسبانية

حقائق وأرقام من التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017

12 صفحة

متوفر باللغات الإنجليزية والفرنسية والإيطالية والبرتغالية والإسبانية

لتنزيل نسخ من هذه الوثائق، يرجى زيارة الموقع التالي: www.unesco.org/water/wwap

لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية هي آلية التنسيق بين الوكالات التابعة لمنظومة الأمم المتحدة فيما يخص القضايا المتعلقة بالمياه العذبة، ومنها قضية الصرف الصحي. وقد أُنْشِئت اللجنة رسمياً في عام 2003 بناء على تاريخ طويل من التعاون في أُسْرة الأمم المتحدة. وتتألف اللجنة من كيانات الأمم المتحدة التي تركز على القضايا المتعلقة بالمياه أو تهتم بها كأعضاء، وكذلك من منظمات أخرى غير تابعة لمنظومة الأمم المتحدة كشركاء.

ويتمثَّل الغرض الرئيسي من إنشاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية في تكميل البرامج والمشاريع القائمة والإسهام فيها عن طريق تيسير أوجه التآزر والجهود المشتركة، من أجل تنسيق العمل وتعزيز الاتساق على أفضل وجه ممكن على نطاق المنظومة. وتسعى اللجنة من خلال ذلك إلى زيادة فعالية الدعم المقدَّم إلى الدول الأعضاء فيما يخص جهودها الرامية إلى التوصل إلى اتفاقات دولية بشأن المياه.

التقارير الدورية

التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية

هو المنشور المرجعي لمنظومة الأمم المتحدة بشأن حالة موارد المياه العذبة. ويأتي هذا التقرير نتيجة للتعاون القوي بين أعضاء وشركاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية وهو يمثِّل الاستجابة المتسقة والمتكاملة لمنظومة الأمم المتحدة فيما يخص قضايا المياه العذبة والتحديات الناشئة. ويتولى البرنامج العالمي لتقييم الموارد المائية تنسيق أمور إعداد وإصدار التقرير، ويتسق موضوعه مع موضوع يوم المياه العالمي (22 آذار/مارس). وفي الفترة الممتدة من عام 2003 إلى عام 2012، كان التقرير يُنشر مرة كل ثلاث سنوات. ومنذ عام 2014، يُنشر التقرير سنوياً لتقديم أحدث المعلومات والبيّنات عن كيفية التصدي للتحديات المتعلقة بالمياه في جميع أنحاء العالم.

- ✓ الآفاق الاستراتيجية
- ✓ حالة الموارد المائية واستخداماتها وإدارتها
- ✓ تقرير عالمي
- ✓ تقييمات إقليمية
- ✓ إصدار كل ثلاث سنوات (2003–2012)
- ✓ إصدار سنوي (منذ عام 2014)
- ✓ يرتبط بموضوع يوم المياه العالمي (22 آذار/مارس)

تقرير لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية عن التحليل العالمي والتقييم العالمي لخدمات الصرف الصحي ومياه الشرب

تتولى منظمة الصحة العالمية إعداد وإصدار هذا التقرير بالنيابة عن لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية. ويقدِّم التقرير تحديثاً شاملاً لأطر السياسات، والترتيبات المؤسسية، وقاعدة الموارد البشرية، وتدفقات التمويل الدولية والوطنية لدعم المساعي المتعلقة بالصرف الصحي ومياه الشرب. وهو مساهمة جوهرية في أنشطة شراكة «الصرف الصحي والمياه للجميع».

- ✓ الآفاق الاستراتيجية
- ✓ إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي
- ✓ تقرير عالمي
- ✓ تقييمات إقليمية
- ✓ إصدار كل سنتين (منذ عام 2008)

التقرير المرحلي لبرنامج الرصد المشترك بين منظمة الصحة العالمية واليونيسف لإمدادات المياه والمرافق الصحية

يرتبط هذا التقرير بلجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية ويعرض نتائج الرصد العالمي للتقدم المُحْرَز بشأن الانتفاع بمياه الشرب المأمونة، والصرف الصحي المناسب والنظافة. ويستند الرصد إلى نتائج الدراسات الاستقصائية للأسر المعيشية وعمليات التعداد التي تدعمها عادة مكاتب الإحصاءات الوطنية وفقاً للمعايير الدولية وتستفيد بصورة متنامية من مجموعات البيانات الإدارية والتنظيمية الوطنية.

- ✓ الأوضاع والاتجاهات
- ✓ إمدادات المياه وخدمات الصرف الصحي
- ✓ تقرير عالمي
- ✓ تقييمات وطنية وإقليمية
- ✓ إصدار كل سنتين (1990–2012)
- ✓ تحديث سنوي (منذ عام 2013)

منشورات لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية المعتزم إصدارها في عام 2018

- تحديث لموجز سياسة لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية بشأن المياه وتغير المناخ
- موجز سياسة لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية بشأن اتفاقيات المياه
- موجز تحليلي للجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية بشأن كفاءة استخدام المياه
- التقرير الجامع عن هدف التنمية المستدامة 6 الخاص بالمياه والصرف الصحي لعام 2018

تستضيف اليونسكو وتدير برنامج الأمم المتحدة العالمي لتقييم الموارد المائية (WWAP). ويجمع هذا البرنامج بين أعمال 31 عضواً في لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية و38 شريكاً من أجل نشر سلسلة تقارير الأمم المتحدة العالمية عن تنمية الموارد المائية (WWDR).

وتركّز التقارير العالمية السنوية عن تنمية الموارد المائية على قضايا المياه الاستراتيجية. ويساهم أعضاء لجنة الأمم المتحدة المعنية بالموارد المائية وشركاؤهم، وجميعهم خبراء في تخصصاتهم، في إعداد التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية عن طريق تزويد القائمين على إعداده بأحدث النتائج بشأن موضوع محدد.

ويركّز التقرير العالمي عن تنمية الموارد المائية لعام 2017 على «المياه العادمة»، ويرمي إلى تزويد أصحاب القرار، في الأوساط المعنية بالمياه والأوساط الأخرى، بمعلومات تبيّن أهمية إدارة المياه العادمة بوصفها مصدراً مستداماً - لا يُقدّر حتى الآن حقّ قدره - للمياه والطاقة والعناصر المغذية وغيرها من المواد الثانوية القابلة للاسترداد، بدلاً من اعتبارها شيئاً يجب التخلص منه أو مصدر إزعاج يجب تجاهله.

ويبيّن عنوان التقرير - المياه العادمة: مورد غير مستغل - الدور الحاسم الذي يمكن أن تؤديه المياه العادمة في ظل "اقتصاد دائري" يفضي إلى التوازن بين التنمية الاقتصادية وحماية الموارد الطبيعية والاستدامة البيئية، واقتصاد أكثر نظافة واستدامة يعود بآثار إيجابية على نوعية المياه. ويُعدّ تحسين إدارة المياه العادمة أمراً حاسماً لتحقيق هدف التنمية المستدامة الخاص بالمياه النظيفة والصرف الصحي (الهدف 6 للتنمية المستدامة)، وكذلك لتحقيق سائر أهداف خطة التنمية المستدامة لعام 2030.

ففي عالم يتزايد فيه الطلب على المياه العذبة تزايداً متواصلاً، ويشتد فيه الضغط على الموارد المائية المحدودة بسبب الاستخراج المفرط والتلوث وتغيّر المناخ، يبدو إغفال الفرص التي يتيحها تحسين إدارة المياه العادمة أمراً لا يمكن فعلاً تصوّره.

أعد هذا المنشور بتمويل من الحكومة الإيطالية ومنطقة أومبريا.

Regione Umbria

مؤسسة سلطان بن عبد العزيز آل سعود الخيرية
Sultan Bin Abdulaziz Al-Saud Foundation

صدر هذا المنشور باللغة العربية بفضل المساهمة السخية التي قدمتها مؤسسة سلطان بن عبد العزيز آل سعود الخيرية - المملكة العربية السعودية.

9 789236 000725