اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

تنمية قدرات البلدان الأعضاء في الإسكوا على معالجة الترابط بين المياه والطاقة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة

مجموعة أدوات تشغيلية للترابط بين المياه والطاقة
وحدة كفاءة الموارد

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

تنمية قدرات البلدان الأعضاء في الإسكوا على معالجة الترابط بين المياه والطاقة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة

مجموعة أدوات تشغيلية للترابط بين المياه والطاقة
وحدة كفاءة الموارد

الأمم المتحدة
بيروت

© 2017 الأمم المتحدة
جميع الحقوق محفوظة عالمياً

طلبات (إعادة) طبع مقتطفات من المطبوعة أو تصويرها توجَّه إلى لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح، صندوق بريد: 8575-11، بيروت، لبنان.

جميع الطلبات الأخرى المتعلقة بالحقوق والتراخيص ولا سيما الحقوق الثانوية توجَّه أيضاً إلى الإسكوا.

البريد الإلكتروني: publications-escwa@un.org؛ الموقع الإلكتروني: www.escwa.un.org

مطبوعة للأمم المتحدة صادرة عن الإسكوا.

ليس في التسميات المستخدمة في هذا المنشور، ولا في طريقة عرض مادته، ما يتضمن التعبير عن أي رأي كان للأمانة العامة للأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلد، أو إقليم، أو مدينة، أو منطقة، أو بشأن سلطات أي منها، أو بشأن تعيين تخومها أو حدودها.

لا يعني ذكر أسماء ومنتجات تجارية أن الأمم المتحدة تدعمها.

جرى تدقيق المراجع حيثما أمكن.

المقصود بالدولار دولار الولايات المتحدة الأمريكية، ما لم يُشَر إلى خلاف ذلك.

تتألف رموز وثائق الأمم المتحدة من حروف وأرقام باللغة الإنكليزية ويعني إيراد أحد هذه الرموز الإحالة إلى إحدى وثائق الأمم المتحدة.

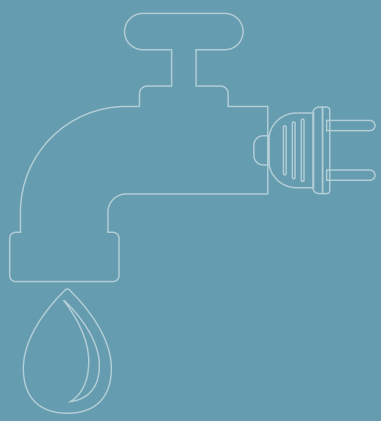
إن الآراء الواردة في هذه المادة الفنية هي آراء المؤلفين، وليست بالضرورة آراء الأمانة العامة للأمم المتحدة.

E/ESCWA/SDPD/2016/TOOLKIT.1

17-00044

شكر وتقدير

أعدّ وحدة الأدوات التشغيلية للترابط بين المياه والطاقة «كفاءة الموارد» الدكتور حسن عرفات، الأستاذ في دائرة الهندسة الكيماوية والبيئية في معهد مصدر للعلوم والتكنولوجيا، والاستشارية المستقلة الدكتورة سناء بيراني. وراجع الوحدة قسم موارد الطاقة والمياه في شعبة سياسات التنمية المستدامة في الإسكوا في بيروت. وقام بتحديد الموضوعات التي تناولتها الوحدة بصورة مشتركة أعضاء لجنة الطاقة وأعضاء لجنة المياه في الإسكوا.



المحتويات

المقدمة	9
تكنولوجيات تحسين كفاءة استخدام المياه	16
تقنيات لتحسين كفاءة الطاقة	38
مؤشرات أداء رئيسية للترابط بين المياه والطاقة	55
الكفاءة - تحسين التقنيات: منظور مالي	66
الاستنتاجات والتوصيات	69

المرفق	70
الحواشي	82
المراجع	83

قائمة الجداول

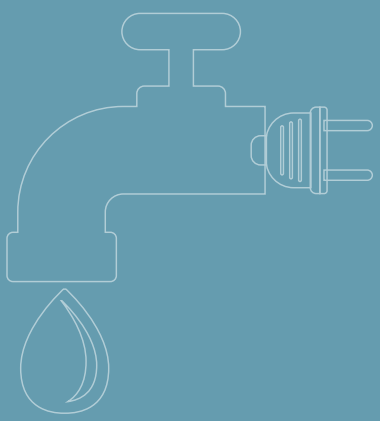
الجدول 1. البلدان الـ 33 التي ستعاني أفدح إجهاد مائي في العالم بحلول عام 2040	12
الجدول 2. الاستعمال النهائي للمياه المعاد تدويرها والحد الأدنى من المعالجة اللازمة	17
الجدول 3. معاملات المياه في إنتاج الطاقة الأولية	19
الجدول 4. مقايضات نظم التبريد	21
الجدول 5. سحب واستهلاك المياه لتبريد محطة طاقة (غالونات المياه اللازمة لكل ميغاواط/ساعة من الكهرباء المنتجة)	22
الجدول 6. المياه اللازمة لتقنيات استخلاص النفط المختلفة وتقييم استخلاصها	26
الجدول 7. محدودية تقنيات الاستخلاص المُعزّز للنفط المختلفة	27
الجدول 8. منافع ومساوئ ممارسات الإدماج	28
الجدول 9. إمكانات التقنيات الموفرة للطاقة والمياه المتوفرة للقطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسات	30
الجدول 10. عمليات النظام الذكي للقياس	37
الجدول 11. فرص إدارة الطاقة في صناعات المياه والمياه العادمة	38
الجدول 12. استهلاك الكهرباء بالكيلوواط ساعة للمتر المكعب لمعالجة المياه العادمة حسب حجم المحطة ونوع المعالجة.	40
الجدول 13. الطاقة المستهلكة نموذجيا لسعات محطات وعمليات معالجة للمياه العادمة مختلفة	40
الجدول 14. كثافة طاقة معالجة المياه المُعاد تدويرها والاستعمالات النهائية للمياه المُعاد تدويرها.	41
الجدول 15. استراتيجيات كفاءة الطاقة لمحطات المياه ومحطات معالجة المياه العادمة في البلديات	42
الجدول 16. أفضل الممارسات في إدارة الطاقة في مجالي المياه والمياه العادمة	43
الجدول 17. طرق تجهيز وتصريف الجوامد	45

الجدول 18. إجمالي استهلاك الطاقة السنوي لنظام سعته مليون غالون في اليوم نموذجي، بما في ذلك المتطلبات الكهربائية والمتطلبات من الوقود	46
الجدول 19. ملخص الوفور المحتملة من خلال استخدام أفضل الممارسات في محطات معالجة المياه العادمة	47
الجدول 20. ملخص لإمكانات استرداد الطاقة باستخدام التكنولوجيات القائمة	47
الجدول 21. مقارنة بين تقنيات تحلية المياه المختلفة	50
الجدول 22. استراتيجيات لتوفير الطاقة عن طريق خفض النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية بأغشية مرتفعة الإنتاجية	53
الجدول 23. المقاصد والمؤشرات المتعلقة بالهدف 6 وكفاءة المياه	57
الجدول 24. مؤشرات كفاءة الطاقة	60
الجدول 25. مؤشرات ممكنة لتتبع ترابط الطاقة والمياه على المستوى القطري في أنحاء العالم	64
الجدول 26. وفور طاقة وفترات استرداد نموذجية لأفضل الممارسات في قطاع المياه والمياه العادمة	66
الجدول 27. تكاليف استهلاك الطاقة والمياه (متوسط القيم) لعمليات تحلية تجارية كبيرة	68
الجدول ألف. 1 مزايا وعيوب تقنيات معالجة المياه المختلفة وقابليتها للتطبيق في صناعة النفط والغاز	70
الجدول ألف. 2 وصف أفضل الممارسات العامة في إدارة الطاقة: تطبيقات المحركات ذات التردد المتغير	74
الجدول ألف. 3 وصف أفضل ممارسات إدارة الطاقة في مجال المياه العادمة	75

قائمة الأشكال

الشكل 1. الترابط بين المياه والطاقة	10
الشكل 2. النسبة المئوية في منتصف السنة للسكان المقيمين في المدن في البلدان الأعضاء في الإسكوا، في الفترة 1950-2050	11
الشكل 3. الطلب غير المُلبى على المياه في عدد من البلدان الأعضاء في الإسكوا (نسبة مئوية)	13
الشكل 4. بعض فضاءات التحديات/الفرص النموذجية في استخدام المياه لإنتاج الطاقة	14
الشكل 5. بعض فضاءات التحديات/الفرص النموذجية في استخدام الطاقة لأغراض المياه وانتاج الطاقة من المياه	15
الشكل 6. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج الطاقة	18
الشكل 7. الثغرات في تلبية طلب محطات توليد الطاقة الحرارية للمياه في ظل ظروف انخفاض الدفق	18
الشكل 8. رسم بياني لنظامي تبريد مختلفين	20
الشكل 9. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج النفط	24
الشكل 10. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج الغاز الطبيعي	25
الشكل 11. الاستعمالات النهائية للمياه في أنواع المرافق التجارية والمؤسسات المختلفة	29
الشكل 12. ملامح النقاوة المستخدمة كجزء من تحليل التقليل من استهلاك الطاقة في العمليات الكيمائية pinch analysis	33

الشكل 13. رسم تخطيطي لنظام إعادة تدوير المياه الرمادية	34
الشكل 14. تسلسل هرمي لاستراتيجيات كفاءة المياه	35
الشكل 15. النسبة المئوية لتوزيع نموذجي لاستهلاك الطاقة في نظام مياه عادمة (نسبة مئوية)	39
الشكل 16. العمليات والمعدات شائعة الاستخدام في معالجة المياه العادمة	44
الشكل 17. تكاليف دورة الحياة لنظم ضخ غير كفؤة مقابل نظم ضخ كفؤة (نسبة مئوية)،	49
الشكل 18. التسلسل الهرمي لمؤشرات الطاقة للوكالة الدولية للطاقة	63



مقدمة

كجزء من جهودها الرامية إلى مساعدة البلدان الأعضاء على إيجاد نهج متكامل لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، تقوم الإسكوا بتنفيذ مشروع مموّل من حساب الأمم المتحدة للتنمية هدفه تنمية قدرات الدول الأعضاء على تفحص وتناول الترابط بين المياه والطاقة.

وتستخدم الإسكوا لهذا الغرض مسارين متوازيين ومتكاملين. المسار الأول موجه إلى تدريب مسؤولين رفيعي المستوى في وزارات المياه والطاقة على كيفية إدراج إطار الترابط في السياسات والاستراتيجيات على المستويين الوطني والإقليمي بواسطة مجموعة أدوات إقليمية. ويتألف هذا المسار من سبع وحدات على أساس أولويات تحددت خلال الاجتماع التشاوري الحكومي في عام 2012. وقد صادقت لجنتا الإسكوا للطاقة والموارد المائية على الأولويات السبع التالية:

1. التوعية وزيادة المعرفة؛
2. زيادة الاتساق بين السياسات؛
3. فحص الترابط بين أمن المياه وأمن الطاقة؛
4. زيادة الكفاءة؛
5. إلقاء الضوء على الخيارات التكنولوجية؛
6. الترويج للطاقة المتجددة؛
7. التصدي لتغير المناخ والكوارث الطبيعية.

أما المسار الثاني فهو موجه إلى مقدمي خدمات المياه والطاقة، وذلك عن طريق ثلاثة تدخلات فنية تتناولها مجموعة أدوات تشغيلية تتألف من الوحدات الثلاث التالية كل منها قائمة بذاتها:

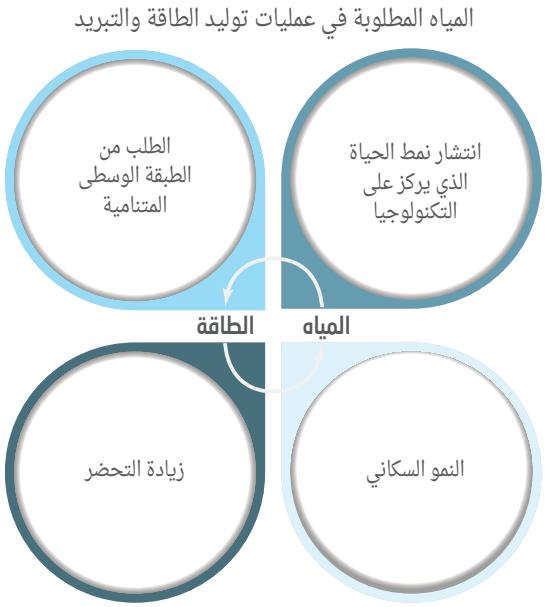
أ. كفاءة الموارد: تحسين الكفاءة أثناء إنتاج واستهلاك موارد وخدمات المياه والطاقة؛
ب. نقل التكنولوجيا: أخذ الماء والطاقة بالاعتبار عند السعي إلى نقل التكنولوجيات الجديدة على الصعيد الإقليمي؛
ج. الطاقة المتجددة: تقييم التكاليف والمنافع المتعلقة بتطبيق تكنولوجيات الطاقة المتجددة في المنطقة.

وسيبحث كلٌّ من الوحدات الثلاث في واحدة من ثلاث ورشات عمل فنية إقليمية ستجمع معاً مشاركين يضطلعون بنشاطات متشابهة في قطاعات مختلفة.

معلومات أساسية

من ناحية، يشير الترابط بين المياه والطاقة إلى العلاقة بين المياه المستخدمة لإنتاج الطاقة، باعتبارها من الموارد المتجددة لإنتاج الطاقة الكهرمائية، وعملية توليد الطاقة/الكهرباء بحد ذاتها. على أنه، من ناحية أخرى، يشير إلى الطاقة المستهلكة في استخراج أنواع مختلفة من المياه (مثلاً مياه الشرب والمياه العادمة) ومعالجتها وتوزيعها وتصريفها. (الشكل 1). ولكن يجدر إيضاح أن هذا النظام ليس عموماً دائرة مغلقة. فمثلاً، قد لا تذهب المياه المعالجة باستخدام الطاقة بالضرورة للمساعدة في عملية إنتاج الطاقة، بل يمكن بدلاً من ذلك استخدامها كمصدر لمياه الشرب في الأسر المعيشية. مع ذلك، المياه مترابطة إلى حد ما مع توليد الطاقة واستخدامها.

الشكل 1. الترابط بين المياه والطاقة



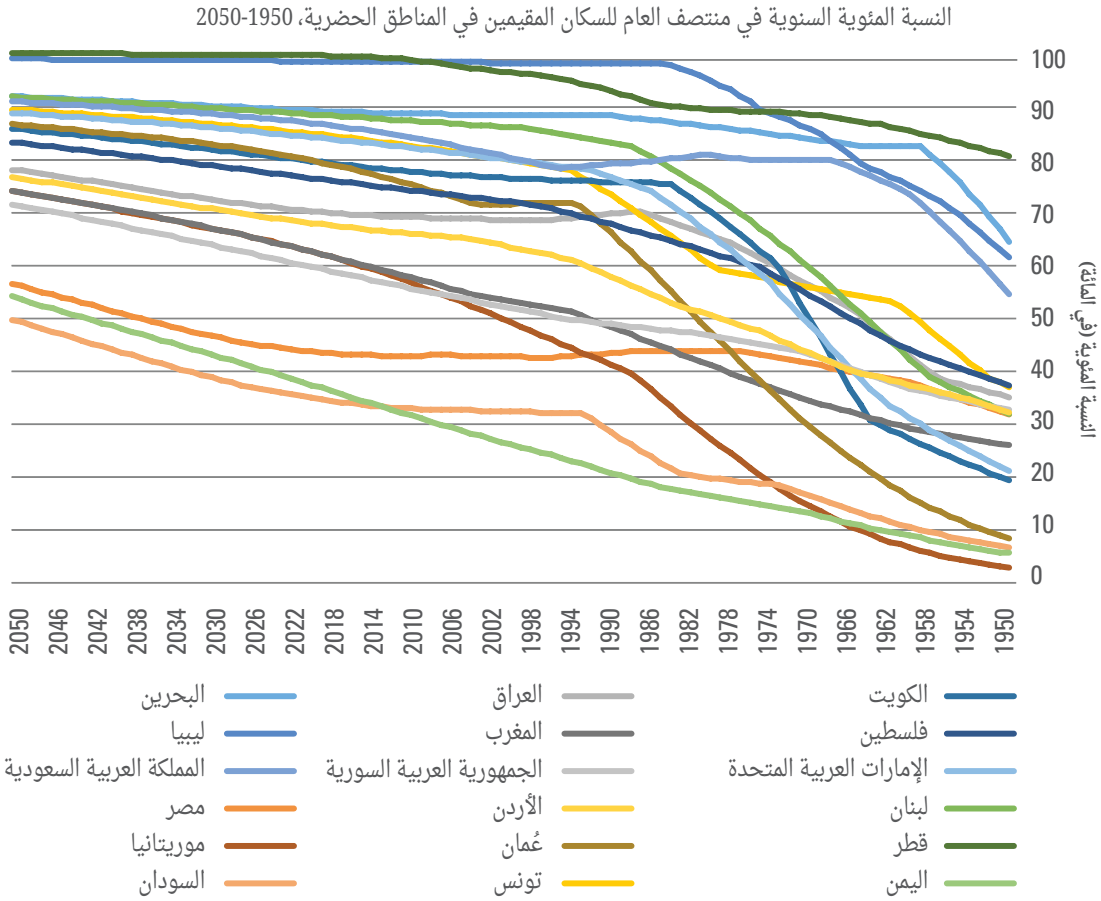
المصدر: إعداد المؤلفين

وقد حظي موضوع الترابط بين المياه والطاقة باهتمام كبير في السنوات الأخيرة، لا سيما وأن الناس يتوقعون تنمية لا محدودة في عالم محدود الموارد، ولذلك تداعيات خطيرة على موارد المياه والطاقة في عالمنا، ومن هنا ينبع الترابط بين المياه والطاقة. ويبين الشكل 1 بعض العوامل (تظهر في خانات خضراء) المؤدية إلى زيادة الطلب على المياه والطاقة. وتنطبق هذه العوامل على النطاق العالمي. فمثلاً، يعني النمو السكاني تنامي الطلب على الموارد.

على مدى السنوات الأربعين المقبلة، يتوقع أن «تستوعب» الأنحاء المدينية، خاصة في العالم النامي، «النمو السكاني كله»[1]. وعلاوة على ذلك، سيتركز معظم النمو السكاني المتوقع في هذه الأنحاء في مدن وبلدات المناطق الأقل نموا. وتولّد هذه الأعداد الكبيرة من السكان في مثل هذه المناطق الصغيرة في كوكبنا الكثير من الضغوط على موارد المياه والطاقة. فمثلاً، من المعروف أن التجمعات السكانية في المدن مصدر رئيسي للتلوث؛ وإذا اجتمعت المياه العادمة والنفايات الصناعية غير المعالجة معاً، فإنها يمكن أن تشكّل حتى خطراً أكبر[2].
وتتطلب معالجة المياه الملوثة على هذا النحو عمليات تستخدم الطاقة استخداماً أكثف، ما يضيف تعقيدات إلى الترابط بين المياه والطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن أسلوب الحياة المديني يؤدي إلى زيادة استهلاك الأغذية التي يتطلب انتاجها مياهاً كثيرة،[3] فيما يعتمد سكان المدن في الغالب على كيانات خارجية للحصول على مواردهم[4]. وتؤثر هذه التغييرات على نقل وتوزيع موارد المياه والطاقة، ما يؤدي أيضاً إلى زيادة التعقيدات التي يواجهها الترابط بين المياه والطاقة. وقد اعتبر تقرير صدر في عام 2015 أن التوسع المديني عامل مؤثر في مسائل من مثل «فشل البنية التحتية الحاسمة الأهمية» وأزمات المياه[5]. ويرتبط التوسع المديني بصعود الطبقة المتوسطة، التي يشكّل نمو دخلها عموماً دافعاً قوياً للطلب على موارد من مثل المياه والطاقة.

وتسير مستويات الدخل المتنامية هذه أيضاً جنباً إلى جنب مع زيادة إمكان الحصول على التكنولوجيا والتفاعل معها، في البلدان النامية أيضا. وقد أصبحت الإنترنت والتكنولوجيا المحمولة بسرعة جزءاً ثابتاً من الحياة

الشكل 2. النسبة المئوية في منتصف السنة للسكان المقيمين في المدن في البلدان الأعضاء في الإسكوا، في الفترة 1950-2050



المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من UNDESA, Population Division, 2014.

اليومية لكثير من الناس في البلدان النامية؛ كما أصبحت الهواتف المحمولة منتشرة في كل مكان تقريباً في العديد من البلدان[6]. ويعني هذا الانتشار المتزايد للتكنولوجيا تنامي الطلب على الكهرباء، وبالتالي تنامي الطلب على الموارد المائية مرة أخرى.

ولا شك في أن ما ذكر أعلاه ينطبق كله على البلدان الأعضاء في الإسكوا التي تواجه بالفعل معدلات توسع عمراني سريعة التزايد، كما يتضح من الشكل 2 الذي يبين التغيير في النسبة المئوية السنوية في منتصف السنة للسكان المقيمين في المدن في البلدان الأعضاء في الإسكوا من عام 1950 إلى عام 2050. ويشير عدد السكان في منتصف السنة إلى «المتوسط الحسابي لعدد السكان في 1 كانون الثاني/يناير وفي 31 كانون الأول/ديسمبر لسنة معينة» ويستخدم في حساب المعدلات السنوية[7]. ويتوقع أن تصل النسبة المئوية في منتصف السنة للسكان المقيمين في المدن لجميع البلدان الأعضاء في الإسكوا إلى قيمة متوسطة تبلغ 80 في المائة بحلول عام 2050 (في الوقت الراهن 75 في المائة من السكان في معظم البلدان من سكان المدن فعلا). وبعبارة أخرى، بحلول عام 2050، سيصل عدد سكان المدن في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وحدها إلى ما يقرب من 560 مليون نسمة[8].

الجدول 1. البلدان الـ 33 التي ستعاني أفدح إجهاد مائي في العالم بحلول عام 2040

المرتبة	الاسم	الدرجة (كافة القطاعات)
1	البحرين	5.00
1	الكويت	5.00
1	قطر	5.00
1	سان مارينو	5.00
1	سنغافورة	5.00
1	الإمارات العربية المتحدة	5.00
1	دولة فلسطين	5.00
8	إسرائيل	5.00
9	المملكة العربية السعودية	4.99
10	عُمان	4.97
11	لبنان	4.97
12	قيرغيزستان	4.93
13	إيران	4.91
14	الأردن	4.86
15	ليبيا	4.77
16	اليمن	4.74
17	مكيدونا	4.70
18	أذربيجان	4.69
19	المغرب	4.68
20	كازاخستان	4.66
21	العراق	4.66
22	أرمينيا	4.60
23	باكستان	4.48
24	شيلي	4.45
25	الجمهورية العربية السورية	4.44
26	تركمانستان	4.30
27	تركيا	4.27
28	اليونان	4.23
29	أوزبكستان	4.19
30	الجزائر	4.17
31	أفغانستان	4.12
32	إسبانيا	4.07
33	تونس	4.06

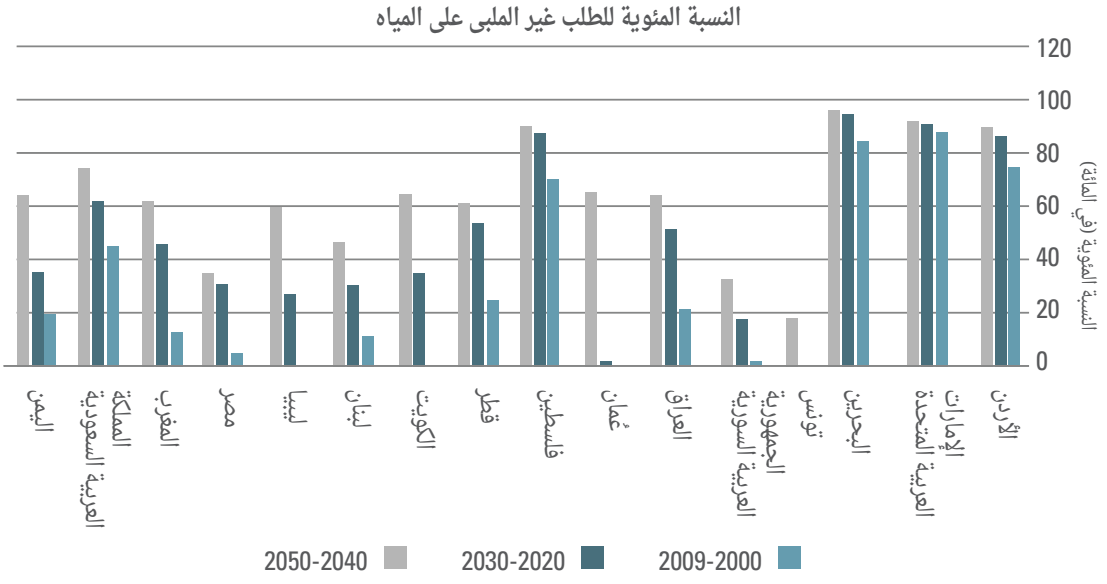
ملاحظة: "5.00" أعلى درجة إجهاد ممكنة.
المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Maddocks, Young and Reig, 2015.

وعلى نحو مشابه، الطلب على المياه والطاقة في البلدان الأعضاء في الإسكوا مرتفع جداً، بالإضافة أن الموارد المائية في هذه البلدان شحيحة. ويتوقع أن يزداد الوضع سوءاً مع ارتفاع مستويات الطلب، إذ يتوقع أن يزداد نقص المياه في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بحوالي 43 كلم مكعب في السنة من الفترة (2001-2010) إلى الفترة (2041-2050)، حتى في ظل أفضل السيناريوهات المناخية الممكنة[9]. ويبين الجدول 1 القائمة المتوقعة للبلدان الـ 33 التي ستعاني أفدح إجهاد مائي بحلول عام 2040. ويعرّف الإجهاد المائي على أنه "نسبة المجموع السنوي للمياه المسحوبة إلى مجموع الإمدادات السنوية المتوفرة من المياه المتجددة"[10]. وخمسة من بين أول ثمانية بلدان على هذه القائمة هي من البلدان الأعضاء في الإسكوا؛ كما تضم القائمة 15 من البلدان الأعضاء في الإسكوا (مظللة في الجدول 1) التي يبلغ عددها 18.

ويدعم الشكل 3 نتائج الجدول 1 الذي يبين كلاً من المستويين الفعلي والمتوقع للطلب غير المُلبى على المياه في بعض البلدان الأعضاء في الإسكوا. وقد تم الحصول على القيم المتوقعة كنتيجة إلى نموذج إسقاط إحصائي لمتوسط المناخ[11]. ويتبين أن النسبة المئوية للطلب غير المُلبى في جميع البلدان آخذة في الارتفاع باطراد. وفيما يتعلق بمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ككل، يمكن أن يعزى هذا الارتفاع في الطلب غير الملبى من الفترة 2001-2010 حتى الفترة 2041 -2050 إلى زيادة الطلب بحوالي 50 في المائة مقابل زيادة الإمدادات بنسبة 12 في المائة فقط (وفقاً لنموذج إسقاط إحصائي لمتوسط المناخ)[12]. وفي بعض الحالات، مثل حالة عُمان، يتوقع أن يكون الارتفاع في الطلب غير المُلبى شديدا. وفيما يتعلق بترابط المياه والطاقة مع تغير المناخ، تعني زيادة استخدام المياه زيادة الطلب على الطاقة، ما يؤدي إلى زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، التي تؤدي بدورها إلى ارتفاع درجات حرارة الأرض وبالتالي إلى زيادة استعمال المياه، وهكذا تستمر الحلقة المفرغة.

ومن حيث استهلاك الطاقة، يتوقع أن تشهد بلدان مجلس التعاون الخليجي، مثلاً، زيادة في استهلاك الطاقة تفوق 200 في المائة من عام 2000 إلى عام 2020[13]. وبالإضافة إلى ذلك، يتوقع بحلول عام 2040 أن يرتفع إجمالي استهلاك الطاقة في الشرق الأوسط إلى 61.8 كالدريون وحدة حرارية بريطانية وفي أفريقيا إلى 44.0 كالدريون وحدة حرارية بريطانية. وتمثل هذه القيم زيادة في متوسط النسبة المئوية السنوية لاستهلاك الطاقة

الشكل 3. الطلب غير المُلبى على المياه في عدد من البلدان الأعضاء في الإسكوا (نسبة مئوية)



المصدر: أعدّ بالاستناد إلى بيانات من Immerzeel et al., 2011.

قدرها 2.4 في المائة في الشرق الأوسط و2.6 في المائة في أفريقيا. وهاتان القيمتان أعلى بكثير من متوسط نسبة الزيادة السنوية المتوقعة في استهلاك الطاقة في العالم للفترة نفسها، التي لا تتعدى 1.4 في المائة فقط[14]. لذا، تشير هذه الزيادة الأكبر في استهلاك الطاقة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، بالمقارنة مع القيم المقابلة في مناطق أخرى من العالم، إلى مدى أهمية تحسين كفاءة الطاقة في بلدان الإسكوا.

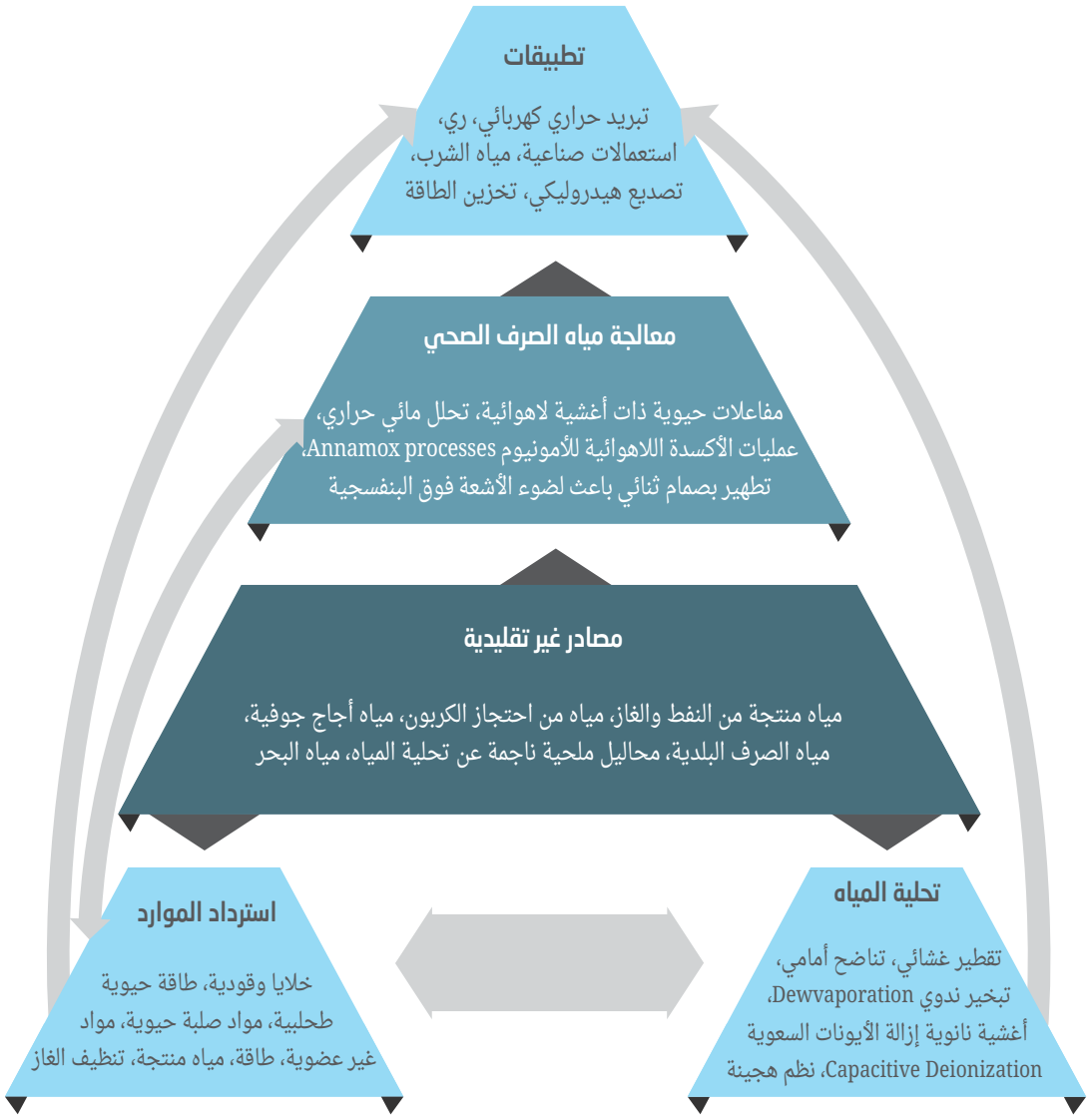
هكذا، كفاءة المياه والطاقة شرط أساسي لضمان أن تنعم البلدان الأعضاء في الإسكوا بمستقبل للمياه والطاقة آمن. ويعتبر البعض أن الأمن المائي في منطقة الشرق الأوسط هو الأدنى بين مناطق العالم[15]. وفي ظل ظواهر كالاحترار العالمي وتغير المناخ لا يمكن بالتأكيد أن يتحسّن هذا الوضع وحده. وعلاوة على ذلك، عند النظر في مجالي المياه والطاقة، يتبين أن ضمان أمن أحدهما مرهون بضمان أمن الآخر. ولا بد من العمل على تحقيق كفاءة المياه وكفاءة الطاقة بصورة متزامنة من خلال اعتماد نهج شمولي يقوم على الترابط بين المياه والطاقة.

بيّن الشكل 1 الترابط بين المياه والطاقة. لكن هذا الترابط يشمل مواضيع فرعية عدة يرد بعضها بالتفصيل في الشكلين 4 و5. ويبين الشكل 4 فضاءات التحديات/الفرص التي تُواجه لدى استخدام المياه لإنتاج الطاقة، بينما يبين الشكل 5 فضاءات التحديات/الفرص التي تُواجه في قضايا الطاقة لأغراض المياه وتلك الناجمة عن المياه. وقد جمعت هذه الفضاءات حسب أنواع التكنولوجيات المختلفة (الشكل 4) وأنواع العمليات المختلفة (الشكل 5). ولا تقتصر الاستراتيجيات التي يعرضها الشكلان 4 و5 على معالجة التكنولوجيات/العمليات التي يجري فعلاً تنفيذها على نطاق واسع في قطاعي المياه والطاقة العالميين، بل تتضمن أيضاً تكنولوجيات لا تزال في مراحل التطبيق التجاري الأولى. وتركز مجموعة الأدوات هذه أساساً على أفضل التكنولوجيات المثبتة لما لها من أهمية للبلدان الأعضاء في الإسكوا بسبب الظروف المناخية التي تواجهها والصناعات التي تميل إلى تبنيها عادة.

الشكل 4. بعض فضاءات التحديات/الفرص النموذجية في استخدام المياه لإنتاج الطاقة

المصدر: أعدّ بالاستناد إلى بيانات من Bauer et al., 2014.

الشكل 5. بعض فضاءات التحديات/الفرص النموذجية في استخدام الطاقة لأغراض المياه وانتاج الطاقة من المياه



المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Bauer et al., 2014.

الأهداف

الهدف الرئيسي لمجموعة الأدوات هذه هو تعزيز قدرة البلدان الأعضاء في الإسكوا على تحقيق الإدارة المتكاملة والمستدامة لموارد المياه والطاقة، وبالتالي المساهمة في تحقيق التنمية المستدامة، وهي تركّز على تحسين القدرات التقنية للمسؤولين الحكوميين الذين يديرون توفير المياه أو خدمات الطاقة أو يشرفون عليها في البلدان الأعضاء في الإسكوا، فتوفر لهم استراتيجيات تكنولوجية يمكنهم بها إدماج اعتبارات ترابط المياه والطاقة في عملياتهم وأنشطتهم ومشاريعهم.

وعلى الرغم من أن الترابط محكوم من خلال استجابة مؤسسية أو سياساتية،[16] فإن تنفيذه يعتمد على تدخلات تقنية، يمكن أن تؤدي إلى استخدام للعمليات والموارد أكفأ وأفعل[17]. ولن يمكن تنفيذ هذه التكنولوجيات بنجاح

Ain Beni Mathar Integrated Thermo Solar Combined Cycle Power Plant, Morocco © Philippe Roos - https://www.flickr.com

إلا عبر الحصول على معلومات شاملة عن الخيارات التكنولوجية المتوفرة كي يتسنى اتخاذ قرارات أكثر استنارة. وتهدف مجموعة الأدوات هذه إلى تقديم هذه المعلومات.

كما تهدف مجموعة الأدوات إلى المساعدة على تنمية قدرات التبادل والتعاون عبر التخصصات على أساس لغة مشتركة ومجموعة أدوات تقييم وتقنيات ومؤشرات لمتابعة تحقيق كفاءة استخدام الموارد على المستوى التشغيلي، مثلاً أثناء تخطيط الاستثمار وتشغيل وصيانة مرافق المياه والطاقة وخطط الري. وهي تتضمن خطوطاً إرشادية تتوجه إلى الكيانات المسؤولة عن خدمات المياه والطاقة، وتستعرض وتعزز إجراءات جمع البيانات المناسبة لرصد إنتاج الطاقة والمياه. وتستند هذه النتائج والتحليلات جميعها إلى إحصاءات استهلاك تعكس دورات المياه والطاقة. ونتيجة ذلك، تصف مجموعة الأدوات مؤشرات الأداء الرئيسية المستخدمة في صناعتي المياه والطاقة. ففي نهاية المطاف، الإحصاءات التي تقوم على رصد أنماط الاستهلاك وعلى التحليل الناجم عن استخدام مؤشرات محددة هي التي تمكّن التخطيط الطويل الأجل وتحقيق إدارة أكفأ للموارد الطبيعية الوطنية. ولكي يكون هذا التخطيط فعّالا، ينبغي أن تكون البيانات والإحصاءات التي تُجمع كافية لتعزيز القدرات التحليلية، فتيسّر صنع السياسات وتقييمها على أساس الأدلة في المجالات المترابطة للمياه والطاقة. من هنا، تسعى مجموعة الأدوات هذه إلى تقديم خطوات يمكن اتباعها لضمان متانة إجراءات جمع البيانات ورصدها.

تكنولوجيات تحسين كفاءة استخدام المياه

عند النظر في استراتيجيات تحسين كفاءة المياه، يمكن عموماً تصنيف النهج الذي يُنفّذ إلى فئتين: الأولى تركّز على استخدام تقنيات أكفأ، بينما تركّز الثانية على إعادة استعمال المياه بحيث يتم التوصل إلى بصمة أصغر حتى مع الكفاءة المعتادة للعمليات. ولا بد من الإشارة هنا إلى أن هناك فارقاً ما بين معالجة المياه وبين إعادة استعمالها. فمعالجة المياه تضمن إمكان إعادة المياه الناتجة إلى البيئة. أما في حالة إعادة استعمال المياه، فينبغي تنقية المياه المعالجة إلى مستوى يُمكّن من استعمالها في الصناعة والزراعة، بل وحتى كمياه شرب[18]. ويبين الجدول 2 القطاعات المختلفة التي يمكن أن يعاد فيها استعمال المياه، إلى جانب نوع الاستعمال الخاص في كل قطاع. ويبين الجدول أيضاً معالجة المياه اللازمة لكل فئة من فئات إعادة الاستعمال. وكلما كان مجال الاستعمال أكثر حساسية/أهمية، كلما كانت المعالجة المطلوبة أكثر دقة كي يمكن الحصول على منتج أنقى.

الجدول 2. الاستعمال النهائي للمياه المعاد تدويرها والحد الأدنى من المعالجة اللازمة

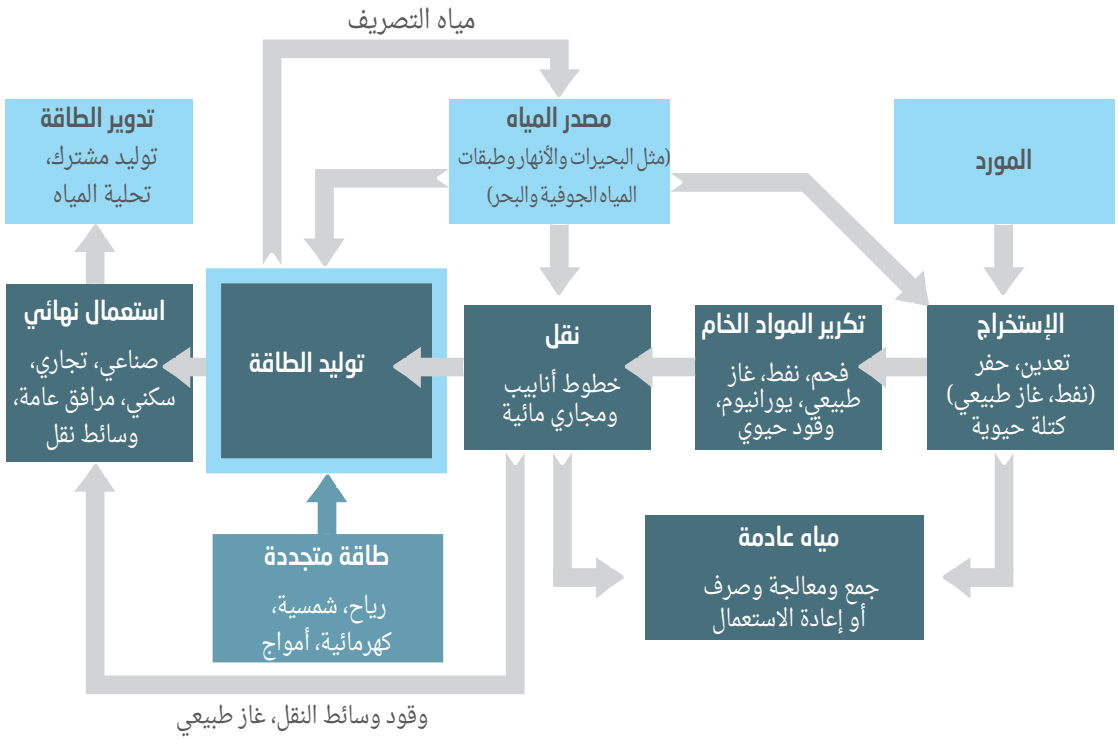
فئة إعادة الاستعمال	الوصف	المعالجة
إعادة الاستعمال في المناطق المدينية	غير مقيدة	ثانوية، ترشيح، تطهير
	مقيدة	ثانوية، ترشيح
إعادة الاستعمال في القطاع الزراعي	محاصيل غذائية	ثانوية، ترشيح، تطهير
	محاصيل غذائية مجهزة	ثانوية، تطهير
	محاصيل غير غذائية	ثانوية، تطهير
خزانات	غير مقيدة	ثانوية، ترشيح، تطهير
	مقيدة	ثانوية، تطهير
إعادة استعمال بيئية	تهيئة أراض رطبة، تعزيز أراض رطبة طبيعية، تغذية جدول للحفاظ على الدفق	ثانوية، ترشيح
إعادة استعمال في القطاع الصناعي	تبريد دون إعادة تدوير	ثانوية
	أبراج تبريد مع إعادة تدوير	ثانوية، تطهير (قد تكون هناك حاجة إلى التخثير والترشيح)
	استخدام صناعي رفيع الجودة	ثانوية، ترشيح، معالجة مياه صرف صحي متطورة، تطهير
تغذية المياه الجوفية	إعادة استخدام المياه لغير الشرب، نشر	أولية
	إعادة استخدام المياه لغير الشرب، حقن	ثانوية، معالجة تربة طبقة المياه الجوفية
إعادة استعمال المياه غير المباشرة للشرب	تغذية المياه الجوفية، نشر	ثانوية، ترشيح، تطهير
	تغذية المياه الجوفية، حقن	ثانوية، ترشيح، معالجة مياه صرف صحي متطورة، تطهير
	زيادة إمدادات المياه السطحية	ثانوية، ترشيح، معالجة مياه صرف صحي متطورة، تطهير

المصدر: أعدّ استناداً لبيانات من Water in the West, 2013.

كفاءة استخدام المياه في سير عمليات إنتاج الكهرباء

يعرض الشكل 6 رسماً تخطيطياً انسيابياً لكيفية استخدام المياه في عملية إنتاج الكهرباء. ومن الواضح أن المياه لازمة كجزء من كل خطوة من خطوات العملية تقريبا، وشرط توفر المياه هذا أساسي لجميع أنواع الوقود التقليدية. ولإيضاح مدى العلاقة بين استخدام المياه وإنتاج الكهرباء، تبين بعض الإحصاءات العالمية أن الماء يُستخدم بكثافة في 90 في المائة من عمليات توليد الطاقة وفي ثلاثة أرباع كافة عمليات سحب المياه الصناعية لإنتاج الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، يُنتج 80 في المائة من الطاقة العالمية بتوليد الطاقة الحرارية، وهذه مسؤولة عن 50 في المائة من كافة عمليات سحب المياه في الولايات المتحدة وفي عدد من البلدان الأوروبية[19]. وفي الواقع، يمثل إنتاج الطاقة ثاني أكبر استخدام للمياه (بعد الزراعة) ويتوقع أن يستمر في التزايد على مدى الأعوام الـ 15-20 المقبلة[20]. ونتيجة لذلك، يمكن تحقيق مكاسب كثيرة بتحسين كفاءة استخدام المياه في قطاع الطاقة. وينطبق ذلك بشكل خاص على البلدان الأعضاء في الإسكوا حيث يعني تحسين كفاءة المياه زيادة القدرة على تلبية الطلب على المياه.

الشكل 6. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج الطاقة



المصدر: Water in the West, 2013

الشكل 7. الثغرات في تلبية طلب محطات توليد الطاقة الحرارية للمياه في ظل ظروف انخفاض الدفق

ملاحظة: تشير النقاط الخضراء إلى قيمة 0.5 - 1.0 لنسبة استهلاك مياه التبريد إلى مستوى Q90 ، في حين تشير النقاط الحمراء إلى نسبة تفوق 1.0.
المصدر: Stockholm Environment Institute (SEI), 2011.

يوضح الشكل 7 أين لا تمكن تلبية متطلبات محطات توليد الطاقة الحرارية من المياه في ظل ظروف انخفاض الدفق. وتعرّف ظروف الدفق المنخفض بالإشارة إلى مستوى Q90، وهذا هو «الدفق الستاتيكي الذي يمثل الدفق اليومي الذي يُعادل أو يُتجاوز 90 في المائة من الوقت. ويمكن استخدامه لتحديد الموارد المتوفرة في أوقات انخفاض الدفق أو الجفاف»[21]. وفي الشكل 7، حددت الفجوة بنسبة استهلاك مياه التبريد إلى مستوى Q90 وتشير النقاط الخضراء إلى نسبة 0.5-1.0 في حين تشير النقاط الحمراء إلى نسبة تفوق 1.0، التي تدل على أن الطلب لا تمكن تلبيته. ويكفي إلقاء نظرة، ولو عابرة، على الشكل 7 لرؤية عدد النقاط الحمراء الكبير في منطقة الإسكوا، ما يشير إلى ضخامة التحديات التي تواجهها محطات توليد الطاقة الحرارية في المنطقة، ويتوقع أن تسوء الحالة بمرور الوقت ما لم تستخدم أساليب أحدث وأمثل لتحسين كفاءة المياه.

اعتبرت المياه في الماضي مورداً منخفض التكلفة لمرافق إنتاج الكهرباء واستعملت دون كفاءة. ولكن، نتيجة ارتفاع معايير وتكاليف معالجة المياه العادمة وارتفاع تكاليف الموارد المائية إذ تصبح أندر في العديد من المناطق، ارتفعت درجة الوعي وأخذ يتزايد باطراد اتباع نهج استباقي عندما يتعلق الأمر بكفاءة استعمال المياه. ويبين الجدول 3 كمية المياه اللازمة في عمليات إنتاج الطاقة من مواردها التقليدية. ويتألف إنتاج النفط الخام مما قد يصل إلى ثلاث مراحل مختلفة: مرحلة الاستخلاص الأولي، وتشمل استخدام الضغط الطبيعي للخزان أو الجاذبية لدفع النفط ليدخل في ثقب الحَفر (الثقب المحفور في البئر)، إلى جانب تقنيات الرفع الاصطناعية (مثل المضخات) التي تساعد على إيصال النفط إلى السطح؛ ومرحلة الاستخلاص الثانوي، حيث يُحقن الماء أو الغاز في الأرض ليحلّ محل النفط ويدفعه إلى ثقب الحفر؛ والمرحلة الثالثة، المعروفة أيضاً باسم مرحلة الاستخلاص المُعزّز، وتشمل استخدام تقنيات إضافية لاستخراج المزيد من النفط. ويقوم الاستخلاص الأولي باستخراج 10 في المائة فقط من موارد حقول النفط، والاستخلاص الثانوي 20-40 في المائة والاستخلاص المُعزّز للنفط 30-60 في المائة[22]. أما بالنسبة للقار، فيستخدم بشكل مشابه الصرف بفعل الجاذبية بمساعدة البخار وتحفيز البخار الدوري لتحقيق استخلاص مُعزّز للنفط. ومن الواضح أن الاحتياجات من المياه تتزايد في مراحل استخلاص النفط المتعاقبة.

الجدول 3. معاملات المياه في إنتاج الطاقة الأولية

مصدر الطاقة		معامل المياه متر مكعب/تيراجول (m3/TJ)
نفط خام	استخلاص أولي	6
	استخلاص ثانوي	600
قار	تعدين	26
	صرف بفعل الجاذبية بمساعدة البخار في الموقع	8
	تحفيز البخار الدوري في الموقع	14
	تقنيات متعددة في الموقع	32
زيت ثقيل		14
سوائل غاز طبيعي		6
فحم-إلى-سوائل		53

المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Xylem, 2014.

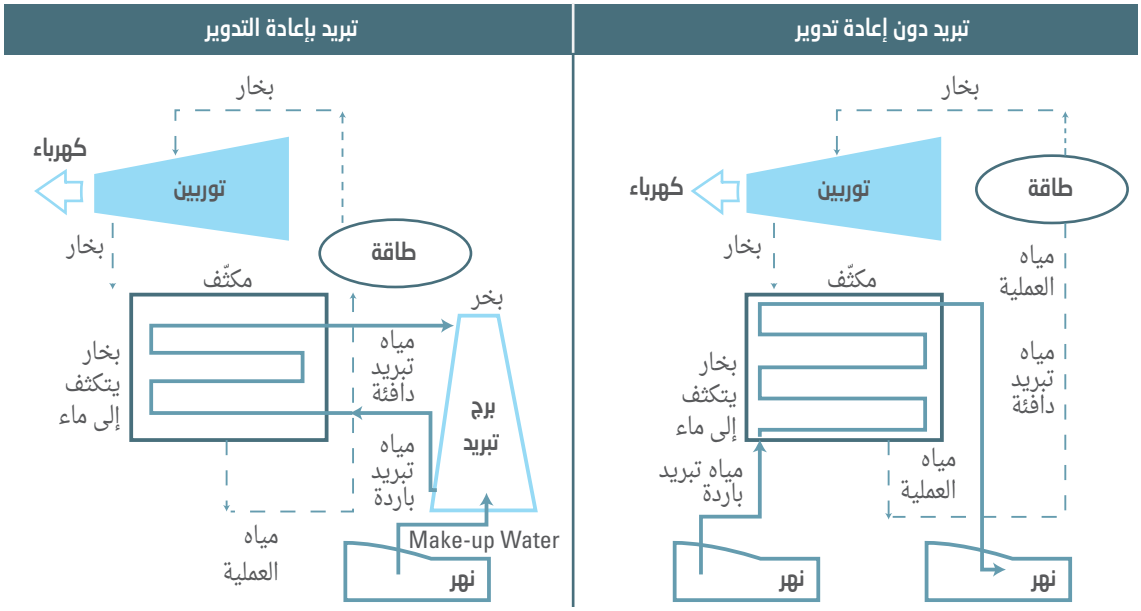
كفاءة المياه وعمليات التبريد

من بين الاستعمالات المختلفة للمياه في محطات الطاقة، يتطلب التبريد القدر الأكبر. وتبعاً لمطبوعة عن استخدام المياه الخام في محطات الوقود الأحفوري المختلفة، تتراوح نسبة المياه المستخدمة لأغراض التبريد من 79 إلى 99 في المائة من إجمالي استعمال المياه؛ وتُستخدم المياه المتبقية لاستعمالات من مثل مناولة الرماد وفي المرطّبات والمكثفات وإزالة الكبريت من غاز المداخن في محطات الاحتراق-البخار.[23] ونتيجة لذلك، ولجعل عملية إنتاج الكهرباء أكفأ مائياً، ينبغي تحسين إجراءات التبريد.

هناك أنواع من التبريد مختلفة، على نحو ما يرد في الجدولين 4 و5. ويبين الشكل 8 اثنين من نظم التبريد هذه. ويعرف نظام التبريد ذي الحلقة المغلقة أيضاً باسم نظام إعادة التدوير. وبرج التبريد الرطب هو نوع من نظم التبريد بإعادة التدوير يستخدم عادة في محطات الطاقة. ويبين الجدول 4 تأثير كل من نظم التبريد هذه حسب عوامل مختلفة مثل استعمال المياه والتكاليف. ويصف الجدول 5 بالأرقام أثر استعمال المياه المذكورة في الجدول 4 لأنواع مختلفة من محطات الطاقة. ومن المهم الإشارة إلى الفرق بين سحب المياه واستهلاك المياه. فسحب المياه يشير إلى كمية المياه التي تأخذها محطة الطاقة من مصدر المياه (المحيط، طبقة المياه الجوفية، وغيرها من المصادر)، بينما يشير الاستهلاك إلى المياه التي تُفقد من المياه المسحوبة، عادة بسبب البخر كجزء من عملية التبريد. ونتيجة لذلك، فإن المياه التي يعاد تصريفها إلى مصدر المياه هي الفرق بين المياه المسحوبة والمياه المستهلكة[24].

وكما يتضح من الجدول 4، نظام التبريد دون إعادة التدوير مكثّف من حيث المياه التي يسحبها، لكنه معتدل من حيث المياه التي يستهلكها، والعكس صحيح في حالة نظام إعادة التدوير. ومع ذلك، إذا نظرنا إلى القيم العددية في الجدول 5، من الواضح أنه حتى عندما يستهلك نظام إعادة التدوير كمية مياه كبيرة، فإن كثافة الاستهلاك لا تشكّل

الشكل 8. رسم بياني لنظامي تبريد مختلفين



المصدر: Kohli and Frenken, 2011.

إلا جزءاً ضئيلاً من كثافة المياه التي تسحبها المحطة ذاتها لدى استخدام نظام دون إعادة تدوير. ومن الواضح أن نظام التبريد الجاف الذي يستخدم الهواء بدلاً من المياه وسيط تبريد هو الأكثر كفاءة بقدر ما يتعلق الأمر باستعمال المياه، لكن كلفته الرأسمالية مرتفعة، ما يقلل من الكفاءة الإجمالية للمحطة ويشكل تحدياً أمام تبنيه على نطاق واسع. وبُغية زيادة الكفاءة المائية لعملية إنتاج الكهرباء، ينبغي أن يكون نظام التبريد الجاف الخيار الأول، اما الخيار الثاني فهو إعادة التدوير والخيار الثالث هو نظام التبريد دون إعادة تدوير. ولكن ينبغي أن يأخذ النظام الذي يُختار لمحطة معينة بالاعتبار اللوائح التنظيمية والظروف المحيطة المحلية والاقتصاد المحلي.

الجدول 4. مقايضات نظم التبريد

نوع التبريد	الوصف	سحب المياه	استهلاك المياه	التكلفة الرأسمالية	كفاءة المحطة	الأثر البيئي
دون إعادة تدوير	يأخذ مياه من مصادر قريبة، ويوزعها بالأنابيب لامتصاص الحرارة من البخار في نظم تدعى مكثّفات، ويصّرف المياه التي أصبحت أدفأ إلى المصدر المحلي	مكثّف	معتدل	متدنية	الأكثر كفاءة	مكثّف
أبراج التبريد الرطب	يعرف أيضاً باسم نظام إعادة التدوير الرطب أو نظم الحلقة المغلقة. وتعيد هذه النظم استعمال مياه التبريد فورا بدل تصريفها. وتستخدم عادة أبراج تبريد لتعريض المياه إلى الهواء المحيط. ويتبخر بعض المياه وتعاد البقية إلى المكثفات في محطة الطاقة.	معتدل	مكثّف	معتدلة	كفوء	معتدل
التبريد الجاف	يتحقق طرد الحرارة النهائي إلى البيئة بمعدات تبريد الهواء التي تصرّف الحرارة مباشرة إلى الغلاف الجوي بواسطة تسخين الهواء.	لا شيء	لا شيء	عالية	أقل كفاءة	متدني

المصدر: أعدّ ستنادا إلى بيانات من Electric Power Research Institute (EPRI)، 2002؛ Rodriguez Rodriguez et al., 2013؛ Union of Concerned Scientists (بدون تاريخ).

الجدول 5. سحب واستهلاك المياه لتبريد محطة طاقة (غالونات المياه اللازمة لكل ميغاواط/ساعة من الكهرباء المنتجة)

	دون إعادة تدوير		إعادة تدوير		تبريد جاف	
	سحب	استهلاك	سحب	استهلاك	سحب	استهلاك
فحم (تقليدية)	20,000-50,000	100-317	500-1,200	480-1,100	لا شيء	لا شيء
غاز طبيعي (دورة مختلطة)	7,500-20,000	20-100	150-283	130-300	0-4	0-4
نووية	25,000-60,000	100-400	800-2,600	600-800	لا شيء	لا شيء

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Union of Concerned Scientists; Macknick et al 2012 (بدون تاريخ).

زيادة كفاءة استخدام المياه من خلال تخفيض الحرارة المُبدّدة

يُخفّض تقليل الحرارة المتبدّدة متطلبات محطة الطاقة من التبريد وبالتالي متطلباتها من المياه. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تحسين كفاءة مكونات نظام محطة الطاقة وإعادة استخدام بعض الحرارة التي لولا ذلك لكانت ستتبدّد، وذلك عن طريق تشغيل محطات الطاقة إلى جانب نظم أخرى يمكن أن تستخدم الحرارة المتبددة، كما في الأمثلة الثلاثة التالية:

محطات الطاقة وتحلية المياه المشتركة: تستطيع هذه المحطات إنتاج الكهرباء ومياه الشرب في وقت واحد، وهي تُعرف أيضاً بمحطات تحلية المياه المختلطة. فعن طريق إدماج الإنتاج الكهربائي الحراري مع تحلية المياه، تستطيع هذه المحطات تحسين الكفاءة وخفض تكاليف الطاقة المرتبطة بعملية تحلية المياه[25]. والواقع أن هذا أمر هام، فمن المعروف أن عمليات تحلية المياه تعتمد على الاستخدام الكثيف للطاقة أكثر من عمليات معالجة المياه التقليدية. وتستخدم الحرارة المُبدّدة من محطة الطاقة مصدراً للحرارة لعملية تحلية المياه، وهي عادة عملية تقطير ومضي متعدد المراحل (تقطر مياه البحر بومضها في البخار في مراحل عدة)[26]. وهذا النظام أكثر كفاءة من محطة طاقة قائمة بذاتها ومن محطة تحلية مياه بتقطير ومضي متعدد المراحل قائمة بذاتها. لكن أحد العيوب التقليدية للمحطات المشتركة، إلى جانب التكلفة الرأسمالية الكبيرة، هو تفاوت الطلب على المياه والكهرباء الذي يتغير أيضاً حسب الموسم. فمثلاً، خلال فصل الشتاء، يمكن أن يقلّ الطلب على الكهرباء، في حين قد يظل الطلب على المياه نفسه تقريبا. وفي مثل هذه الحالة، تنخفض في نهاية المطاف كفاءة المحطة. مع ذلك، يمكن أن توفر المحطات المشتركة حلاً جيداً لمنطقة الإسكوا، التي تعاني من الجفاف إلى حد ما على مدار السنة[27]. ويزعم بعض الدراسات أن هذه المحطات هي الأكثر فعالية تكلفة في تلبية الاحتياجات من المياه والكهرباء في المناطق الصحراوية.[28] ولكن في الآونة الأخيرة، أصبحت هذه المحطات المختلطة أقل جاذبية، بسبب انتشار عمليات تحلية المياه الموفّرة للطاقة مثل عمليات التناضح العكسي. وبالإضافة إلى ذلك، تتيح إزالة اقتران إنتاج الكهرباء بإنتاج المياه إدخال أشكال من الطاقة المتجددة، فضلاً عن الطاقة النووية، في مزيج الطاقة في المنطقة[29].

محطات التوليد المشترك للحرارة والطاقة: تأخذ هذه المحطات الحرارة الناتجة عن عملية توليد الكهرباء لتستخدمها لتدفئة المدن بمياه ساخنة أو بالبخار، بدلاً من تبديدها. ويؤدي ذلك إلى انخفاض كبير في احتياجات

المحطة من مياه التبريد، ما يساعد على زيادة الكفاءة الكلية. ويمكن تشغيل هذه المحطات بأي نوع من أنواع الوقود، لكن فعاليتها تتراوح حسب نوع الوقود المُستخدم. وكما هو الحال مع محطات الطاقة وتحلية المياه المشتركة، يمكن أن تحقق محطات التوليد المشترك للحرارة والطاقة كفاءة تصل إلى 90 في المائة. ومن مزاياها اعتمادها على مزيج من التقنيات التي تُستخدم بالفعل على نطاق واسع في المنشآت التجارية على الصعيد العالمي. ولكي تحقق أعلى كفاءة ممكنة، من المهم أن تكون قرب موقع الطلب على الحرارة والكهرباء المولدتين، فيحول ذلك دون فقدان الحرارة أثناء نقلها الذي يمكن أن يؤدي خلاف ذلك إلى انخفاضات كبيرة في الكفاءة الكلية. هكذا، تنحو محطات التوليد المشترك للحرارة والطاقة إلى أن تكون مناسبة كمصادر لامركزية للطاقة، رغم أنها تستتبع قدراً أكبر من النفقات الرأسمالية (مقارنة بمحطات الطاقة التقليدية)، لكنها أكثر اقتصادية على المدى الطويل بسبب وفور الطاقة التي تحققها، رغم أن فترة استرداد التكاليف تميل إلى أن تكون طويلة جداً. وأخيراً وليس آخرا، تضيف تلبية متطلبات الحرارة والطاقة في وقت واحد من محطة واحدة مزيداً من التعقيد إلى عملية التوليد.[30] ومن بين البلدان الأعضاء في الإسكوا، تستخدم المملكة العربية السعودية بالفعل محطات توليد مشترك: فهناك وحدات توليد مشترك في كل من محطات الجميعة والعثمانية وشدقم للغاز، كما يجري بناء محطات توليد مشترك في مرافق الغاز في ابقيق والحوية ورأس تنورة[31]. ونتيجة لهذه المشاريع، يتوقع أن تبلغ سعة الطاقة 6,500 ميغاواط في عام 2016[32].

زيادة كفاءة المياه باستعمال مصادر مياه بديلة

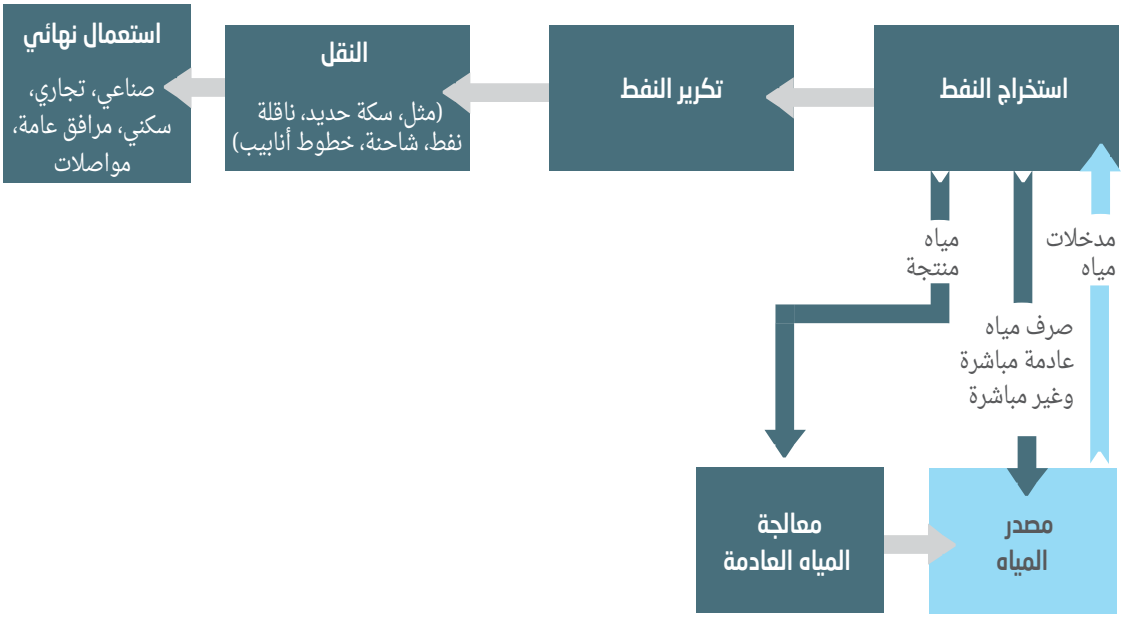
تعتمد استراتيجية زيادة كفاءة المياه هذه على النقاط المذكورة أعلاه فيما يتعلق بإعادة استعمال المياه كما على استعمال أنواع جديدة تماما من المياه، ما يساعد على التقليل من الاعتماد على موارد المياه العذبة. فمثلاً، يمكن استعمال مصادر المياه غير العذبة مثل النفايات السائلة المالحة من طبقة المياه الجوفية كمياه تبريد في محطات الطاقة الحرارية.[33] غير أن استعمال هذه المصادر المائية البديلة يتوقف على نوعية المياه ومصدر موقعها (مثلاً، ينبغي أن يكون موقع محطة توليد الطاقة على الساحل إذا كان لا بد من استعمال مياه البحر).

وفيما يتعلق بإعادة استعمال المياه، يمكن استعمال المياه العادمة المُعالجة كبديل لتبريد المياه في محطات توليد الطاقة الحرارية. ومع ذلك، وقبل أن يصبح ذلك ممكناً، تنبغي إزالة الملوثات من المياه العادمة على نحو مرضٍ كي لا تلحق الضرر بنظام التبريد بأي شكل من الأشكال (مثلاً، من خلال التّحات). وينبغي تنفيذ هذه الإجراءات وفقا للأنظمة المحلية، ما يؤدي في كثير من الأحيان إلى زيادة التكاليف. ولأن العديد من البلدان يطلب إعادة معالجة المياه التي تصرّفها محطات الطاقة المائية حتى تصل إلى مستويات المعالجة الثانوية على الأقل، فإن إعادة معالجة نفس المياه لتصل إلى مستويات إعادة الاستعمال لأغراض التبريد لن يؤدي إلى خفض للتكلفة كبير. ولأن المياه العادمة متوفرة بكميات كبيرة في معظم الأماكن، وخاصة في المدن الكبيرة، فإن المياه العادمة المعالجة مصدر للتبريد موثوق. وهي لذلك تستعمل حالياً لهذا الغرض في أكثر من خمسين محطة توليد للطاقة في الولايات المتحدة، بما في ذلك أكبر محطة نووية في البلاد، هي باولو فيردي في أريزونا، التي لا تستخدم لتلبية متطلبات التبريد غير المياه العادمة[34]. وتتوفر إمكانية استعمال المياه العادمة المُعالجة في بلدان الإسكوا أيضا. فمثلاً لدى محطة اللؤلؤ لتسييل الغاز في قطر، وهي أكبر مصدر لمنتجات الغاز المسيّل في العالم، محطة لإعادة تدوير المياه هي الأكبر من نوعها. وهي تعالج المياه التي تُستعمل بعد ذلك لأغراض التبريد وفي إنتاج البخار. ويحول ذلك دون تصريف أية سوائل من المحطة[35].

دراسة حالة: صناعة النفط والغاز

صناعة النفط والغاز جزء هام جداً من الاقتصاد في كثير من البلدان العربية. فسبعة من البلدان الأعضاء في الإسكوا هي أعضاء في منظمة البلدان المصدرة للنفط (الأوبك) ولديها الجزء الأكبر من احتياطيات النفط الخام المثبتة[36]. وكذلك الأمر في مجال الصادرات، ففي عام 2014، شكّلت صادرات البلدان العربية من النفط الخام

الشكل 9. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج النفط

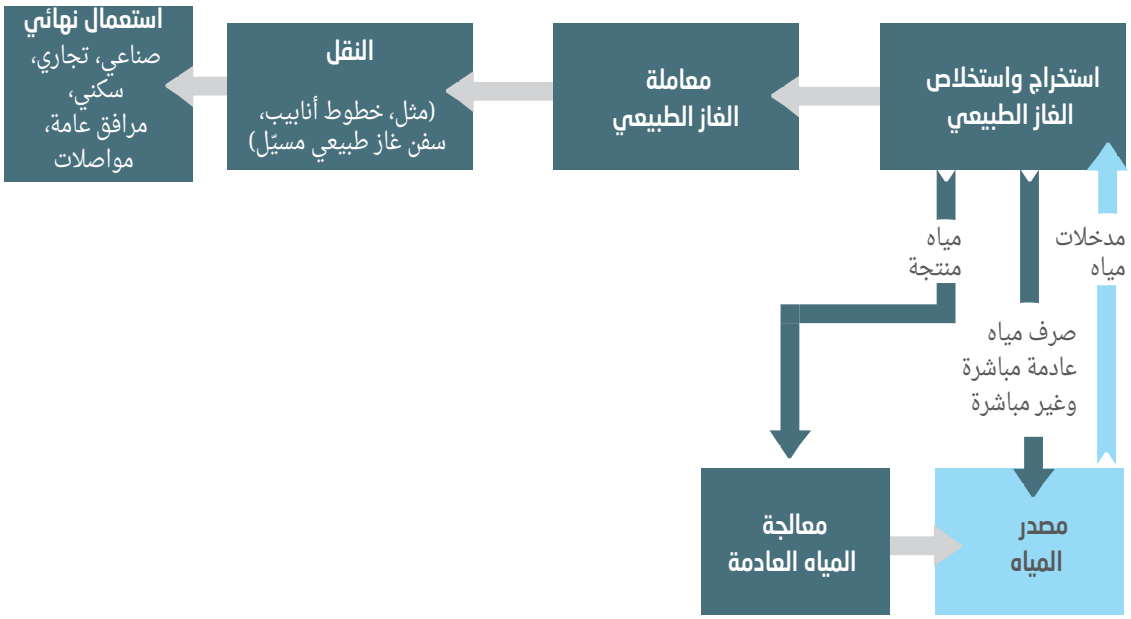


المصدر: Water in the West, 2013.

أكثر من 40 في المائة من الصادرات العالمية وشكّلت صادرات الغاز الطبيعي حوالي 20 في المائة من الصادرات العالمية[37,38]. ونتيجة لذلك، وعلى الرغم من أن البلدان المصدرة للنفط والغاز في منطقة الإسكوا تبذل جهوداً لتنويع اقتصاداتها، شكّلت في عام 2012 صادرات بلدان مجلس التعاون الخليجي من النفط الخام والغاز الطبيعي 48.0 من ناتجها المحلي الإجمالي في حين شكّلت البتروكيماويات 2.9 في المائة[39]. وبالإضافة إلى ذلك، وبسبب الانخفاض الكبير في أسعار النفط في الآونة الأخيرة، تضررت البلدان المنتجة للنفط في منطقة الإسكوا إلى حد كبير. ومع ذلك، وكما ذكر السيد أمين ناصر، الرئيس التنفيذي الأول لشركة أرامكو السعودية، مؤخراً في المؤتمر والمعرض الفني السنوي لجمعية مهندسي البترول في دبي، «على مدى السنوات القادمة، ستظل المكانة المركزية للنفط، وعلى وجه الخصوص في النقل الثقيل والمواد الأولية لتصنيع البتروكيماويات، متينة ومركزية»[40]. وفي الواقع، لا زال قطاع النفط والغاز في منطقة الخليج يتوسع، إلى جانب تزايد مشاريع البتروكيماويات[41]. ويتوقع، وفقاً لتقرير الشركة العربية للاستثمارات البترولية، أن يصل التوسع في الاستثمار في الطاقة إلى 900 مليار دولار بحلول عام 2021[42]. هكذا، أهمية صناعة النفط والغاز لمنطقة الإسكوا واضحة كل الوضوح. وقد ذكر السيد أمين ناصر أيضا أنه ينبغي على الصناعة أن تتعلم كيفية التعامل مع الأوقات العصيبة تعاملاً أفضل من منظور مالي، بينما تواصل في الوقت نفسه تحسين الكفاءة. وتسعى مجموعة الأدوات هذه إلى تيسير تحسين الكفاءات[43].

تُستخدم المياه في المراحل الأولى لاستكشاف وإنتاج النفط والغاز لأغراض من مثل حقن الآبار واسترداد النفط الخام والغاز[44]. وفي الواقع، قد تكون السوائل التي أساسها الماء ضرورية في مرحلتي حفر الثقب والتحفيز. وخلال حفر البئر الفعلي، تستخدم السوائل التي أساسها الماء لإجراءات مختلفة، بما في ذلك «تشحيم ريشة الحفر، وإخراج قطوع الحفر من الثُقب، واحتواء سوائل التشكيل (الجيولوجي) وتيسير تشغيل أدوات تقييم التشكيل المتطورة»[45]. ويشمل الجزء المتعلق بالمراحل النهائية لصناعة النفط والغاز العمليات المتصلة بالتكرير وإنتاج البتروكيماويات وتُستخدم المياه أساسا لتزويد المراجل ودوائر التبريد ولبعض عمليات تكرير النفط[46]. وكمثال على استخدام المياه للحفر (أحد مجالات الاستعمال الرئيسية للمياه في إنتاج النفط إلى جانب التكرير) يُستخدم في الولايات المتحدة في المتوسط 77,000 غالون ماء لحفر الآبار العمودية إضافة إلى 310,000 غالون

الشكل 10. رسم تخطيطي انسيابي لاستخدام المياه في إنتاج الغاز الطبيعي



المصدر: Water in the West, 2013.

للتصديع الهيدروليكي للبئر، في حين يستخدم لحفر الآبار الأفقية في المتوسط 130,000 غالون إضافة إلى 2,700,000 غالون للتصديع الهيدروليكي[47].

يسيّل الغاز الطبيعي عادة لخفض حجمه، وبالتالي تيسير نقله وتخزينه على شكل غاز طبيعي مسيّل. وكجزء من عملية التسييل، تستهلك المياه أساساً لعملية التبريد في محطات التسييل وللتسخين بإعادة التبخير في محطات استقبال الغاز الطبيعي المسيّل (حيث يعاد تحويل الغاز الطبيعي المسيّل إلى غاز). وقد تؤدي هذه العمليات إلى تصريف كميات كبيرة من المياه[48]. كذلك يتطلب النظام الأميني المياه لإزالة ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الغاز الأولي. ولهذا الغرض ينبغي أن يكون جزء من احتياجات محطة الغاز الطبيعي المسيّل من المياه مياهاً تستوفي معايير محددة من حيث النظافة والتكوين الكيميائي[49]. وعلى الرغم من أن معدلات استهلاك المياه لهذه العمليات قد تتفاوت تفاوتا كبيرا،[50] يبلغ المعيار القياسي المحدد للنُظم التي تستخدم مبخرات مفتوحة الرف تستعمل بدورها مياه البحر لتسخين وتبخير الغاز الطبيعي المسيّل 30,000 متر مكعب من المياه في الساعة[51]. وذلك أمر له أهميته للبلدان العربية التي تستخدم، بسبب ظروف الجفاف، مياه البحر بشكل رئيسي لتلبية احتياجاتها من الماء. وبما أن الكميات اللازمة من المياه في محطات/عمليات الغاز الطبيعي المسيّل تغذي في المقام الأول نظم التسخين والتبريد خاصة فيما يتعلق بدورات التبريد وفي بعض الأحيان دورات الطاقة،[52] يفترض أن تكون تدابير تحسين كفاءات المياه مشابهة لما في عمليات النفط والغاز الأخرى التي تكون كميات المياه اللازمة للتبريد فيها كبيرة أيضا.

ويبين الشكلان 9 و10 تسلسل العمليات أثناء إنتاج النفط والغاز الطبيعي، على التوالي، ويشملان معلومات حول استخدام المياه في مختلف مراحل العمليات، ويدعمان ما سبق ذكره أعلاه. وفي حين يوضح الشكل 6 كثافة استخدام المياه في إنتاج الكهرباء، يثبت الشكلان 9 و10 أن إنتاج الكهرباء باستخدام النفط أو الغاز الطبيعي وقوداً يعتمد هو أيضاً على المياه اعتماداً كثيفا.

ويتم الحصول على موارد النفط والغاز من خلال عملية أخرى هي عملية التصديع الهيدروليكي، وفيها يوجه خليط من المياه تحت ضغط عالٍ إلى الصخر الزيتي لإطلاق النفط والغاز الذي يتضمنه. وقد أثار التصديع الهيدروليكي، مع تزايد استخدامه مؤخراً، الكثير من الجدل بسبب ما يتطلبه من مياه زادت التنافس على المياه في بعض أكثر المناطق معاناة لشح المياه في الولايات المتحدة[53]. ورغم أن هذه العملية تستعمل بالتأكيد المياه استعمالاً أكثف بالمقارنة مع استخدام موارد طاقة أخرى كالفحم ومع الاسترداد الأولي للنفط، إلاّ أنها ليست دائماً الخيار الأكثر استهلاكاً للمياه؛ فكمية المياه اللازمة لها قد تتفاوت تفاوتاً كبيراً من نوع صخر زيتي لآخر ومن بئر لآخر[54]. ومن بين البلدان العربية، لدى تونس ومصر والمملكة العربية السعودية والأردن خطط لاستخراج الغاز من الصخر الزيتي، بينما شرعت بلدان أخرى، كعمان والجزائر، بالفعل عمليات تصديع هيدروليكي[55,56,57].

يمكن تحسين كفاءة استعمال المياه في صناعة النفط والغاز بتحسين إدارة المياه والمياه العادمة. فاستخدام الشاحنات لنقل المياه بين مواقع مختلفة، كمواقع الاستخراج وآبار المياه العادمة، قد يفتقد إلى الكفاءة من ناحية التكاليف والسلامة ومن الناحية البيئية. ويمكن تحسين هذه العمليات باستخدام خطوط أنابيب والمُعالجة في الموقع وإعادة استعمال المياه العادمة والمياه المُنتجة. ويتوقف الاختيار ما بين إعادة استعمال المياه المنتجة أو حقنها أو تصريفها على عوامل مختلفة مثل الجيولوجيا والموقع ونُضج الحقل والتقنيات المتوفرة والاقتصادات ذات الصلة وحتى على العوامل البيئية والاجتماعية. وبالمثل يعتمد اختيار تكنولوجيا معالجة المياه على عوامل عديدة. ويوفر الجدول ألف 1 في المرفق مرجعاً شاملاً لمزايا وعيوب تقنيات معالجة المياه المختلفة ومدى انطباقها في صناعة النفط والغاز.

وحالما تبدأ محطة معيّنة بإعادة استخدام المياه المنتجة، يجري تيسير العمليات من خلال، مثلاً، تنفيذ نظم المراقبة والتحكم عن بعد التي تمكّن التحكم الآلي بالموارد المائية في الوقت الحقيقي[58]. والأكثر من ذلك، يمكن أن تساعد إعادة تدوير المياه على التغلب على أوجه عدم اليقين في إمدادات المياه. فنظم المياه الأكفأ تعزز الأمن المائي وبالتالي قدرة عمليات قطاع النفط والغاز على الصمود والتكيّف. وقد أصبحت هذه النظم أكثر انتشاراً في قطاع النفط والغاز لأن السياسات المتعلقة باستعمال المياه أصبحت أكثر صرامة. فمثلاً، تستخدم الآن تقنيات الأشعة فوق البنفسجية المتطورة وتقنيات الأوزون للحيلولة دون اتساخ المياه العادمة. وعلى نحو مشابه، تجري تجارب على التصديع الهيدروليكي دون مياه باستخدام الغازات[59].

الاستخلاص المُعزّز للنفط: ناقشنا من قبل الاستخلاص الأولي والثانوي والثالثي للنفط. ويعرض الجدول 6 مزيداً من التفاصيل بتقديم معلومات عن كميات المياه اللازمة حسب أنواع عمليات الاستخلاص المُعزّز للنفط المختلفة

الجدول 6. المياه اللازمة لتقنيات استخلاص النفط المختلفة وتقييم استخلاصها

تقنيات الاستخلاص	مياه حقن (غالون من المياه لكل غالون من النفط الخام)
الاستخلاص الأولي	0.2
الغمر بالمياه ثانوي	8.6
الاستخلاص المُعزّز بالحقن بالبخار	5.4
الاستخلاص المُعزّز بثاني أكسيد الكربون	13
الاستخلاص المُعزّز بالحقن بمادة كاوية	3.9
الاستخلاص المُعزّز بالحقن الأمامي بالاحتراق/الهواء	1.9
الاستخلاص المُعزّز بالحقن البلمري	343.1

المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Xylem, 2014.

(استخلاص ثالثي). ومن الواضح أن الاستخلاص الأولي أقل استهلاكاً للطاقة. وعلى الرغم من أن من المعروف أن الاستخلاص الثالثي يستهلك المياه بكثافة، إلاّ أنه قد يكون في بعض الحالات أقل استهلاكاً للمياه من الاستخلاص الثانوي تبعاً لنوع الاستخلاص الذي يُنتقى.

ويصنّف الاستخلاص المُعزّز للنفط عموماً إلى ثلاثة أنواع: الاستخلاص الحراري والحقن بالغاز والحقن الكيميائي. وكما هو مبين في الجدول 6، يعتبر كل من الحقن بالبخار والحقن الأمامي بالاحتراق/الهواء من أنواع الاستخلاص الحراري، ويعتبر الحقن بثاني أكسيد الكربون نوعاً من الحقن بالغاز، ويعتبر كل من الحقن بمادة كاوية والحقن البلمري الجزيئي مثالاً على الحقن الكيميائي. ولأساليب الاستخلاص المُعزّز للنفط جميعها المذكورة في الجدول 6 قيّمٌ عالية من حيث ما تقدمه من استخلاص تزايدي. ولا ينطبق ذلك على أنواع أخرى من عمليات الاستخلاص المُعزّز للنفط، كتلك المذكورة في الجدول 7. فمثلاً يوفر كل من الغمر البلمري والحقن بمياه منخفضة الملوحة معدلات استخلاص تزايدي منخفضة فقط، بينما يوفر غاز المياه المتناوبة معدلات استخلاص مرتفعة جداً[60].

الجدول 7. محدودية تقنيات الاستخلاص المُعزّز للنفط المختلفة

الاستخلاص المُعزّز للنفط	المحدوديات
الحقن بالغاز الخَلوط	• شديد الحساسية للتغاير • كسح عمودي ضعيف بسبب الاختلاف الكبير عن الماء من حيث الكثافة • ينبغي أن يكون ضغط الخزّان أكبر من الحد الأدنى من ضغط قابلية الاختلاط • الإنتاج الفائض للغاز
الحقن بغاز المياه المتناوبة	• أكثر تعقيداً من الناحية التشغيلية • قد يحتجز الماء النفط في المسام إذا ما ضُخّت كميات كثيرة من المياه
الغمر البلمري	• قابلية الحقن جيدة لارتفاع لزوجة المياه المحقونة • فقدان البوليمر بسبب الامتزاز • مُكلف بسبب الكميات الكبيرة اللازمة من المواد الكيميائية • قد لا يكون ممكناً في الخزّانات الساخنة أو مع المياه المالحة
الغمر البلمري بمادة ذات فاعلية سطحية قلوية	• تصميمه معقد ويتطلب تحليل كيمياء النفط والمياه والصخر فضلاً عن التغاير الجيولوجي • مُكلف بسبب الكميات الكبيرة اللازمة من المواد الكيميائية • قد لا يكون ممكنا في الخزّانات الساخنة أو الكربونية أو مع المياه المالحة
الحقن بمياه منخفضة الملوحة	• آليته غير مفهومة تماما • إمكان تخفيف المياه المنخفضة الملوحة المحقونة بفعل وجود محلول ملحي في الموقع
المعالجات بهلام بلمري في آبار الحقن	• ينجح فقط حيث تكون "المنطقة اللصّية" وهي منطقة طبقية ذات نفاذية مرتفعة معزولة عن غيرها من المناطق الزيتية • قد لا يكون ممكنا في الخزّانات الساخنة أو الكربونية أو مع المياه المالحة • إمكان إنتاج كبريتيد الهيدروجين بفعل البكتيريا المخفّضة للكبريتات في الخزّان
تحويل مسار التدفق في خزّان عميق	• ينجح فقط للحقن بالماء • قد لا يكون ممكناً في الخزّانات الساخنة أو الكربونية أو مع المياه المالحة

المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Muggeridge et al., 2013.

يتناول الجدول 7 محدوديات تقنيات الاستخلاص المُعزّز للنفط المختلفة. وينبغي النظر في مثل هذه العوامل عند تحديد أي من تقنيات الاستخلاص المُعزّز للنفط هو الذي ينبغي أن يُعتمد، إلى جانب عوامل من مثل الاستخلاص التزايدي وكميات المياه اللازمة والتكاليف (كالتكاليف الرأسمالية وتكاليف حفر آبار إضافية)[61]. فمثلاً، ليس الحقن الكيميائي في العادة تقنية جذابة للاستخلاص المُعزّز للنفط، وذلك بسبب التكاليف الكبيرة للمواد الكيميائية التي يستخدمها (كالمواد ذات الفاعلية السطحية).

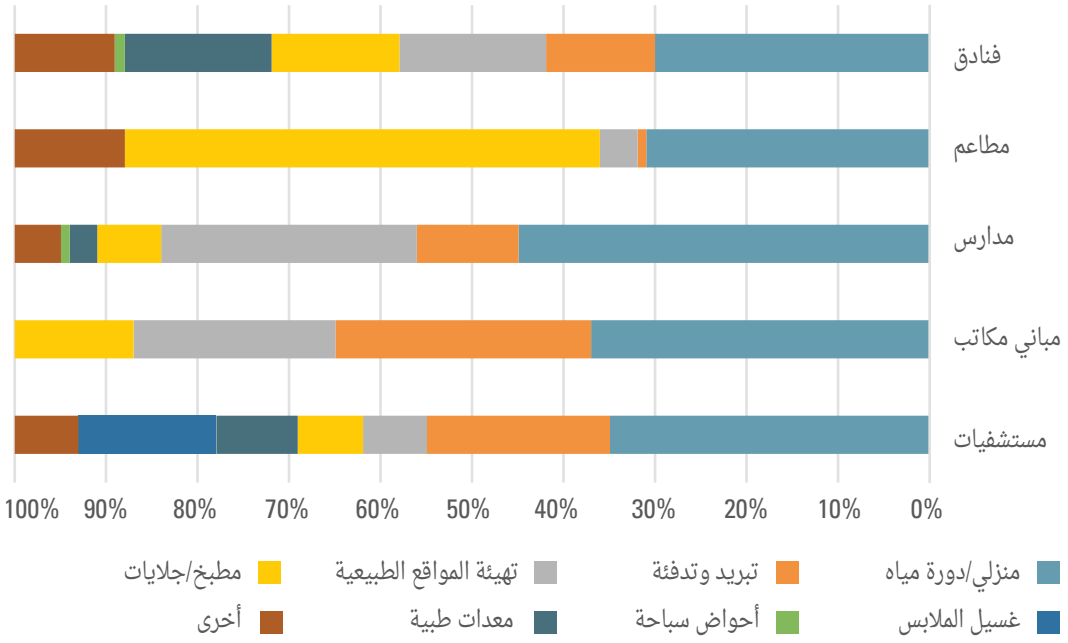
يشير مصطلح ممارسات الإدماج المستخدم في صناعة النفط والغاز إلى دمج العمليات المتعلقة بتطوير البئر بحيث تؤدى العمليات لآبار متعددة في الوقت نفسه. ويمكّن ذلك استخداماً أكثر كفاءة للموارد، بما في ذلك المياه. وترد في الجدول 8 أمثلة عن عمليات الدمج هذه إلى جانب مزاياها وعيوبها. وهذه العمليات هي منصّات

الجدول 8. منافع ومساوئ ممارسات الإدماج

الإدماج	المزايا	العيوب
منصات الآبار المتعددة	• تتطلب طرقاً وبنى تحتية أقل، ما يؤدي إلى اختلال أصغر للبئر الواحد وتخفيض البصمة الكلية للإنتاج • يمكنها القضاء على الاختلالات في المناطق الحسّاسة حساسية خاصة • تخفّض وقت الحفر والإنجاز، ما يقلل تكاليف استئجار الحفّارات • تخفّض الحاجة إلى أطقم الخدمات وتقلل حركة المرور (وما يرتبط بها من انبعاثات) وتكاليف التشغيل • تزيد كفاءة استخلاص الهيدروكربون من الخزّان المُختار	• ارتفاع تركيز الاختلالات السطحية وتوليد نفايات • تتطلب معالجة الآبار في مجموعات أن تُحفر وتُنجز الآبار الموجودة على منصة الحفر جميعاً قبل أن تُعرف نتائج البئر الأول، ما يؤخّر بدء الانتاج
التنظيم على مراحل/التخزين المركزي	• يخفّض حركة الشاحنات، ما يخفّض مضايقة الأحياء البرية والانبعاثات إلى الهواء وإلحاق الضرر بالطرق • يخفض عدد خزّانات التخزين اللازمة لكل موقع بئر، ما يخفّض حجم متطلبات منصة البئر • ييسّر إعادة استخدام المواد؛ يخفّض استخدام المياه العذبة	• يزيد تركيز توليد النفايات
مرافق الإنتاج المدمجة	• يخفّض حركة الشاحنات، ما يخفض مضايقة الأحياء البرية والانبعاثات إلى الهواء وإلحاق الضرر بالطرق • يخفّض عدد خزانات التخزين اللازمة لكل موقع بئر، ما يخفّض حجم متطلبات منصة البئر • ييسّر إعادة استخدام المواد؛ يخفّض استخدام المياه العذبة	• يتركز الاختلال السطحي على منطقة أصغر

المصدر: أعدّ استناداً إلى بيانات من Intermountain Oil and Gas BMP Project, (دون تاريخ).

الشكل 11. الاستعمالات النهائية للمياه في أنواع المرافق التجارية والمؤسسات المختلفة



المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من EPA WaterSense, 2016.

حفر الآبار المتعددة (إجراءات حفر متطورة تمكّن الحفر في مواقع متعددة في خزّان واحد بحيث يمكن حفر آبار عدة دفعة واحدة)، والممرات المشتركة (توضع جميع الطرق والأنابيب والمرافق وخطوط النقل في ممرات مشتركة لخفض متطلبات التشييد) والتنظيم والتخزين المركزيين (يخزّن كل من مواد المدخلات ومنتجات المخرجات في مواقع مركزية)[62]. وقد حاز نظام أنادارکو Anadarko لنقل سوائل الإنجاز على جوائز لما حققه من وفور نتيجة ممارسات الإدماج. فمثلاً، تمكّن من خفض الحاجة إلى المياه العذبة بحوالي 2 مليوني برميل بإعادة تدوير 80 في المائة من سوائل الإنجاز[63].

كفاءة المياه في القطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسية

تتعلق تقنيات تحسين كفاءة المياه في القطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسية في المقام الأول بنوع المباني والمعدات التي تحتويها. ولإيضاح المجالات التي يمكن تحقيق معظم مكاسب كفاءة المياه فيها، ينبغي بالضبط فهم أين تُستخدم المياه أكثر ما تُستخدم. ويبين الشكل 11 الاستعمال النهائي للمياه في المرافق التجارية والمؤسسات المختلفة.

وهناك بالفعل مجال كبير للتحسين في القطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسية بقدر ما يتعلق الأمر بكفاءة المياه. فمثلاً، سيكون الحد الأدنى من تقديرات الوفور المحتملة الناجمة عن زيادة كفاءة استعمال المياه في القطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسية في كاليفورنيا كافياً للوفاء بمتطلبات المياه السنوية لمدينة لوس أنجلوس بأكملها (الاستخدامات السكنية وغير السكنية)[64]. ويعرض الجدول 9 معلومات عن التقنيات الموفرة للطاقة والمياه المتوفرة للقطاعات المشار إليها أعلاه.

الجدول 9. إمكانات التقنيات الموفرة للطاقة والمياه المتوفرة للقطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسات

مجال التحسين	التقنية الكفؤة من حيث توفير المياه	إمكانات توفير المياه والطاقة	وفور ومعلومات إضافية
تهيئة المواقع الطبيعية التجارية	• تهيئة المواقع الطبيعية للمناطق الجافة • أجهزة التحكم والاستشعار الذكية	• تخفّض تهيئة المواقع الطبيعية للمناطق الجافة • استعمال المياه بمقدار 50 في المائة أو أكثر • تخفّض أجهزة التحكم الذكية 20-40 في المائة من الاستعمال السنوي للمياه	تخفّض الجريان السطحي للمياه في الطقس الجاف والملوثات المنقولة عن طريق المياه؛ يمكن أن تُحسّن مظهر المواقع الطبيعية
أبراج التبريد	• جهاز التحكم بالموصّلية • جهاز تنظيم درجة الحموضة	• توفّر أجهزة التحكم بالموصّلية 800,000 غالون (كمّيّة الماء الكافية لتغطية فدّانين بعمق قدم واحد في السنة) • توفير للمياه محتمل يصل إلى 80 في المائة تبعاً للمرفق والاستعمال	يمكن أن يوفّر رفع مستوى برج تبريد واحد مبالغ كبيرة من تكاليف المياه والصرف الصحي (تصل إلى 4,000 دولار في الولايات المتحدة؛ يخفّض جهاز تنظيم درجة الحموضة التكاليف الكيميائية؛ تخفيض عام في فواتير المياه العادمة
الحنفيات التجارية	• مهوّيات الحنفيات ذات الدفق المنخفض (0.5 و1.0 و2.2 غالون في الدقيقة)	• تخفّض دفق المياه من الحنفية بنسبة 30-50 في المائة (يتراوح النطاق حسب نوع المُهوّي واستخدام الحنفية) • تخفّض مهوّيات الحنفيات تكاليف طاقة تسخين مياه الحنفية بنسبة تصل إلى 50 في المائة	تكلّف مُهوّيات الحنفيات أقل من 5 دولارات في المتوسط، ولذا فإنها فعّالة جداً من حيث التكلفة
رؤوس دوش الحمّام	• رأس دوش حمام ذو دفق منخفض (2.0 و2.5 غالون في الدقيقة)	• يمكن أن يوفّر دفق قدره 2.5 غالون في الدقيقة غالونين في كل استحمام بالدوش • يمكن أن يوفّر دفق قدره غالونين في الدقيقة الواحدة 3.5 غالون في كل استحمام بالدوش	يمكن شراء رؤوس دوشات بكميات كبيرة بتكلفة منخفضة (5-12 دولار للرأس الواحد في الولايات المتحدة)
المراحيض	• مراحيض ذات دفق فائق الانخفاض (1.3-1.9 غالون للتدفق الواحد) • مرحاض عالي الكفاءة (1.28 غالون للتدفق الواحد)	• يمكن أن يوفّر 15,000 غالون في السنة تبعاً لنوع المرفق • يمكن أن يوفّر ما يصل إلى 19,000 غالون في السنة	تخفيض كلي في المياه العادمة

مجال التحسين	التقنية الكفؤة من حيث توفير المياه	إمكانات توفير المياه والطاقة	وفور ومعلومات إضافية
المباول	• مباول عالية الكفاءة (0.5 غالون أو أقل للتدفق الواحد) • مباول دون مياه	• يمكن أن توفّر 20,000 غالون من المياه في السنة • يمكن أن توفّر 45,000 غالون من المياه في السنة	تخفيض كلي في المياه العادمة
جلايات المطابخ التجارية	• جلايات تجارية مقتصدة في استهلاك المياه	• تخفّض استخدام المياه والطاقة بنسبة 25 في المائة في السنة	يمكن أن تكون طويلة فترة استرداد تكلفة تركيب جلاية تجارية صغيرة كفؤة (تتراوح بين عام وأربعة أعوام في الولايات المتحدة). فترة الاسترداد للماكينات الأكبر قد تكون أطول بكثير.
صمامات الرش قبل الشطف في المطابخ التجارية	• صمام رش قبل الشطف مقتصد في استهلاك الماء (1.6 غالون أو أقل في الدقيقة)	• يوفّر ما يصل إلى 50,000 غالون من المياه في السنة (استهلاك للمياه والطاقة أقل بنسبة 26-80 في المائة مقارنة بالصمامات الاعتيادية)	يمكن أن توفّر الاستعاضة عن صمام رش ما قبل الشطف تقليدي يُستخدم نحو ثلاث ساعات يومياً بصمام رش ما قبل الشطف مقتصد في استهلاك الماء 180 غالون من المياه في اليوم وأن ذلك يخفض تكاليف المياه والطاقة (ما يصل إلى 1050 دولار في السنة في الولايات المتحدة)
المعدات الطبية	• جهاز لتدوير المياه لأجهزة تظهير أفلام الأشعة السينية • تحسين أجهزة التعقيم بالبخار	• يخفّض استعمال المياه بنسبة تصل إلى 98 في المائة • يوفّر 45 50- غالون في الساعة (60 في المائة) لكل جهاز تعقّيم	يوفّر تحسين أجهزة تظهير أفلام الأشعة السينية فواتير المياه والكهرباء (600 دولار في السنة في الولايات المتحدة). يحقق التعقيم بالبخار أيضاً وفوراً في التكاليف (2,500 دولار لكل جهاز تعقّيم في السنة في الولايات المتحدة)
غسالات الملابس	• غسالات ملابس تجارية عالية الكفاءة (مغاسل في المساحات المشتركة) • عصارات ملابس مقتصدة في استهلاك المياه (مغاسل في المبنى) • غسالات الدفعات المتواصلة (مغاسل صناعية)	• يمكن أن تخفّض استهلاك المياه بنسبة 35-50 في المائة وتحقق وفورا في الطاقة تصل إلى 50 في المائة • يمكن أن تخفض استهلاك المياه بما يصل إلى 40 في المائة • يمكن أن تخفّض استهلاك المياه بنسبة 30-60 في المائة	يمكن أن تخفّض الغسالات الأكثر كفاءة فواتير الطاقة بما يصل إلى 50 في المائة وتكاليف المياه والمجاري من 35-50 في المائة. وتتطلب الغسالات ذات الكفاءة العالية كميات من مواد التنظيف أقل بنسبة 50 في المائة

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Cohen, Ortez and Pinkstaff, 2009.

يمكن استخدام عدد من الاستراتيجيات لزيادة كفاءة المياه باستخدام أجهزة تستخدم حالياً في المباني الصناعية والتجارية والمؤسسات:

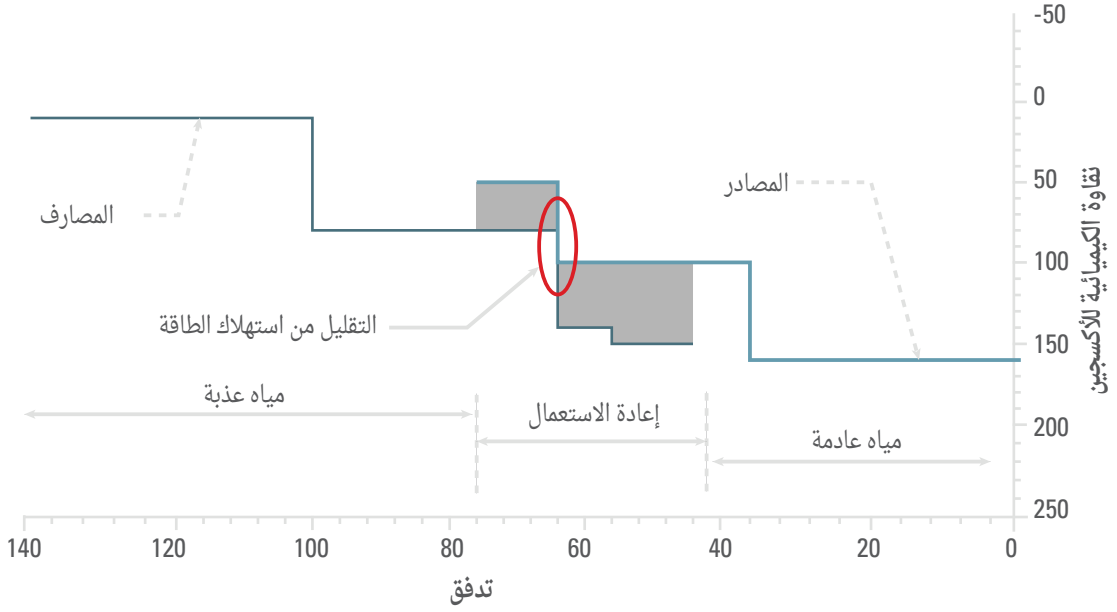
- يمكن تعديل دورات الشطف في المرافق الصناعية ومرافق تجهيز الأغذية لتيسير توفير المياه، مثلاً، عن طريق خفض وقت الشطف ومعدل دفق المياه وكذلك خفض عدد دورات الشطف؛
- يمكن استخدام المياه العادمة الناجمة عن عمليات الإنتاج لتنظيف أجهزة تنقية الهواء؛
- يمكن تعقيم منتجات الأغذية والمشروبات بالأوزون بدلاً من المياه؛
- يمكن استخدام صمامات الإغلاق الآلية على معدات التجهيز لوقف دفق المياه عندما يتوقف الإنتاج؛
- يمكن استخدام المياه التي استخدمت للشطف النهائي لدفعة سابقة من الفواكه والخضروات للشطف الأول للدفعة الثانية[65].

وهناك استراتيجية أخرى ممكنة لزيادة كفاءة استعمالات المياه في القطاعات الصناعية والتجارية والمؤسسات وهي استخدام صهاريج تخزين مياه كل منها ذو خليتين مستقلتين تستوعب كل خلية منهما نصف إجمالي سعة الخزان. ويجعل هذا الترتيب بالإمكان حفظ المياه من خلية واحدة في الخلية الثانية أثناء الصيانة الاعتيادية، وبذا تنتفي ضرورة تصريف جزء كبير من المياه وتصبح عملية الصيانة أكثر كفاءة في استهلاك المياه. ومن الاستراتيجيات الأخرى تصميم شبكة توزيع المياه الداخلية في مبنى بحيث تتكون من قطاعات مستقلة تماماً تبعاً لمساحة جزء المبنى الذي ينتمي إليه القطاع ونوع استهلاكه للمياه. ويمكن أن تتكون هذه الشبكة من قطاع واحد لكل طابق، وقطاع واحد لنظام التدفئة والتهوية والتبريد، وآخر للمناطق المشتركة، وما إلى ذلك. وعندئذ يمكن تجهيز كل قطاع بعداد خاص به لقياس استهلاكه المحدد من المياه. ومن شأن ذلك أن يساعد على فهم وجهات استعمالات المياه في القطاعات المختلفة ويساعد في الوقت نفسه على تحديد تسربات المياه التي يمكن أن تحدث في المبنى[66].

تقنية التقليل من استهلاك الطاقة في العمليات الكيمائية Pinch technology أداة معروفة جيداً لتحليل دفق الطاقة والمواد تساعد على أمثَلة العمليات الصناعية وفي الوقت نفسه زيادة كفاءة الطاقة والمياه والحد من الهدر. وقد استخدمت هذه التقنية لتحسين الكفاءة الحرارية، وبالتالي للاقتصاد في الطاقة في صناعات العمليات الكيميائية. كما استخدمت أيضاً لتقليل المياه والمياه العادمة إلى الحد الأدنى بتحديد التعديلات التي يمكن إدخالها على العمليات لزيادة وفور المياه وتقليل تصريف المياه العادمة.

وتتضمن هذه التقنية أولاً رسم ورقة دفق لنظام المياه بأكمله تبين كافة مواقع مدخلات ومخرجات المياه، ما يجعل بالإمكان تحليل الميزان المائي لمصادر ومصارف المياه فيه. كذلك يجري أيضاً تحديد الملوثات الموجودة في المياه المنتجة التي قد تعرقل مواصلة استعمالها، إلى جانب تحديد حدود هذه الملوثات في خطوات النظام المختلفة. ويتبع تحديد هذه البارامترات جمع البيانات وتحليلها. وعندئذ يمكن استخدام تحليل متعدد الأبعاد لتحديد التطابقات المُثلى بين المصادر والمصارف المختلفة. ومن شأن ذلك تمكين زيادة إعادة استعمال المياه وبالتالي يحسن كفاءتها. وقد أفيد أن وفور المياه التي تحققت باستخدام هذه التقنية وصلت إلى 60 في المائة[67]. ويبين الشكل 12 مثالاً عاماً لملامح نقاوة المياه الناجمة عن هذا التحليل. وهو يوضح نوعية المياه (نقاوة المياه على المحور العامودي) وكمية المياه (دفق المياه على المحور الأفقي). ومن وحدات دفق ذات الصلة التي يمكن استخدامه الكيلوغرامات في الثانية (كغم/ثانية) أو طن في الساعة (طن/ساعة). والحاجة الكيميائية للأكسجين مؤشر على وجود ملوثات في المياه.

الشكل 12. ملامح النقاوة المستخدمة كجزء من تحليل التقليل من استهلاك الطاقة في العمليات الكيمائية pinch analysis



المصدر: Kumana & Associates, 2011

كفاءة المياه في الأسر المعيشية

فيما يتعلق بتحسين كفاءة المياه في الأسر المعيشية، التقنية التي يمكن أن تستخدم هنا مشابهة لتلك المستخدمة في حمامات ومطابخ المباني التجارية ومباني المؤسسات. ومع ذلك، هناك بعض الاختلافات بسبب المستويات المختلفة للعمليات. وبوجه عام، تشمل الحلول التقنية لكفاءة المياه الموصى بها للأسر المعيشية التجهيزات والأجهزة المنزلية الفعّالة من حيث استهلاك المياه أو تقنية إعادة استعمال المياه. وتشجّع الخيارات المتوفرة لتنسيق الحدائق الناس على أن يزرعوا في أفنية منازلهم حشائش تتحمل الجفاف. وتمكن تغطية المسابح عندما لا تستخدم لمنع فقدان المياه بالبخر. كما أن باستخدام الجلايات عند امتلائها بالكامل أكثر كفاءة من غسل الأطباق يدويا[68].

نظم إعادة تدوير المياه الرمادية

تمكن إعادة استعمال المياه في الأسر المعيشية على شكل نظام إعادة تدوير للمياه الرمادية. كما يمكن توسيع نطاق استخدام هذا النظام ليشمل المباني الصناعية والتجارية ومباني المؤسسات أيضا. غير أن نجاح تطبيقه يتوقف إلى حد كبير على الاستعمالات المحتملة للمياه العادمة في المرفق المعني وأنواع المياه العادمة التي يولدها. ونتيجة لذلك، تركّز مجموعة الأدوات هذه على نموذج عام لنظام إعادة تدوير للمياه الرمادية في الأسر المعيشية، ولكن يمكن توسيع هذا النظام بسهولة ليطبق في مباني المكاتب. في مثل هذا النظام (أنظر الشكل 13)، يمكن استعمال مياه الأمطار أو المياه الرمادية الناتجة من الاستحمام بالدوش والمغاسل وعمليات غسل الملابس لري العشب والحدائق وتنظيف المراحيض. وتجدر الإشارة إلى أن إعادة استعمال المياه الرمادية في المراحيض تتطلب تركيب أنابيب إضافية ووحدة تخزين ومضخات ووحدة معالجة بسيطة. ولذا من الأسهل بكثير بناء مثل هذه النظم في منازل قيد البناء بدلاً من دمجها في وقت لاحق في بنية تحتية قائمة. وبالإضافة إلى ذلك،

أخذت نظم إعادة استعمال المياه الرمادية الأصغر حجماً باستعمال المياه الرمادية مباشرة من المغاسل لتنظيف المرحاض المجاور لها تكتسب مزيداً من الاهتمام. ويشمل مثل هذه النظم عمليات تطهير المياه وترشيحها وصهاريج صغيرة لتخزين المياه، ويمكن دمجها بسهولة في تركيبات قائمة من قبل، خلافاً لنظم إعادة التدوير التي تستخدم لكامل الأسرة المعيشية[69].

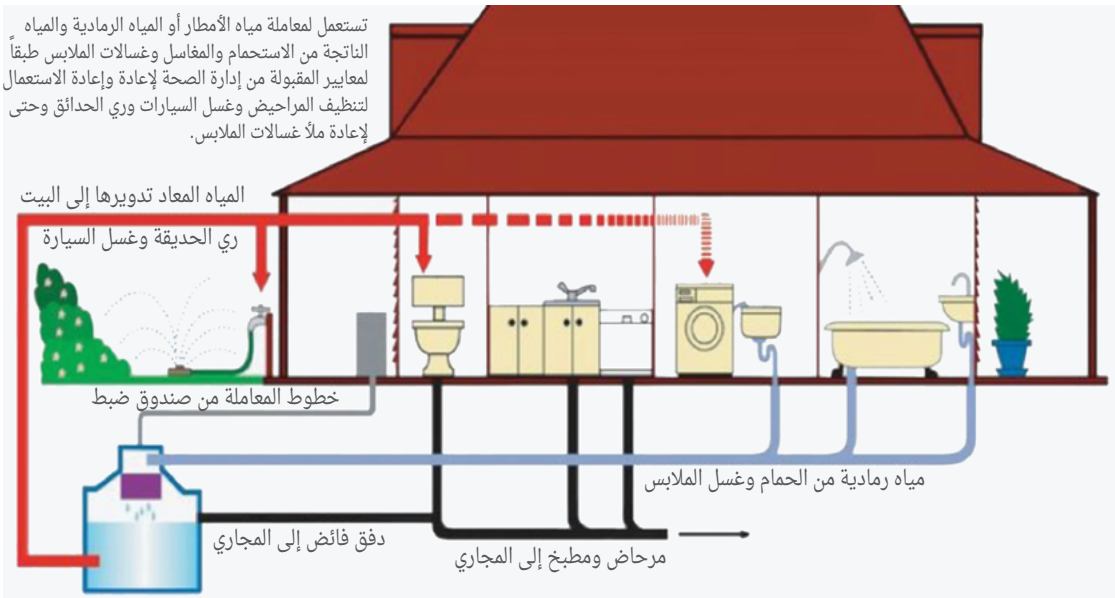
كفاءة المياه في نظم إنتاج توزيع المياه

كفاءة المياه والري

تتوقف كفاءة مياه الري لأغراض زراعية إلى حد كبير على نوع الري. وتعتبر أساليب تطبيق المياه المضغوطة مثل المرشّات والري الدقيق تقنيات الري المقتصدة في استهلاك المياه المتقدمة[70]. وعلاوة على ذلك، يمكن استخدام عملية الصرف المتحكّم به لخفض استعمال المياه العذبة لأن ذلك يمكّن تلبية احتياجات الماء الزراعية جزئياً من أنابيب شُعيرية من مياه جوفية ضحِلة[71]. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استعمال المياه المعالجة جزئياً في تطبيقات مثل الزراعة الروية للخضروات وعلف الماشية، ما ييسّر إعادة استعمال المياه.

وكي تستخدم عملية الري بأكفأ صورة فيما يتعلق باستعمال المياه، ينبغي إعطاء الأولوية لنظم الري التحت أرضية على النظم الفوق أرضية، إذ يمكن بهذه الطريقة اجتناب الفقد الناجم عن البخر. ويحسّن كفاءة المياه بقدر أكبر تعديل عملية الري استجابة لتغيرات درجة رطوبة التربة وبيانات الطقس المحلية. ويمكن تحقيق ذلك إلى حد ما باستخدام جهاز تحكم بالري آلي، من مزاياه أيضاً خفض التكاليف والعمل[72]. وتشمل تقنيات الري المقتصدة في استهلاك المياه الري بالرش (مثلاً، آلة الرش الدوّارة) وأجهزة الإقفال وقت هطول الأمطار (التي تساعد على المحافظة على المياه من خلال إقفال نظم الري في الطقس الممطر). وهذه أجهزة رخيصة الثمن يمكن بسهولة تركيبها في النظم جميعها تقريبا[73]. وبُغية الحفاظ على إجراءات كفاءة مياه الري، تنبغي

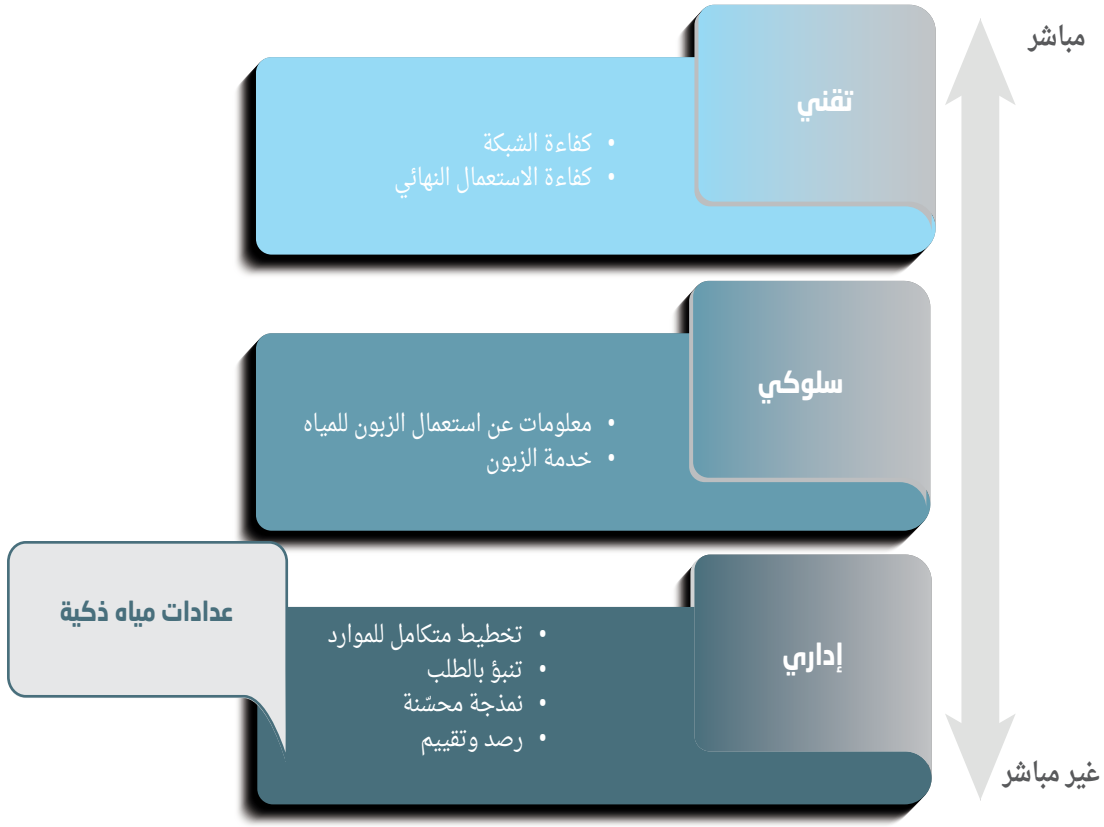
الشكل 13. رسم تخطيطي لنظام إعادة تدوير المياه الرمادية



المصدر: Tanked Australia, 2007.

صيانة المعدات المستخدمة بانتظام للكشف عن أية أخطاء في النظام وضمان أن تعمل جيداً مقاييس القيّم (من مثل معدلات دفق المياه من فوهات التنقيط) لتوفير الأداء الأفضل للنظام بمجمله أثناء حدوث أي خلل. وينطبق ذلك على نظم توزيع المياه جميعها. ويمكن تيسير مثل هذا التحكّم وهذه الصيانة باستخدام نُظم ذكية سيتناولها القسم 2-4-2. ويطبّق كل من جنوب أفريقيا وإسبانيا، من بين بلدان أخرى، مثل هذه النُظم. ويُستخدم في جنوب أفريقيا حالياً برنامج مبتكر لدعم اتخاذ القرارات سمي « نظام إدارة المياه» لمشاريع الري التي تزود المياه إلى العملاء بالأحجام اللازمة والأوقات المطلوبة عن طريق الأنهار وشبكات القنوات وخطوط الأنابيب. وقد انخفض الفاقد من المياه نتيجة ذلك بنسبة تصل إلى 20 في المائة، ما أسفر عن تحقيق وفور في المياه تبلغ حوالي 41 مليون متر مكعب سنويا. وعلى نحو مشابه، استخدم في إسبانيا نظام تحكّم مركزي يحسّن كفاءة المياه عن طريق رصد عمليات محطات الضخ وفتح وإغلاق صمامات تنظيم الدفق والإشراف على الآبار وتحديد أماكن القصور في النظام وحصر أحجام المياه التي تُسلّم إلى مختلف القائمين على الري وما إلى ذلك[74]. ويمكن للمزارعين وفقا لاحتياجاتهم برمجة تشغيل عملية ري مزارعهم ووقفها بفتح وإغلاق صمامات تنظيم الدفق ورصد محطات الضخ والآبار (إذ ينبغي توفير احتياجات 1,700 مزارع مشاركين في هذا النظام في الوقت نفسه باستخدام محطات الضخ والآبار)[75]. ويكفل ذلك تزويد المياه إلى المزارع على النحو المطلوب ومنع الهدر. وعن طريق تحديد أماكن القصور في النظام يمكن منع تسربات المياه؛ وعن طريق حصر المياه التي توجّه إلى مزارع مختلفة ومقارنة هذه القيم بالقيم المطلوبة، يمكن الكشف عن أية أخطاء في النظام ومعالجتها قبل أن تهدر كميات كبيرة من المياه.

الشكل 14. تسلسل هرمي لاستراتيجيات كفاءة المياه



المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Boyle et al., 2013.

نظم عدادات مياه ذكية

تستخدم نظم القياس الذكية «العدادات الذكية» لتحسين كفاءة المياه والطاقة. ويتزايد استخدام هذه النظم في جميع أنحاء العالم، فهي تؤدي إلى وفور كبيرة في المياه والطاقة. فمثلاً، أشارت دراسة أجرتها "Intelligent Energy Europe" شاركت فيها مبانٍ من بلدان أوروبية مختلفة إلى أنه تم تحقيق وفور في المياه تراوحت من 1-39 في المائة (المملكة المتحدة) و1-82 في المائة (النمسا) و5-49 في المائة (الدانمرك)، وتحقيق وفور في الكهرباء تراوحت من 0.5-40 في المائة (المملكة المتحدة) و2-80 في المائة (النمسا) و0-27 في المائة (الدانمرك)[76]. وعلى الرغم من أن النتائج قد تتباين كثيرا، من الواضح أنه يمكن تحقيق تحسينات كبيرة. وبوجه عام، يقدر أنه يمكن تحقيق وفور في الطاقة تصل إلى 30 في المائة نتيجة الجمع بين تركيب عدادات ذكية وحدوث تغير في سلوك ساكني المباني[77]. ولسوء الحظ، لا تتوفر بسهولة معلومات عن الوفور المُحققة في بلدان الإسكوا التي استخدمت فيها نظم العدادات الذكية، لكن ذلك لا يعني أن هذه التقنية لم تُطبّق في المنطقة أو أن تطبيقها ليس ممكنا. وفي عام 2013، كان يمكن تقسيم بلدان الشرق الأوسط إلى تلك التي لم تبدأ في إدخال هذه العدادات الذكية (مثل الأردن ولبنان)، وتلك التي هي في مرحلة تجريبية ترمي إلى تبني هذه التقنيات (مثل المملكة العربية السعودية وقطر). ومن بين البلدان الأخيرة، تأتي الإمارات العربية المتحدة في المقدمة. فبحلول عام 2013، استكملت أبو ظبي بالفعل المرحلة الأولى من تنفيذ العدادات الذكية لكل من الكهرباء والمياه،[78] ولا تزال الإمارات العربية المتحدة رائدة في هذه المبادرة في المنطقة. وفي نهاية عام 1915، كانت هيئة كهرباء ومياه دبي تعتزم التوصل إلى أن يجري في المعدل تركيب ما يزيد عن 200,000 من العدادات الذكية في الإمارة بحلول عام 2016؛ وكان من المفترض أن يصل هذا الرقم بحلول عام 2020 إلى أكثر من مليون عداد وأن تستبدل جميع العدادات الميكانيكية والكهربائية-الميكانيكية في دبي[79]. ومن العوامل التي أدت إلى بطء تنفيذ نظم العدادات الذكية، وخاصة في بلدان الخليج، إحجام السلطات عن تغيير التعرفات للمرافق العامة. غير أن انخفاض أسعار النفط والجهود الحكومية الرامية إلى إعادة هيكلة نظم تعرفات المياه والكهرباء ينبغي أن توفر زخماً لتنفيذ هذه التكنولوجيا[80].

وعدادات المياه الذكية (أنظر الشكل 14) هي استراتيجية لاستعمال المياه بكفاءة وقد بدأت بالفعل في تحويل إدارة المياه في المدن والبلدات والعمل أداة لإدارة جانب الطلب. فمثلاً، في عام 2009، استحوذت مشاريع عدادات المياه الذكية على 18 في المائة من جميع مشاريع صناعة المياه والطاقة في العالم[81]. ومع ذلك، كان الإقبال على هذه التقنية بطيئاً لأسباب من مثل انخفاض تكلفة الوحدة من المياه وارتفاع تكاليف التقنية.

وتشمل تكنولوجيا العدادات الذكية «عنصرين متميزين؛ عدادات تستخدم تقنية جديدة للحصول على المعلومات عن استعمالات المياه ونظم اتصال يمكن أن تحصل على معلومات آنية أو آنية تقريباً عن استعمالات المياه وتنقل هذه المعلومات»[82]. هكذا فإن في صلب تكنولوجيا العدادات الذكية بنية تحتية متقدمة للقياس تتألف من عدادات عند طرف الزبون وروابط اتصال مع مقدّم الخدمة[83]. ويمكن للعدادات الذكية رصد استهلاك المياه محلياً أو عن بعد، ما يؤدي إلى خفض تكاليف الأيدي العاملة (بالإضافة إلى التحكّم بالتكاليف عموماً) بالإضافة إلى توفير المياه وخفض الهدر، وهذا ما يفسّر تزايد استخدامها في المرافق في جميع أنحاء العالم.

وتشكل المعلومات المُستقاة من العدادات الذكية أداة هامة لصنع القرارات. ويبين الجدول 10 العمليات الأساسية التي يتقيد بها نظام العدادات الذكية مع أوصاف هذه العمليات. ومن الواضح أن العدادات الذكية نظام يقوم على جمع البيانات. وتوفر البارامترات في الجدول 10 «إطاراً لتقييم الفرص التي توفرها العدادات الذكية بتعزيز فهم كيف ومتى تستعمل المياه»[84]. وعلاوة على ذلك، يُدرج الجدول 10 معدات وبرمجيات مختلفة توفر البنية التحتية لنظم العدادات الذكية.

الجدول 10. عمليات النظام الذكي للقياس

البارامتر	القياس	نقل البيانات والمعلومات	المعالجة/التحليل	المعلومات الراجعة
الكيفية	تستخدم تقنية عدادات المياه مقترنة بمُسجّل بيانات للحصول على معلومات حول استهلاك المياه. في العادة، يُستخدم النظام الذكي للقياس في المساكن عدادات إزاحة تولّد إشارة نبضية لدى مرور حجم محدّد عبر العداد.	وسائل نقل البيانات من العدادات إلى شركات المياه والزبائن. تُنقل البيانات من مُسجّل البيانات بواسطة النطاق العريض أو الكابل أو لاسلكياً (مثلاً بالراديو أو تقنية الهاتف المحمول أو النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري). قد تكون طريقة النقل عن بُعد تماماً أو تتطلب جمع البيانات عن كثب (مثلاً تنزيل المعلومات إلى جهاز في سيارة تمر في الجوار drive-by)	وسائل قيام شركة المياه / طرف ثالث (مثل خوادم البيانات) بخزن ومعالجة (مثلاً، برمجيات تحليل الاستعمال النهائي) بيانات استعمال المياه. مقتضيات حصول الطرف الثالث على البيانات.	طريقة تقديم البيانات إلى الزبائن لتأويلها، مثلاً، فاتورة تُرسل بالبريد، بريد إلكتروني، واجهة بينية، تطبيقات الهواتف الذكية. قد يستتبع التأويل أو لا يستتبع تغييراً في السلوك.
التواتر	الفترات الزمنية المحددة التي (1) يسجّل العداد فيها استعمال المياه/ بين عدد النبضات؛ و (2) يجمع المُسجّل فيها البيانات من العداد، مثلاً، فترات زمنية مدتها 15 دقيقة.	تواتر قيام شركة المياه/الطرف الثالث بإرسال أو جمع البيانات؛ مثلاً، يومياً، كل نصف ساعة، في "الوقت الحقيقي". يتفاوت ذلك تبعاً لنوع العداد؛ مثلاً، النبض مقابل الفترة الزمنية.	تواتر استخدام المعلومات عن استعمال المياه لتحديث عمليات شركة المياه (مثلاً، لتنظيم الضغط).	تواتر إرسال المعلومات عن استعمال المياه إلى الزبون (مثلاً، فصلياً، شهرياً، يومياً، في الوقت الحقيقي، وما إلى ذلك).
الدقة	دقة قياس عداد المياه لدفق المياه (مثلاً، ليتر/نبضة). تتحدد حسب الغرض والقدرات وضبط العداد. دقة مسجّل البيانات، مثلاً ليتر/ 15 دقيقة (تواتر القياس، أعلاه)	تظل دقة البيانات كما هي رغم أن نوعية البيانات (الكاملة/ الجزئية) قد تعاني من تعطل عملية النقل.	قد تجمع البيانات أو تعالج لتحليل الوجهات (مثلاً، تقييم التسرب، تحليل الاستعمال النهائي)	مستوى تفصيل المعلومات المقدمة إلى الزبون، مثلاً الاستعمال لكل وحدة زمنية و/ أو تفصيل الاستعمال النهائي. قد يساعد التأطير المقارن ووضع أسس للمقارنة على سهولة القراءة والفهم. ينبغي أن يسترشد المحتوى والتأطير بنظرية التغير السلوكي والمعلومات عن الجمهور المستهدف وأن يصمما خصيصا للكيفية المعنية.

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Boyle et al., 2013.

هناك تقنيات قياس مختلفة تستخدم مبادئ مختلفة لاستخلاص وتسجيل بيانات استعمال المياه. ويمكن تصنيف هذه التقنيات عموماً إلى أربع فئات: عدادات إزاحة، عدادات سرعة، عدادات مركّبة، وعدادات كهرومغنطيسية. وعدادات الإزاحة (المعروفة أيضا بالعدادات الميكانيكية) رخيصة ويعرف عنها أنها دقيقة على معدلات دفق مياه منخفضة إلى معتدلة. وبما أنه ليس في عدادات الدفق الكهرومغناطيسية أي أجزاء متحركة، فإنها مناسبة تماماً لرصد دفق المياه المصحوب بركام أو بملوثات يمكن أن تلحق ضرراً بعدادات الإزاحة[85]. وفي بعض الحالات، ينبغي تركيب عدادات جديدة، بينما في حالات أخرى، يمكن تحديث وتعديل العدادات القديمة كجزء من إدخال نظام القياس الذكي.

وقد أجريت في أستراليا تجارب على تقنية القياس الذكي. وبينت إحدى هذه التجارب أنه تم تحقيق وفور سنوية بلغت 900 مليون لتر أو تخفيض استعمال المياه بنسبة 12 في المائة،[86] ما يبرز إمكانات نظم القياس الذكي. غير أن هناك تحديات تواجه تنفيذ استخدام هذه النظم على نطاق واسع، بما في ذلك ضرورة معالجة كميات كبيرة من البيانات في وقت واحد، والتحديات المرتبطة بجعل الإمدادات تلبي الطلب. مع ذلك، ينمو هذا السوق بسرعة ويتوقع أن تؤدي العدادات الذكية إلى تراكم استثمارات تقدر قيمتها بـ 7.8 مليار دولار بحلول عام 2020 في أوروبا وحدها[87].

تقنيات لتحسين كفاءة الطاقة

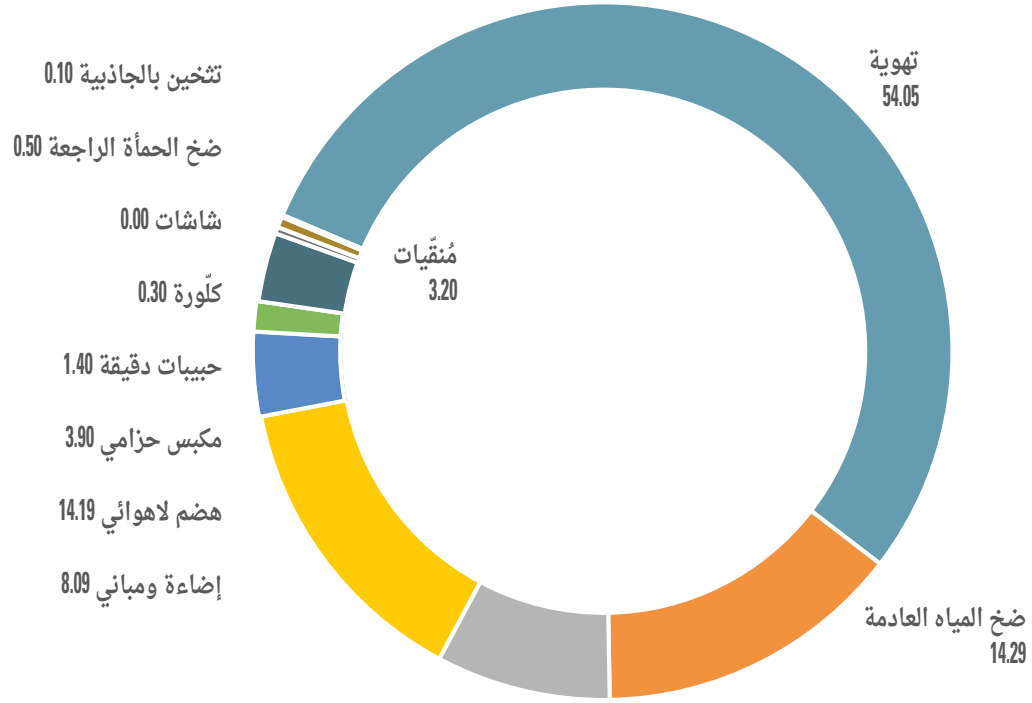
نظراً للترابط بين المياه والطاقة، ستؤدي الاستراتيجيات الموصى بها لكفاءة المياه في القسم 2 من مجموعة الأدوات إلى كفاءة الطاقة كذلك بطبيعة الحال. وعلى النحو نفسه، ستساعد الاستراتيجيات المذكورة في هذا القسم على خفض المتطلبات من المياه. وتعتمد منطقة الإسكوا بوجه خاص على عمليات مثل تحلية المياه لتلبية احتياجاتها من المياه، وهذه العمليات تعتمد على استهلاك الطاقة بكثافة. وعلاوة على ذلك، معدلات نصيب الفرد من استهلاك الطاقة في عدد من بلدان المنطقة مثل الكويت وقطر والإمارات العربية المتحدة هي من بين أعلى المعدلات في العالم.[88] ونتيجة لذلك، هناك في المنطقة حاجة ماسة إلى تقنيات كفؤة الطاقة.

الجدول 11. فرص إدارة الطاقة في صناعات المياه والمياه العادمة

كفاءة الطاقة والاستجابة للطلب	تقنيات وعمليات ناشئة	استرداد الطاقة وتوليدها
• الإدارة الاستراتيجية للطاقة • مراقبة البيانات والتحكم في العمليات • حفظ المياه • المضخات والمحركات العالية الكفاءة • المحركات المتغيرة السرعة • أمثَلة خطوط الأنابيب • التهوية المتطورة • الاستجابة للطلب	• ضبط الرائحة • المفاعلات الحيوية الغشائية • عملية إزالة الأمونيا في رافد جانبي • إعادة استعمال المياه • معالجة الفضلات • خلايا وقود ميكروبية • مصابيح أشعة فوق بنفسجية ذات صمام ثنائي باعث للضوء	• التوليد المشترك باستخدام الغاز الحيوي الهاضم • استخدام الطاقة المتجددة لضخ المياه • استرجاع فائض خط الضغط لإنتاج الكهرباء

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Reekie, 2013.

الشكل 15. النسبة المئوية لتوزيع نموذجي لاستهلاك الطاقة في نظام مياه عادمة (نسبة مئوية)



المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Darwish et al., 2016.

يبين الجدول 11 فرصة مختلفة لإدارة الطاقة. وقد تم تناول بعضها، مثل إعادة استعمال المياه، باستفاضة في القسم 2. ويمكن تطبيق هذه التدابير في مجموعة متنوعة من القطاعات. وستُتناول التقنيات الأكثر صلة بواقع منطقة الإسكوا وكذلك التقنيات الأكثر استعمالاً في الجزء المتبقي من القسم 3.

كفاءة استخدام الطاقة في المياه ومعالجة المياه العادمة

استهلاك الطاقة في محطات المياه ومحطات معالجة المياه العادمة

يبين الشكل 15 استهلاك الطاقة في محطة معالجة للمياه العادمة[89]. ويوضح أين ينبغي أن توجه جهود الإدارة لتحقيق تحسينات كبيرة في كفاءة الطاقة. وتتعلق مجالات التحسين بالتهوية وضخ المياه العادمة والهضم اللاهوائي والإضاءة والمباني.

ويورد الجدول 12 نوعاً مختلفاً شائعاً من أنواع محطات المياه ومعالجة المياه العادمة مع استهلاكها للطاقة. ويتضح أنه كلما ازدادت سعة المحطة، كلما انخفض استهلاكها من الطاقة، وإن يكن هذا الانخفاض أوضح في حالة محطات المرشح النضّاض. ومن الواضح أيضاً أنه كلما كانت خيارات المعالجة أكثر تطوراً، كلما ازدادت احتياجاتها إلى كميات أكبر من الطاقة. ولذا، وفقاً لدرجة النقاوة المطلوبة للمياه المعالجة، يمكن اختيار نوع المعالجة التي تستهلك أدنى حد من الطاقة ويوفر في الوقت نفسه مستوى النقاوة المطلوب.

ويعرض الجدول 13 كثافات الطاقة لمحطات طاقة تعمل في الوقت الحاضر في أنحاء العالم ويدرج الخصائص المختلفة لها. ويرتب الجدول المحطات حسب السعة تصاعديا. وكلما تزداد السعة، تنخفض كثافة الطاقة

الجدول 12. استهلاك الكهرباء بالكيلوواط ساعة للمتر المكعب لمعالجة المياه العادمة حسب حجم المحطة ونوع المعالجة.

حجم محطة المعالجة (بالأمتار المكعبة في اليوم)	مرشح نضّاض	حمأة مُنشّطة	معالجة مياه عادمة متطورة	معالجة مياه عادمة متطورة النترتة
3,785	0.479	0.591	0.686	0.780
18,925	0.258	0.362	0.416	0.509
37,850	0.225	0.318	0.372	0.473
75,700	0.198	0.294	0.344	0.443
189,250	0.182	0.278	0.321	0.423
378,500	0.177	0.272	0.314	0.412

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Darwish et al., 2016.

الكهربائية؛ والاستثناء الوحيد هو محطة معالجة المياه العادمة المتطورة التي سعتها 85 مليون غالون في اليوم وتستخدم إزالة المغذيات البيولوجية التي تزداد كثافة طاقتها الكهربائية رغم سعتها الكبيرة. ويعزى ذلك إلى معالجة المياه العادمة المتطورة التي تستخدمها لإزالة النيتروجين والفوسفور من المياه التي تُعالج.

يعكس الجدول 14 كميات المياه اللازمة لمحطات الطاقة ذات النظم الغشائية ولا يقتصر فقط على محطات معالجة المياه العادمة التقليدية. كما أنه يورد الاستعمالات النهائية للمياه المعالجة، ما يعطي فكرة عن مدى النقاوة التي تحققها عملية المعالجة. وتوفر المعالجة الغشائية عادة منتجات ذات نوعية رفيعة، ويتطلب ذلك كميات أكبر من الطاقة. وستُتناول نُظم المعالجة الغشائية بمزيد من التفصيل في القسم 3-3، الذي يركّز على تحلية المياه.

الجدول 13. الطاقة المستهلكة نموذجيا لسعات محطات وعمليات معالجة للمياه العادمة مختلفة

وصف محطة المعالجة	كثافة الطاقة الكهربائية كيلوواط ساعة/مليون غالون (كيلوواط ساعة/متر مكعب)
مفاعل حيوي غشائي لإعادة استعمال المياه بسعة 3 مليون غالون في اليوم	4,910 (1.30)
مفاعل ذو دفعات تسلسلي بسعة 6 مليون غالون في اليوم، مواد صلبة حيوية مجففة تباع لإعادة استعمالها، تطهير بالأشعة فوق البنفسجية	2,250 (0.59)
مرشح نضّاض بسعة 20 مليون غالون في اليوم بهاضم لاهوائي	1,520.9 (0.40)
محطة مياه عادمة متطورة بسعة 85 مليون غالون في اليوم تستخدم لإزالة المغذيات البيولوجية	2,040 (0.54)

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Darwish et al., 2016.

الجدول 14. كثافة طاقة معالجة المياه المُعاد تدويرها والاستعمالات النهائية للمياه المُعاد تدويرها.

التقنيات المستخدمة	استخدام الطاقة (كيلوواط ساعة/مليون غالون)	الاستعمال النهائي
معالجة ثالثية تقليدية		
ترشيح بطبقة فحم الأنثراسيت، إزالة التمعدن والأملاح، كلّورة	982	ري، استعمال صناعي
تلبّد، ترشيح مباشر، أكسدة بأشعة فوق بنفسجية/ متقدمة	1,500	ري، استعمال صناعي
تنقية، ترشيح بالوسائط، كلّورة	1,619	ري، استعمال صناعي وتجاري
ترشيح بطبقة فحم الأنثراسيت، أشعة فوق بنفسجية	1,703	ري، استعمال صناعي
خلط سريع، تلبّد، ترشيح بالوسائط، أشعة فوق بنفسجية	1,800	ري
معالجة غشائية		
تخثر، تلبّد، تنقية، ترشيح فائق الدقّة، تناضح عكسي، أكسدة بأشعة فوق بنفسجية/ متقدمة	3,220	ري، استعمال صناعي
ترشيح دقيق، تناضح عكسي، أكسدة بأشعة فوق بنفسجية/ متقدمة	3,680	إعادة تغذية طبقة المياه الجوفية
ترشيح دقيق، تناضح عكسي، أكسدة بأشعة فوق بنفسجية/ متقدمة	3,926	حاجز لمنع تسرّب مياه البحر إلى المياه الجوفية
ترشيح فائق الدقّة، تناضح عكسي، أشعة فوق بنفسجية	4,050	استعمال صناعي
ترشيح دقيق، تناضح عكسي	4,674	استعمال صناعي
ترشيح دقيق، تناضح عكسي	8,300	استعمال صناعي رفيع الجودة

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Water in the West, 2013.

مبادرات لتحسين كفاءة الطاقة

يمكن اتخاذ عدد من المبادرات لتحسين كفاءة الطاقة في المياه ومعالجة المياه العادمة، وترد هذه في الجدول 15. وتكمّل هذه الاستراتيجية التي تستهدف العمليات الأكثر استهلاكاً للطاقة المذكورة في الجدول 15 البحث المتعلق بالشكل 15 في هذا التقرير. وعلى النحو نفسه، تمكن الإشارة إلى أن الجدول 15 يولي اهتماماً خاصاً إلى طاقة الضخ، وهو أحد أكبر الأنشطة المستهلكة للطاقة في محطات معالجة المياه العادمة.

ويصف الجدول 16 مبادرات مختلفة يمكن تنفيذها لتحسين كفاءة الطاقة في محطات معالجة المياه والمياه العادمة. وفي حين أن الجدول 15 أكثر تحديداً بشأن منطقة المصنع التي يجري فيها تنفيذ استراتيجية إدارة الطاقة، إلا أن الاستراتيجيات المذكورة ذات طابع أعم. والعكس الصحيح بالنسبة للجدول 16. ونتيجة لذلك، فإن الممارسات المشار إليها في الجدول 16 هي أمثلة على كيفية تنفيذ الاستراتيجيات المذكورة في الجدول 15.

الجدول 15. استراتيجيات كفاءة الطاقة لمحطات المياه ومحطات معالجة المياه العادمة في البلديات

الطاقة المستهلكة في العمليات	التركيز على أكثر العمليات استهلاكاً للطاقة في المحطة
الضوابط العملياتية	عمليات مصممة خصيصاً للتواؤم مع التغيرات الموسمية والنهارية
الجودة مقابل الطاقة	الموازنة بين أهداف نوعية المياه والاحتياجات من الطاقة
الإصلاح والاستبدال	النظر في عمر المعدات واستخدامها للطاقة لتوجيه الإصلاح والاستبدال
المواد الصلبة الحيوية	النظر في المقايضة بين الطاقة المستهلكة في المعالجة وتحسين نوعية المواد الصلبة الحيوية
الارتشاح/ الدفق الداخل	معالجة الارتشاح والدفق الداخل لخفض طاقة المعالجة
التسريبات والانقطاعات	معالجة التسريبات والانقطاعات لخفض طاقة الضخ
الطاقة المتجددة في الموقع	النظر في فرص التوليد في الموقع لخفض مشتريات الطاقة
الحفظ	تثقيف المجتمع المحلي: التقليل من استهلاك المياه يخفّض حمولات محطات المياه ومحطات معالجة المياه العادمة والاحتياجات من الطاقة

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Daw et al., 2012.

وتنقسم أفضل الممارسات المدرجة في الجدول 16 إلى ثلاث فئات: عامة ومياه ومياه عادمة. وفي حين تركز مجموعة الأدوات هذه على أفضل الممارسات المرتكزة إلى التكنولوجيا، يتضمن الجدولان ألف-2 وألف-3 في المرفق معلومات مفصلة (بالتحديد، الوصف، المجال الأولي/العملية الأولية، الأثر على الإنتاجية، المنافع الاقتصادية، وفور الطاقة، التطبيقات والمحدوديات، ملاحظات عملية، منافع أخرى، مرحلة القبول) عن تنفيذ بعض أفضل الممارسات العامة وتلك المتعلقة بالمياه. ويتناول الجدول ألف2 المحركات الكهربائية: تطبيقات المحركات ذات التردد المتغير، بينما يتناول الجدول ألف-3 التهوية بالفقاعات الدقيقة، ومعدل دفق المتغير للهواء المنفوخ، وضبط الأكسجين المُذاب، والتهوية اللاحقة: التهوية التسلسلية، والحمأة: استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي، والحمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي، وخفض استهلاك المياه العذبة/إعادة تدوير الفضلات النهائية السائلة، واستخدام الغاز الحيوي لإنتاج توليد مشترك للحرارة والطاقة.

ويبين الشكل 16 المعدات الشائعة الاستخدام في معالجة المياه العادمة ويعرض سلسلة الخطوات الأساسية المتّبعة في عملية المعالجة. ولا تستخدم المعدات المذكورة جميعها في مرفق معين في كل خطوة. وفي الواقع، في معظم الحالات، وخاصة فيما يتعلق بمعاملة المواد الصلبة، المعدات المختلفة المذكورة بدائل ينبغي الاختيار منها. ولكلٍ من المعدات بصمة طاقة خاصة بها ينبغي النظر فيها عند اختيار نوع المعدات المناسبة. وبمعزل عن متطلبات الطاقة، يتوقف الاختيار النهائي على الاعتبارات الاقتصادية، والاستعمال النهائي المقصود للمياه المعالجة، والمتطلبات التنظيمية، بالإضافة إلى عدد من العوامل اللوجستية والتقنية. وكمثال، يبين الجدول 17 خيارات معاملة المواد الصلبة من حيث متطلباتها النسبية من الطاقة.

وتجدر الإشارة إلى أن استهلاك محطات معالجة المياه العادمة للطاقة يعتمد أيضا على نوعية الدفق الداخل إلى المحطة[90]. وبالإضافة إلى ذلك، في أحيان كثيرة، يتطلب الحصول على أجود الفضلات السائلة وأجود المواد الصلبة معدلات أكبر من استهلاك الطاقة، ويتعين على مصممي المحطة الموازنة بين نوعية الفضلات السائلة التي يحتاجون إلى الحصول عليها وكمية الطاقة التي يرغبون في استخدامها ليتسنى ذلك[91]. ويرد ذلك أيضاً في

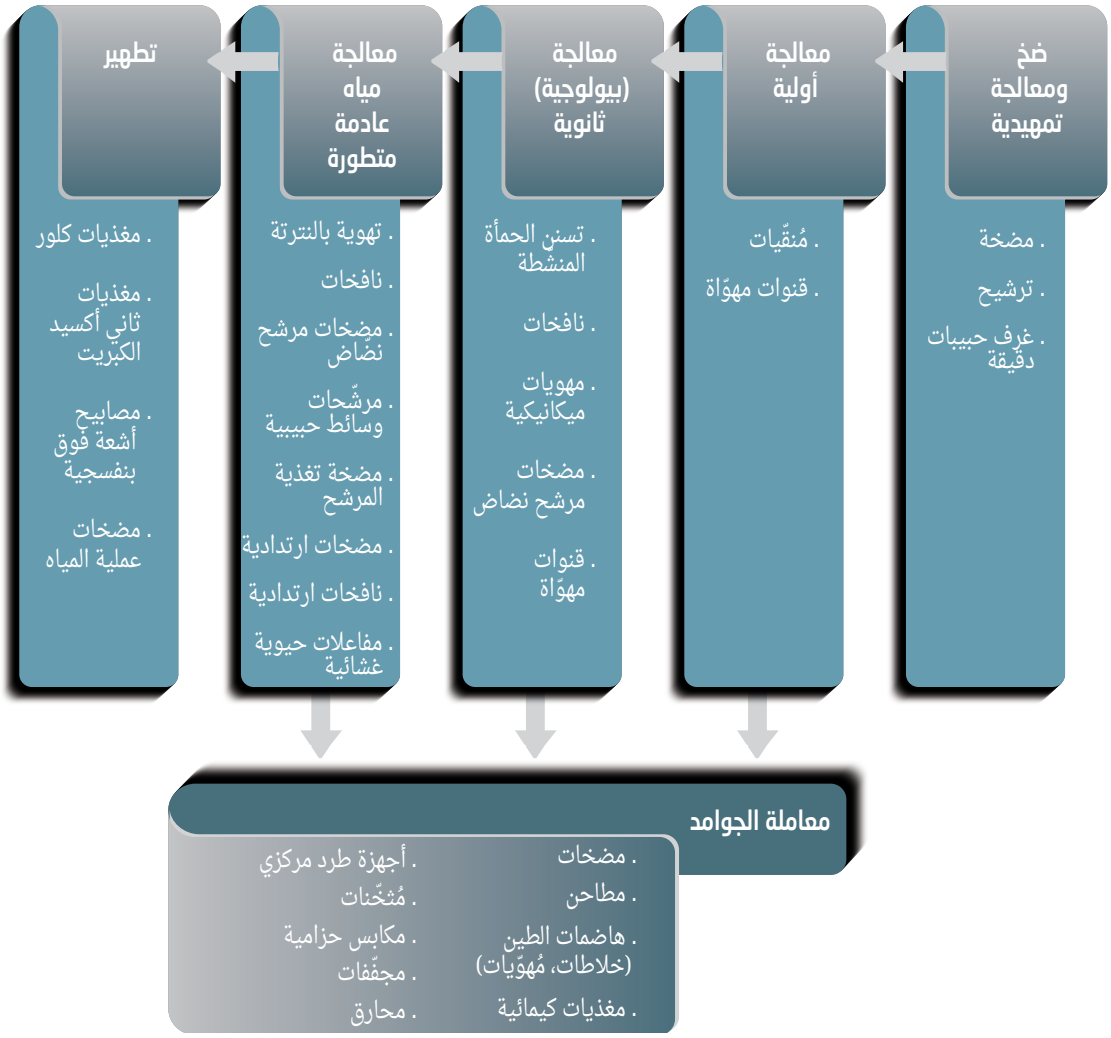
الجدول 15، ويبين الجدول 18 كيف يتفاوت مستوى الطاقة المستهلكة بتفاوت تجهيزات نظام المعالجة والعلاقة بين نوعية الفضلات السائلة والطاقة المستهلكة في عملية المعالجة. ويشير انخفاض قيم بارامترات الطلب البيولوجي الكيميائي على الأكسجين، والجوامد المعلقة والفوسفور والنترات إلى نوعية من المياه أفضل. والتوجه الآن هو تحقيق قيم أكبر لاستهلاك الطاقة للحصول على مستويات فضلات سائلة ذات جودة أعلى رغم أن المعالجة التي تجري وبالتالي المعدات المستخدمة تلعب دوراً هاماً أيضاً في تحديد قيم استهلاك الطاقة، كما سبق ذكره.

الجدول 16. أفضل الممارسات في إدارة الطاقة في مجالي المياه والمياه العادمة

أفضل الممارسات العامة	أفضل الممارسات في مجال المياه	أفضل الممارسات في مجال المياه العادمة
• **تقييم الطاقة المرفق** • **رصد الطاقة في الوقت الحقيقي** • **التثقيف في مجال الطاقة لموظفي المرفق** • **التخطيط الشامل قبل التصميم** • **تصميم المرونة لليوم والغد** • **تخفيض الذروة الكهربائية** • **إدارة هيكل أسعار الكهرباء** • **جعل المعدات تدور على نحو غير ناقل للطاقة أو إيقافها** • **المحركات الكهربائية: تركيب محركات عالية الكفاءة** • **المحركات الكهربائية: الأتمتة للرقابة والتحكم** • **نظام المراقبة الإشرافية واحتياز البيانات** • **المحركات الكهربائية: تطبيقات المحركات المتغيرة التردد** • **المحركات الكهربائية: تحديد حجم المحركات بشكل صحيح** • **المحركات الكهربائية: صيانة المحركات بشكل صحيح** • **المحركات الكهربائية: تحسين مُعامل الطاقة** • **المضخات: أمثلة كفاءة نظام الضخ** • **المضخات: تخفيض دفق الضخ** • **المضخات: تخفيض رأس الضخ** • **المضخات: اجتناب تخنيق تصريف المضخة** • **الرشح: سَلسَلة الدورات الارتدادية** • **خيارات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية** • **خيارات الطاقة المتجددة**	• إدماج الطلب من النظام مع الطلب على الطاقة • التصميم والتشغيل المدعمان بالحاسوب • كشف وإصلاح التسرب في النظام • إدارة إنتاج البئر والسحب منه • سَلسَلة عمل الآبار • أمثلة سعة التخزين • الترويج لحفظ المياه • برنامج خفض التناثر • إدارة المستخدمين ذوي الحجم الكبير	• المرونة التشغيلية • تنظيم سعة المعالجة على فترات • إدارة الذروات الموسمية/السياحية • السَلسلة المرنة لاستخدام الحوض • أمثلة نظام التهوية • التهوية بالفقاعات الدقيقة • معدل دفق متغير للهواء المنفوخ • ضبط الأكسجين المُذاب • التهوية اللاحقة: تهوية تسلسلية • الحمأة: تحسين جمع المواد الصلبة في نظام التعويم بالهواء المُذاب • الحمأة: استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي • الحمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي • خيارات هضم المواد الحيوية الصلبة • خيارات الهضم الهوائي • خيارات خلط المواد الصلبة في الهاضمات الهوائية • خيارات خلط المواد الصلبة في الهاضمات اللاهوائية • أمثلة أداء الهاضمات اللاهوائية • استخدام الغاز الحيوي لإنتاج الحرارة و/أو الطاقة • تغطية الأحواض لخفض الحرارة • استرداد الحرارة الزائدة من المياه العادمة • خفض استهلاك المياه العذبة/إعادة تدوير الفضلات النهائية السائلة

المصدر: Malcolm Pirnie، Inc، 2010.

الشكل 16 . العمليات والمعدات شائعة الاستخدام في معالجة المياه العادمة



المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Xylem, 2014 2012.

يوجز الجدولان 17 و18 استراتيجيات مختلفة لتحسين كفاءة الطاقة في محطات المياه ومعالجة المياه العادمة، لكن السؤال هو ما مدى فعالية هذه الاستراتيجيات عملياً. يعرض الجدول 19 فكرة عن كمية وفور الطاقة الممكنة الناجمة عن بعض هذه الاستراتيجيات. والبيانات الواردة في الجدول 19 هي تجميع لوفور الطاقة المحققة من تدابير كفاءة الطاقة التي يطبقها أعضاء «ائتلاف البحوث العالمية للمياه». والقيّم الموثّقة في الجدول هي تقديرات لأداء التخفيض الكهربائي وتخفيض الطاقة الأولية لكلٍ من العمليات لجميع أنواع وسعات محطات معالجة المياه العادمة من 1-100 مليون غالون في اليوم[92].

ويعرض الجدول 20 بعض القيّم لإمكانية استرداد الطاقة المحتملة من هذه الاستراتيجيات، رغم أن التقنيات التي تعالجها هذه الاستراتيجيات مكمّلة للبيانات الواردة في الجدول 17 والبيانات التي تتعلق بمحطات معالجة المياه العادمة القائمة حاليا. وتشير القيم المذكورة إلى كمية الطاقة التي سيتعين استخراجها من المياه العادمة الواردة لتوفير الاكتفاء الذاتي من الطاقة الأولية للمرفق (أي أساساً "الفجوة")[93]. وتقدر هذه الكمية بـ 1.9-7.2 ميغاجول/متر مكعب. وكما يتضح من الجدول 20، فإن نطاق وفور الطاقة كبير جداً للكثير من هذه

الجدول 17. طرق تجهيز وتصريف الجوامد

وظيفة المعاملة أو التصريف	تشغيل الوحدة وعملية الوحدة وطريقة المعالجة	الأثر على استخدام الكهرباء
العمليات التمهيدية	الضخ	معتدل
	الطحن	صغير
	إزالة الحبيبات	صغير
	خلط المواد الصلبة وتخزينها	صغير
تثخين	تثخين بالجاذبية	صغير
	تثخين بالتعويم	معتدل
	الطرد المركزي	معتدل
	التثخين بالجاذبيّة على حزام مسامي	صغير
التثبيت	التثبيت بالجير	صغير/معتدل
	المعالجة الحرارية	كبير
	الهضم اللاهوائي	صغير/معتدل
	الهضم الهوائي	معتدل/كبير
	التسميد: ركام	صغير
	الكومة الراكدة المهوّاة	معتدل
	في الوعاء	كبير
التكييف	التكييف الكيميائي	صغير
	المعالجة الحرارية	كبير
التطهير	التعقيم	معتدل
	التخزين الطويل الأجل	صغير
نزح الماء	المرشّح الخوائي	كبير
	جهاز الطرد المركزي	كبير
	مكبس الترشيح ذو الحزام	صغير/معتدل
	مكبس الترشيح	معتدل/كبير
	بسطات تجفيف المواد الصلبة	صغير
	بحيرة ترسيب النفايات	صغير
التجفيف الحراري	متغيرات المجفف	معتدل
	مبخّر متعدد التأثير	كبير
التخفيض الحراري	إحراق	كبير عندما يستخدم
	أكسدة بهواء رطب	كبير عندما يستخدم
التخلص النهائي	النشر على الأرض	صغير
	مكبّ الفضلات	صغير
	ترسيب الفضلات في بحيرة	صغير
	التثبيت الكيميائي	معتدلة

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Reekie, 2013.

الجدول 18. إجمالي استهلاك الطاقة السنوي لنظام سعته مليون غالون في اليوم نموذجي، بما في ذلك المتطلبات الكهربائية والمتطلبات من الوقود

نظام المعالجة	نوعية المياه الناجمة				الطاقة
	الطلب البيولوجي-الكيميائي على الأكسجين	جوامد مُعلّقة	فوسفور	نترات	100 كيلوواط ساعة/سنة
ترشيح سريع (بحيرة طفيليّة اختيارية)	5	1	2	10	150
وتيرة بطيئة، حيْد + ثلم (بحيرة طفيليّة اختيارية)	1	1	0.1	3	181
تصريف سطحي (بحيرة طفيليّة اختيارية)	5	5	5	3	226
بحيرة طفيليّة اختيارية + مرشح رملي متقطّع	15	15	-	10	241
بحيرة طفيليّة اختيارية + شاشات تنقية دقيقة	30	30	-	15	281
بحيرة مهوّاة + مرشح رملي متقطّع	15	15	-	20	506
تهوية موسّعة + تجفيف الحمأة	20	20	-	-	683
تهوية موسّعة + مرشح رملي متقطّع	15	15	-	-	708
مرشّح نضّاض + هضم لاهوائي	30	30	-	-	783
ملامِسات بيولوجية دوّارة + هضم لاهوائي	30	30	-	-	794
مرشح نضّاض + ترشيح بالجاذبية	20	10	-	-	805
مرشح نضّاض + إزالة النترات + مرشّح	20	10	-	5	838
حمأة منشّطة + هضم لاهوائي	20	20	-	-	889
حمأة منشّطة + هضم لاهوائي + مرشّح	15	10	-	-	911
حمأة منشّطة + نترتة + مرشح	15	10	-	-	1051
حمأة منشّطة + إحراق الحمأة	20	20	-	-	1440
حمأة منشّطة + معالجة مياه عادمة متقدمة	<10	5	<1	<1	3809
معالجة ثانوية فيزيائية كيميائية متطوّرة	30	10	1	-	4464

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Crites et al., 2014.

الاستراتيجيات، ويعود ذلك إلى تنفيذ هذه الاستراتيجيات في أنواع مختلفة من المحطات. وعلى نحو مشابه، يتأثر أداء المحطات كثيراً بالظروف البيئية في موقع معين. وبالتالي تتفاوت وفور الطاقة من موقع لآخر.

وكجزء من الخيارات التقنية المشار إليها في الجدول 20، يُذكر هاضم الغاز الحيوي اللاهوائي مرات عدة. ومع أن الهضم اللاهوائي عملية قديمة جداً،[94] إلا أنها أصبحت أكثر شيوعاً في الآونة الأخيرة لأنها تميل إلى أن تكون أقل استهلاكاً للطاقة من المعالجة الهوائية ولأنها تولد الغاز الحيوي كمنتج ثانوي[95]. ولذا يُستخدم الميثان المولّد في أحيان كثيرة كمصدر للطاقة لمحطة المعالجة نفسها. وهكذا، لدى المحطة تكاليف طاقة أخفض وكذلك بصمة كربون أخفض، وقد أصبحت لهاتين المسألتين راهناً أهمية بالغة لمحطات معالجة المياه العادمة. ومع ذلك،

الجدول 19. ملخص الوفور المحتملة من خلال استخدام أفضل الممارسات في محطات معالجة المياه العادمة

تدبير حفظ الطاقة	مرحلة المعالجة	نطاق وفور الطاقة (%)
أمثلة ضخّ المياه العادمة	في جميع أنحاء النظام	<0.7
أمثلة نظام التهوية	المعالجة الثانوية	~15-38
إضافة منطقة لا تحتوي على الأكسجين لإزالة المغذيات البيولوجية	المعالجة الثانوية	~4-15
السَلسلة المرنة لأحواض التهوية	المعالجة الثانوية	~8-22
الأشعة فوق البنفسجية العالية الكفاءة	التطهير	~4
تحسينات نظام الإضاءة	مرافق الدعم (المباني)	~2-6

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Deines, 2013.

الجدول 20. ملخص لإمكانات استرداد الطاقة باستخدام التكنولوجيات القائمة

		صافي الطاقة: خفض "الفجوة" الممكن (نسبة مئوية)
تقنية المواد الصلبة الحيوية	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بمراجل	13-57
	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بمحركات توليد مشترك	11-61
	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بتوربينات صغرية (مكروية)	5-38
	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بتوربينات	7-46
	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بخلية وقودية	6-42
	هضم لاهوائي للغاز الحيوي بعد معالجة أولية للنفايات على شكل حمأة منشطة	~2-60
	هاضم غاز حيوي لاهوائي بهضم مشترك	2-128
	إحراق	2-69
	تغويز (أي تحويل إلى غاز)	~9-82
تقنيات أخرى	إزالة معززة للمواد الصلبة	10-71
	معالجة أولية لاهوائية	25-139
	استرداد الحرارة	13-49
	هيدروليكي	0
	الأمونيا كوقود	~6-12
	الحرارة من الرّواقة (أي من السائل الصافي المستخلص بالطرد المركزي)	13-49
	خلايا وقود ميكروبية	8-110
	وقود حيوي من الطحالب	~39-208
	إزالة معززة للمواد الصلبة	10-71

المصدر: Deines, 2013.

لدى الهضم اللاهوائي، بالمقارنة مع الهضم الهوائي، بعض العيوب فهو لا يستطيع معالجة غير حجم صغير من المياه [96] وعادة يُتبع بمعالجة هوائية كجزء من معالجة لاحقة[97]. وفي الوقت ذاته، فإن عيب الهضم اللاهوائي من ناحية أنه يتطلب قدراً من الحرارة أكبر مما يتطلبه الهضم الهوائي، لا يشكّل في الواقع عيباً في منطقة الإسكوا حيث درجات الحرارة المحيطة مرتفعة نسبيا، ما يوفر بيئة مواتية لعملية الهضم اللاهوائي. وحتى عام 2009، كان هناك ما يقدر بـ 64 من المنشآت اللاهوائية في الشرق الأوسط وأفريقيا[98]. فلدى «محطة تنقية مياه الصرف الصحي في الخربة السمراء»، وهي أكبر محطة معالجة لمياه الصرف الصحي في الأردن، أربعة هواضم لاهوائيات للحمأة، وتفي المحطة بـ 80 في المائة من احتياجاتها من الكهرباء داخلياً من خلال الغاز الحيوي الذي تولده[99]. وعلى النحو نفسه، تفي محطة « الجبل الأصفر»، وهي أحد أكبر مرافق معالجة مياه الصرف الصحي في مصر، بما يصل إلى 65 في المائة من احتياجاتها من الطاقة داخليا[100]. ويجري حالياً بناء المزيد من هذه المرافق في منطقة الشرق الأوسط. فمثلاً، يجري توسيع محطة معالجة مياه الصرف البلدية في الخرج في المملكة العربية السعودية لتشمل المعالجة بالهضم اللاهوائي، ما يتيح توسيع المحطة لتغطي، لدى استكمالها في عام 2017، 50 في المائة من احتياجاتها من الطاقة بشكل مستقل عن طريق تحويل الغاز الحيوي إلى كهرباء[101].

الاستجابة للطلب

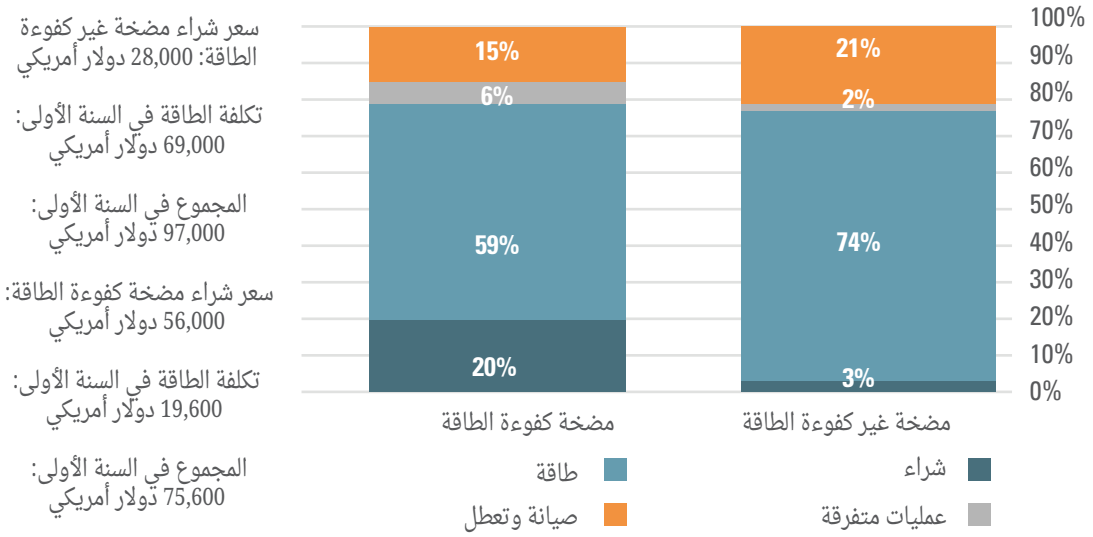
كما تبين حتى الآن، تشمل محطات معالجة المياه والمياه العادمة عدة عمليات يمكن أن تستهلك الطاقة بكثافة. وبالإضافة إلى ذلك، فإنها تعتمد على مرافق تخزين المياه لمواجهة تقلبات دفق المياه، ما يتيح لها قدراً من المرونة بقدر ما يتعلق الأمر بتشغيل بعض المعدات (مثل أجهزة الطرد المركزي والمضخات). وهذه الخصائص التي تتحلى بها محطات المياه ومعالجة المياه العادمة تجعلها مناسبة لاستراتيجيات الاستجابة للطلب. وعلى هذا النحو، يمكنها أن تنسّق مع المرافق الكهربائية لإدارة حمولتها من الكهرباء من خلال برامج الاستجابة للطلب. وهناك أربع طرق عامة يمكن من خلالها تخفيض كمية الكهرباء التي تستهلكها المحطة من الشبكة خلال فترات الذروة، وهي: (1) طرح/قصر الحمل (يتحقق، من بين أمور أخرى، بخفض شدة الإضاءة أو قطعها أو قطع التيار الكهربائي عن معدات غير حاسمة الأهمية)؛ و(2) تحويل الحمل (تحويل استخدام المعدات من فترة الذروة إلى فترة أخرى)؛ و(3) تحويل التوليد إلى الموقع؛ و(4) مزيج من الاستراتيجيات الثلاث السابقة. وبتنفيذ استراتيجيات الاستجابة للطلب، تستطيع المحطات خفض تكاليف المرفق. فمثلاً، تمكّنت محطة معالجة المياه العادمة في جنوب كاليفورنيا من خفض الطلب على الكهرباء بنسبة 30 في المائة من إجمالي حمل المحطة في يوم بعينه[102]. وكي يتسنى تحقيق ما ذكر أعلاه، يتعين على المرافق المحلية ومزودي الطاقة الكهربائية توفير برامج استجابة للطلب كهذه.

كفاءة الطاقة في نظم توزيع المياه

تستهلك نظم تزويد المياه كميات كبيرة من الطاقة خلال العمليات المختلفة على طول سلسلة الإمداد. وتشمل هذه العمليات ضخّ المياه وتوزيعها على أرجاء الشبكة. ويمكن تحسين كفاءة الطاقة، مثلاً، عن طريق تحديث تصميم محطات الضخ وزيادة سعة الخزانات وتركيب محركات متغيرة السرعة للمضخات. وتوفر هذه الأجهزة المرونة وتحسّن الكفاءة التشغيلية من خلال تمكين تحقيق قيمة ضغط معينة استجابة لظروف الدفق المتفاوتة والعكس بالعكس. ويساعد ذلك على تخفيض عدد مرات بدء ووقف المضخات، ما ييسّر عمليات أكثر توفيراً للطاقة. ويمكن أيضا خفض فقدان المياه (وبالتالي زيادة كفاءة الطاقة) في نظم التوزيع بتركيب صمامات مخفضّة للضغط على طول شبكة الأنابيب. وتخفض مثل هذه الصمامات الضغط في الأنابيب عندما يكون دفق المياه منخفضاً خارج فترات الذروة، ما يحول دون التسرب[103,104].

وفي حالة الري بالتحديد، يمكن تحسين كفاءة الطاقة باختيار أنسب طريقة للري. فمثلاً، يتطلب الري السطحي أقل قدر من الطاقة لأن المياه تتدفق بالجاذبية على امتداد الحقل، لكن هذا النظام قد يؤدي إلى زيادة فقدان

الشكل 17. تكاليف دورة الحياة لنظم ضخ غير كفؤة مقابل نظم ضخ كفؤة (نسبة مئوية)،



المصدر: Reekie, 2013.

المياه. ويمكن أن تشكّل نظم الري الدقيقة، التي تصب المياه قرب قاعدة كل نبتة خياراً مناسبا. وهذه النظم أكثر توفيراً للمياه (تخفّض فقدان المياه عن طريق البخر والارتشاح) وكذلك للطاقة (تتطلب طاقة ضخ منخفضة) وإذا كان لا بد من استخدام نظام المرشّات، فينبغي اختيار النظام الذي يستخدم أقل قدر من الطاقة[105].

ويستحوذ الضخ على جزء كبير من الطاقة التي تستهلكها نظم توزيع المياه. ونتيجة لذلك، عند تصميم هذه النظم، ينبغي الحرص على أن تكون كافة المكونات بالحجم المناسب للظروف المتوقعة. وينطبق ذلك بشكل خاص على المضخات التي تكون كلفتها الرأسمالية عادة أقل من 10 في المائة من التكاليف الكلية على مدى عمرها بينما كثيراً ما تتجاوز تكاليف الطاقة التي تستهلكها 80 في المائة من هذه التكاليف (الشكل 17)[106].

كفاءة الطاقة في تحلية المياه

تحلية المياه عملية حاسمة لبلدان الإسكوا حيث إمكانات الحصول على موارد مياه عذبة محدودة. وفي الواقع، يقع حوالي 50 في المائة من السعة العالمية لتحلية المياه في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا[107]. وبالفعل، تقع خمسة من بين أعلى عشرة بلدان تقوم بتحلية مياه البحر حسب السعة في منطقة الإسكوا، والأعلى هما المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة[108]. وعلاوة على ذلك، من المتوقع أنه بحلول عام 2050، ستستهلك المملكة العربية السعودية وبلدان أخرى في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا معظم النفط الذي تنتجه لتحلية المياه ولغير ذلك من الأغراض المنزلية[109].

ومن عيوب تحلية المياه أنها مكلفة تستهلك الطاقة بكثافة ومضرة بالبيئة. ولذا، من الأهمية بمكان زيادة كفاءة الطاقة في تقنية تحلية المياه. ويقدم الجدول 21 معلومات حول تقنيات التحلية المختلفة، ويوضح مزاياها وعيوبها، التي تتفاوت كثيراً من تقنية إلى أخرى. ويمكن أن تحدد المؤسسات أي من نوع تحلية المياه هو الأنسب لوضعها الخاص بها.

الجدول 21. مقارنة بين تقنيات تحلية المياه المختلفة

نوع المعالجة	السمات	مكامن القوة	مكامن الضعف
التناضح العكسي	• عملية غشائية مدفوعة بالضغط • يلزم إجراء معالجة تمهيدية للحيلولة دون اتساخ الغشاء • استرداد مياه البحر 30-60 في المائة • استرداد المياه الأجاج 50-80 في المائة	• تقنية سائدة • تزيل الأملاح بفعالية • مجدية للتطبيقات الكبيرة (أكثر من 25 مليون غالون في اليوم) • تنجح مع مياه البحر • تكلفة الاستثمار أقل	• كثيفة الاستهلاك للطاقة • تؤدي نسبة الاسترداد المتدنية إلى أحجام كبيرة من المياه المملحة • لا تزيل جميع الملوثات (مثل البورون) • تكلفة باهظة للمياه التي يكون فيها إجمالي الجوامد الذائبة مرتفعا • تحول الأغشية الحالية دون استخدام الضغط المرتفع
الترشيح النانوي	• عملية غشائية مدفوعة بالضغط • ضغوط أدنى من التناضح العكسي • أداء حسن للمياه المتدنية الملوحة • إمكانية إزالة ملوثات مختلفة في خطوة الترشيح نفسها	• يمكنها اختيارياً الاحتفاظ بالمعادن النادرة الصحية في مياه الشرب • تزيل الكثير من موسخات غشاء التناضح العكسي/ التناضح الأمامي المحتملة • تقنية مُثبتة	• يمكن أن يحدّ وقت التلامس غير الكافي من إزالة الملوثات • مجدية أساساً كخطوة معالجة تمهيدية
التناضح الأمامي	• عملية غشائية تناضحية مدفوعة بتفاوت الضغط • تلزم معالجة تمهيدية للحيلولة دون الاتساخ • ثبتت نسبة استرداد لمياه البحر تفوق 60 في المائة • ثبتت نسبة استرداد للمياه الأجاج تفوق 90 في المائة (بالاقتران مع التناضح العكسي) • يشكّل التناضح الأمامي بمؤازرة الضغط خياراً أيضا	• تزيل الأملاح والملوثات الأخرى، بما في ذلك البورون والزرنيخ • تخفيض كبير في متطلبات الطاقة بالمقارنة مع التناضح العكسي • طُبّق أول استخدام على نطاق تجاري في الشرق الأوسط في عُمان (Thompson and Nicoll، 2011)	• لا يزال توليد ضغط تناضحي كاف يشكّل تحديا عندما يكون إجمالي الجوامد في المياه الواردة مرتفعا • هناك حاجة إلى أغشية محسّنة لتعظيم الأداء
التحلية الغشائية	• بديل للتقنيات الحرارية التقليدية يحتاج درجات حرارة منخفضة • تعتمد على التبخر بدلاً من الغليان • تمرر الأغشية البخار فتفصله عن المياه السائلة	• تنافس التقنيات الحرارية التقليدية من حيث نوعية المياه • يمكنها بفعالية استخدام الحرارة المهدرة • نسبياً، ذات بصمة صغيرة ومنخفضة التكاليف الرأسمالية • نسبياً، غير حساسة لمستويات إجمالي الجوامد الذائبة في المياه الواردة	• لم تبرهن جدواها تماماً للتطبيقات الكبيرة الحجم • قد تتطلب الملوثات المتطايرة معالجة تمهيدية • مسائل تدهور الأغشية غير مفهومة تماما

نوع المعالجة	السمات	مكامن القوة	مكامن الضعف
البخر الندوي	• استخدام جديد لنقل الحرارة واسترداد الطاقة في عملية ترطيب/ إزالة رطوبة • شغّلت أول محطتين تجاريتين في عام 2012، لمعالجة مياه منتجة من صخور "مارسيلس" الطفّلية في بنسلفانيا، الولايات المتحدة • تعمل على مستويات الضغط الجوي • معدلات استرداد تفوق 90 في المائة • تزيل الفلزات الثقيلة والمواد العضوية والنويّدات المشعّة	• تنافس التقنيات الحرارية التقليدية من حيث نوعية المياه • استخدام كفوء للحرارة المتدنية • نسبياً، غير حساسة لمستويات إجمالي الجوامد الذائبة • غياب الأغشية يخفض احتمالات الاتساخ • تكاليف استثمار وتشغيل أدنى • بصمة أصغر	• تتطلب مساحات كبيرة لنقل للحرارة • قد تكون حساسة لدرجة الحرارة وظروف الرطوبة المحيطة • تحتاج مصرفاً درجة حرارته منخفضة • تستهلك الطاقة بكثافة إذا لم تتوفر حرارة مُهدرة
إزالة التأين السعوية	• إزالة الأيونات عبر شحن كهربائي • دورة امتزاز/ انتزاز	• تخفيضات للطاقة ممكنة للمياه الأجاج بالمقارنة مع التناضح العكسي • تكاليف رأسمالية منخفضة نسبيا • إمكانية استرداد الطاقة	• تقتصر حالياً على مياه إجمالي الجوامد الذائبة فيها أقل من 5,000 ملغرام/لتر • لا تزال تُطوّر على نطاق صغير في المختبرات
نظم هجينة مختلطة	• يمكن جمع كل ما سبق في قاطرات معالجة هجينة مختلطة • إمكانيات تعزيز استرداد واستخدام الطاقة	• يمكن أن تؤازر مكامن قوة كل من التقنيات المفردة مكامن قوة الأخرى بالتسلسل • فرص لاستخدام مفيد للمياه المُمَلّحة	• تعقيدات إضافية بالمقارنة مع نظم التقنية المفردة • يلزم إجراء تصاميم واختبارات إضافية للتسويق التجاري
أغشية معزّزة نانوياً	• تقنيات تمكينية لمجموعة متنوعة من استراتيجيات المعالجة • توفّر المواد ذات المسام النانوية إمكانيات لتحسين الانتقائية والنفاذية • تتيح الجزئيات النانونية المدمجة وضع تصاميم مصممة خصيصاً للغاية • قد تدعم المواد المركّبة نانوياً عمليات ذات ضغط مرتفع	• تحسين مقاومة الاتساخ • أغشية مصممة خصيصاً لملوثات محددة • تخفيضات في الاستقطاب السعوي • يمكن أن تزيد الهندسة المتعددة الطبقات القوة والأداء • تعزيز الدفق بمرور الوقت	• احتمال إطلاق جسيمات نانوية غير مرغوبة • ليست عواقب إطلاق جسيمات نانوية مفهومة بالتفصيل • مرحلة مبكرة من التطور التكنولوجي

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Bauer et al., 2014.

تصنّف عمليات التحلية بشكل عام إلى تقنيات حرارية أو تقنيات غشائية تبعاً لعملية الفصل المستخدمة. وفي منطقة الخليج، كانت عمليات التحلية الحرارية هي المهيمنة تقليديا، لكن التقنيات الغشائية تطورت سريعاً على مدى العقود الخمسة الماضية وهي حالياً التقنية المفضلة للمحطات الجديدة. وبالنسبة لبعض البلدان خارج منطقة الخليج العربي، مثل ليبيا والجزائر، تحققت في الآونة الأخيرة زيادات سريعة في سعة التحلية المركّبة (من عام 2000 فصاعدا) وكانت عمليات التحلية الغشائية هي التقنيات المفضلة[110]. ومن الأمثلة الهامة الأخرى، مثال مصر التي لا تزال تعتمد أساساً على نهر النيل للحصول على مواردها المائية،[111] لكنها حاليا تنشط في تطوير سعة التحلية الغشائية [112] لديها مع تزايد الفجوة بين إمدادات المياه والطلب عليها.

ويتزايد تحبيذ التقنيات الغشائية لأنها تحقق معدلات استهلاك للطاقة (2-6 كيلوواط ساعة/متر مكعب) أدنى بكثير من تقنيات التحلية الحرارية (7-14 كيلوواط ساعة/متر مكعب)[113]. والتناضح العكسي، وهو تقنية تحلية غشائية، هو التقنية المهيمنة التي تستأثر بأكثر من نصف سعة التحلية العالمية[114]. غير أنها تستهلك الطاقة بكثافة، ويستأثر استهلاكها للطاقة بجزء كبير من التكاليف التشغيلية بسبب المضخات ذات الضغط المرتفع التي تتطلبها[115]. وهذا يثبت مرة أخرى أن هناك مجالاً كبيراً للتحسين. ويمكن تنفيذ استراتيجيات مختلفة لجعل عمليات التناضح العكسي أكثر كفاءة.

ويمكن أن يزيد تحسين نظام التناضح العكسي، بتشكيل وحدات أغشية بوجه خاص، كفاءة الطاقة في النظام تحسيناً كبيراً[116] ويمكن أن يساعد ذلك على أمثَلة العمليات المعنية. ويمكن أيضا استخدام أنظمة التحكم لتحسين كفاءة الطاقة. فمثلاً، يمكن استخدام نظام التحكم ذا الحلقة المغلقة الذي يستخدم بيانات استشعار ترد في الوقت الحقيقي بالتنسيق مع متطلبات الدفق المتخلل التي يحددها المستخدم لاحتساب مجموعة النقاط المُثلى من منظور كفاءة الطاقة وتشغيل النظام على مقربة من القيم المثالية المتوقعة نظرياً[117]. وقد بيّنت اختبارات لنظام مشابه تحقيق «طاقة مُثلى»، أي عمليات حققت قيّم استهلاك مشابهة جداً لتلك المتوقعة نظريا[118]. ويمكن تخفيض إجمالي متطلبات الطاقة في نظم التناضح العكسي متعددة التمريرات عن طريق ضخ جزء من تخلل التمرير الأول إلى التمرير الثاني باستخدام أغشية تحقق أعلى نبذ للملح في التمرير الأول. وهناك تعديل آخر في التصميم يمكن استخدامه لخفض استهلاك الطاقة في نظام تناضح عكسي يعالج مياهاً شديدة الملوحة هو استخدام نظام هجين مختلط من مرحلتين، بتدريج التركيز أو باستخدام نظام أغشية رشح نانوي من تمريرين[119]. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يساعد وضع محطات التحلية الغشائية متاخمة لمحطات الطاقة على الشاطئ على تخفيض استهلاك الطاقة (بسبب ارتفاع درجة حرارة المياه الواردة)، ما من شأنه أن يخفض أيضاً الأثر البيئي للعمليات مباشرة. وعلى نحو مشابه، استخدمت في منطقة الإسكوا، تقنيات تحلية بالتناضح العكسي وتقنيات حرارية معاً في تصميم هجين مختلط يساعد على تحقيق توفيرات رأسمالية وزيادات في إنتاج المياه[120]. وبالإضافة إلى ذلك، وبما أن الضخ يستهلك كميات كبيرة من الطاقة أثناء عملية التحلية، يمكن أن يزيد تنفيذ الاستراتيجيات المذكورة في القسم 3-2 كفاءة الطاقة. كما أن الضخ المرتفع الكفاءة، الذي يستخدم محركات ممتازة الكفاءة، من بين أمور أخرى، قد يكون مفيدا. وعلاوة على ذلك، يمكن تخفيض استهلاك الطاقة في عمليات التحلية بالتناضح العكسي باستخدام أجهزة استرداد الطاقة التي يمكن أن تساعد على استرداد معظم محتوى الطاقة في رُكازات التناضح العكسي ذي الضغط العالي. ويستعاد الضغط من دفق الرُكازة بتمريرها في جهاز لاسترداد الطاقة قبل أن يجري التخلص منها[121]. ويبين الجدول 22 الاستراتيجيات التي يمكن استخدامها لتحسين كفاءة الطاقة في عمليات التحلية الغشائية. ورغم أن الهدف الرئيسي لهذه الاستراتيجيات هو خفض النفقات، إلاّ أنها لا بدّ من أن تؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة.

الجدول 22. استراتيجيات لتوفير الطاقة عن طريق خفض النفقات الرأسمالية والنفقات التشغيلية بأغشية مرتفعة الإنتاجية

الخيار	استراتيجية التصميم	الأثر الناجم	تبعات عملية
الخيار 1 (خفض النفقات التشغيلية): خفض ضغط المياه الواردة	بالمقارنة مع تصميم بأغشية ذات إنتاجية متدنية، يُستخدم العدد نفسه من أوعية الضغط والأغشية، ويُنتج معدل الدفق نفسه على مستوى الاسترداد نفسه (دفق ثابت للنافذ)	يؤدي انخفاض ضغط المياه الواردة إلى خفض استهلاك المضخة للطاقة. وبذا، يمكن تحقيق وفور في تكلفة الطاقة.	• ممكن بمضخة إزاحة موجَبة ومضخة طرد مركزي ذات محرك متغير السرعة. وفي حالة مضخة الطرد المركزي بدون محرك متغير السرعة، ينبغي تشذيب الدفّاعات أو إزالة أقسام الدفّاعات من المضخات المتعددة المراحل. • قد يؤدي تشغّيل عناصر ذات إنتاجية أعلى على ضغط أدنى للتماشي مع الدفق المصَمم للعناصر ذات الإنتاجية الأدنى إلى زيادة تركيز الملح في الدفق النافذ؛ ينبغي التحقق من ذلك.
الخيار 2 (خفض النفقات التشغيلية والنفقات الرأسمالية): زيادة الناتج والاسترداد في المحطة	بالمقارنة مع تصميم بأغشية ذات إنتاجية متدنية، يُستخدم العدد نفسه من أوعية الضغط والأغشية.	زيادة إنتاج المياه واستردادها. تعني زيادة إنتاج المياه تحقيق وفور رأسمالية في عناصر وأوعية الضغط، ويعني ارتفاع الاسترداد تكلفة رأسمالية أقل في المعالجة التمهيدية وتكلفة تشغيلية أقل للضخ والمعالجة التمهيدية.	• ينبغي التحقق من أن صمامات التحكّم في المياه المملحة، وأنابيب المنتج والمياه المملحة، والتخزين والمعالجة اللاحقة يمكن أن تستوعب معدلات التدفق المعدّلة؛ • زيادة متوسط الدفق على مستوى الاسترداد نفسه قد يسفر عن تغييرات طفيفة في نوعية النافذ؛ • ينبغي التحقيق في تأثير ارتفاع الاسترداد على التحرشف في المياه المملحة واتخاذ الاحتياطات الضرورية؛ • تنبغي أيضاً مقارنة الارتفاع المتوقع في تركيز المياه المملحة مع حدود التركيز في المياه المصرّفة وغير ذلك من الأنظمة البيئية؛ • قد يؤدي الدفق الأعلى للنافذ على العناصر الرصاصية، وارتفاع متوسط دفق النافذ و/أو انخفاض دفق المياه المملحة إلى تعديل في عملية الاتساخ. وينبغي تقييم الآثار المحتملة لذلك.

الخيار	استراتيجية التصميم	الأثر الناجم	تبعات عملية
الخيار 3 (خفض النفقات الرأسمالية): دفق أعلى على مستوى الاسترداد نفسه	بالمقارنة مع تصميم بأغشية ذات إنتاجية متدنية، يُستخدم الضغط نفسه للمياه الواردة والاسترداد نفسه، ولكي يُرفع دفق النافذ.	**الخيار 3 أ: على مستوى ناتج المحطة نفسه، أوعية وعناصر ضغط أقل، تحقيق وفور في التكلفة الرأسمالية؛**	• تؤدي زيادة متوسط الدفق على مستوى الاسترداد نفسه إلى انخفاض مرور الملح لأن دفق الملح يظل ثابتا. ولذا هذا خيار لتحسين نوعية النافذ؛ • ينبغي التحقق من أنه يمكن لسعة مضخة المعالجة التمهيدية للمياه الواردة استيعاب ارتفاع الدفق المطلوب في هذا الخيار.
		الخيار 3ب: زيادة السعة على مستوى العدد نفسه من أوعية وعناصر الضغط.	• ينبغي التحقق من أن صمامات التحكّم في المياه المملحة، وأنابيب المنتج والمياه المملحة والتخزين والمعالجة اللاحقة يمكن أن تستوعب معدلات الدفق المعدّلة؛ • قد يؤدي الدفق المرتفع للنافذ على عناصر الرصاص، وارتفاع متوسط دفق النافذ و/أو انخفاض دفق المياه المملحة إلى تعديل عملية الاتساخ. وينبغي تقييم الآثار المحتملة. • تؤدي زيادة متوسط الدفق على مستوى الاسترداد نفسه إلى انخفاض مرور الملح لأن دفق الملح يظل ثابتا. ولذا هذا خيار لتحسين نوعية النافذ؛ • ينبغي التحقق من أنه يمكن لسعة مضخة المعالجة التمهيدية للمياه الواردة استيعاب ارتفاع الدفق المطلوب في هذا الخيار.

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Busch and Mickols, 2004.

وتجدر الإشارة إلى أنه في حالة التناضح العكسي، إذا رُسم إجمالي الطاقة المطلوبة لكل حجم من النافذ كدالّة للاسترداد، فإن أجمالي الطاقة المطلوبة ينخفض في البداية كلما ازداد الاسترداد، ولكن بعد قيمة عتبة تبلغ 50-55 في المائة، تبدأ المتطلبات من الطاقة في التزايد مع تزايد الاسترداد[122]. ولذا، فإن استهداف تحقيق استرداد أكبر من قيمة العتبة يخفض كفاءة الطاقة حتى وإن ازداد المنتج من العملية. ونتيجة لذلك، هناك مقايضة بين هذين البارامترين، ما يشكل حافزاً لإجراء البحث والتطوير لتقنيات تحلية أكثر كفاءة.

اعتماد الكفاءة على مصدر الطاقة

لا يمكن للحلول التقنية أن تحسّن كفاءة الطاقة لعمليات التحلية إلا بقدر معين. وبالإضافة إلى ذلك، في بلدان منطقة الإسكوا، أصبح الحصول على الموارد أصعب نظراً لمحدودية الإمدادات، خاصة عندما يتعلق الأمر بالمياه العذبة. ونتيجة لذلك، ستظل تحلية المياه عملية هامة في المنطقة، وفي ضوء انخفاض احتياطيات الوقود الأحفوري وزيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، يصبح تزوّد تحلية المياه بالطاقة المتجددة أمراً لا مناص منه. وقد أضحت هذه الخيارات بالفعل أفضل بديل عندما يتعلق الأمر بنظم توليد الطاقة القائمة بذاتها في المناطق النائية. ولدى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية جميعها إمكانية تزويد الطاقة لعمليات التحلية. ولا تتفاوت كفاءة الطاقة لنوع معين من التحلية تفاوتاً كبيراً تبعاً لما إذا كان مصدر الطاقة المستخدم متجدداً أم تقليدياً[123]. وأحد أكبر عيوب الطاقة المتجددة هو تقطعها. وهناك حاجة على الدوام للمياه المُحلاة في منطقة الإسكوا، وتشكّل مطابقة هذا الطلب مع إمدادات الطاقة المتجددة تحدياً. ويمكن استخدام خيارات مختلفة مثل إدارة جانب الطلب وتخزين الطاقة لمواجهة هذا التحدي. أكثر من ذلك، تنحو التكاليف الرأسمالية المرتبطة بخيارات الطاقة المتجددة إلى أن تكون باهظة. وهذه، إلى جانب عوامل من مثل حجم المحطة المخطط إنشاؤها وإمكانات الطاقة المتجددة في المنطقة، ذات أهمية عند تحديد مصدر/مصادر الطاقة لمحطة تحلية[124].

مؤشرات أداء رئيسية للترابط بين المياه والطاقة

من أهداف هذه الأدوات تيسير تعزيز قدرات الطاقة والموارد المائية في بلدان الإسكوا. ولقياس التحسّن في هذه المجالات، ينبغي وضع مؤشرات كتلك التي يرد وصفها في هذا القسم. وقد وضعت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، مثلاً، مؤشرات متكاملة للترابط بين المياه والطاقة والأمن الغذائي تعالج مسائل المياه المستدامة والطاقة المستدامة والأمن الغذائي. وتغطي مؤشرات المياه المستدامة إمكان الحصول على الموارد المائية للاستخدامات المختلفة، وإدارة الموارد المائية واستخدامها المستدامين، وقدرة المجتمعات والنظم الإيكولوجية على الصمود في وجه الكوارث المتعلقة بالمياه. وتغطي مؤشرات الطاقة المستدامة إمكان الحصول على خدمات الطاقة الحديثة وكفاءة استخدام الطاقة ومستويات نقاء الطاقة المنتجة والمستهلكة وقابليتها للتجديد[125].

مؤشرات استخدام المياه للخدمات المتعلقة بالمياه والطاقة

عند التطرق للمؤشرات المتعلقة باستخدام المياه، يكون هدف التنمية المستدامة 6 ذا صلة. يرمي هذا الهدف إلى «ضمان توافر المياه وخدمات الصرف الصحي للجميع وإدارتهما إدارة مستدامة»[126]. ويتناول هذا الجزء من الهدف المتعلق بالإدارة المستدامة للمياه الخدمات المتعلقة بالمياه والطاقة وبالتالي كفاءة المياه. ويبين الجدول 23 بعض المقاصد المحددة في إطار الهدف 6 والمؤشرات المختلفة المرتبطة بكلٍّ من هذه المقاصد.

ولا يمكن تحقيق الاستخدام المستدام للموارد المائية دون التنسيق المكثّف بين الوحدات التي تطور الموارد المائية وتديرها وتستهلكها. وبالتالي ترمي المقاصد والمؤشرات في إطار الهدف 6 إلى مساعدة الجهات المعنية على تقييم الموارد المائية والاستفادة منها باستخدام منظور أكثر شمولية. وذلك ناجم عن اعتماد نهج أكثر تكاملاً يسهل زيادة التعاون بين مختلف الوحدات والقطاعات[127]. وهذه المؤشرات، التي استحدثت كجزء من تقرير الأمم المتحدة عن تنمية المياه في العالم لعام 2014، محاولة أولى لتجميع المؤشرات المتعلقة بترابط المياه والطاقة. ورغم أنها قد تعتبر كاملة نسبيا، إلا أنها لا تيسر كثيراً تحديد النقط الحرجة في مجال الطاقة والمياه[128].

وعلى نحو مشابه، حدّد البنك الدولي مؤشرات ذات صلة باستخدام المياه للخدمات المتعلقة بالمياه والطاقة. ومع أن هذه المؤشرات تميل إلى أن تكون عامة بطبيعتها، يمكن مع ذلك تطبيقها على قطاعات/صناعات محددة. فمثلاً، المؤشر السنوي العام لسحب المياه العذبة (كنسبة مئوية من الموارد الداخلية) مؤشر يمكن قياسه وتطبيقه فيما يتعلق بقطاع الطاقة[129].

"البيانات الموثوقة والشاملة عن الترابط بين المياه والطاقة نادرة، ما يثبط اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن العمليات والاستثمارات كما بشأن رصدها على المدى الطويل"[130]. وينطبق هذا بصفة خاصة على البيانات المتعلقة بتوفر المياه واستهلاكها، ذلك أن توزيع المياه يميل إلى التفاوت بتفاوت المكان والزمان، وتنقسم الموارد المائية إلى مياه سطحية ومياه جوفية، وهذه الموارد تحتسب بشكل مختلف من بلد لآخر. وفي الواقع، في الوقت الحاضر، اشتق معظم التقديرات العالمية لاحتياجات قطاع الطاقة من المياه من افتراضات[131]. ولذا يشكّل تحدياً كل من صياغة وتنفيذ مؤشرات موثوقة متعلقة بكفاءة استخدام المياه في قطاع الطاقة بوجه خاص، وبالتالي سياسات إدارة المياه الفعّالة لتلبية احتياجات قطاع الطاقة. ولذا، من المهم أن تطلب الحكومات من مرافق إنتاج الطاقة تقارير عن بيانات استخدامها للمياه كي يمكن تنفيذ المؤشرات ذات الصلة بسهولة أكبر، وبالتالي استخدامها في وضع السياسات.

وينبغي أن تأخذ مؤشرات استخدام المياه في قطاع الطاقة بالاعتبار أيضا الجوانب البيئية؛ فالمؤشرات التي تركز فقط على قيم استخدام المياه قد تشجع عن غير قصد ممارسات غير مستدامة. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تكون المؤشرات خاصة بكل منطقة، وتعالج التحديات المتعلقة باستخدام المياه في المناطق المختلفة. وبصفة عامة، ينبغي أن توفر المؤشرات بيانات تمكن مقارنتها بفعالية بشكل معقول؛ فمثلاً، إذا كانت القيم التي تقارن تتعامل مع مصادر مياه مختلفة (المياه السطحية والجوفية)، لن يكون التحليل الناجم سليما[132].

Glass light bulb with water and cityscape inside © Sergey Nivens - shutterstock_328601216.

الجدول 23. المقاصد والمؤشرات المتعلقة بالهدف 6 وكفاءة المياه

المقصد	مجال المقصد	رقم المقصد	مؤشر عالمي	رقم المؤشر العالمي
"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	نوعية المياه والمياه العادمة	6-3	نسبة مياه الصرف الصحي المعالجة بطريقة آمنة.	1-3-6
			نسبة الكتل المائية الآتية من مياه محيطة ذات نوعية جيدة.	2-3-6
"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."	استخدام المياه وندرتها	4-6	التغير في كفاءة استخدام المياه على مدى فترة من الزمن	6-4-1
			حجم الضغط المائي الذي تتعرض له المياه: سحب المياه العذبة كنسبة من موارد المياه العذبة	6-4-2
"تنفيذ الإدارة المتكاملة لموارد المياه على جميع المستويات، بما في ذلك من خلال التعاون العابر للحدود حسب الاقتضاء، بحلول عام 2030"	إدارة الموارد المائية	5-6	درجة تنفيذ الإدارة المتكاملة للموارد المائية	1-5-6
			نسبة منطقة حوض المياه العابرة للحدود التي لها ترتيبات تنفيذية تتعلق بالتعاون في مجال المياه	2-5-6
"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 الاستعمال، بحلول عام 2030"	التعاون الدولي وبناء القدرات	6-أ	مقدار المساعدة الإنمائية الرسمية ذات الصلة بالمياه والصرف الصحي التي تعد جزءا من خطة حكومية منسّقة للإنفاق	1-أ6

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Water, work in progress-UN.

مؤشرات استخدام المياه للخدمات المتعلقة بالمياه

الطاقة المستدامة للجميع هي مبادرة عالمية أطلقها عام 2011 الأمين العام للأمم المتحدة بان كي-مون. وهي تشرك جميع قطاعات المجتمع وتهدف إلى تحقيق ثلاثة مقاصد بحلول عام 2030، وهي: ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة، ومضاعفة المعدل العالمي للتحسن في كفاءة استخدام الطاقة الخدمات المتصلة بمؤشرات لاستخدام الطاقة للمياه.

مؤشرات استخدام الطاقة للخدمات المتعلقة بالمياه

الطاقة المستدامة للجميع هي مبادرة عالمية أطلقها عام 2011 الأمين العام للأمم المتحدة بان كي-مون. وهي تشمل جميع قطاعات المجتمع، وتهدف إلى تحقيق ثلاثة أهداف بحلول عام 2030، هي بالتحديد: إتاحة حصول الجميع على خدمات الطاقة الحديثة؛ ومضاعفة المعدل العالمي لتحسين كفاءة الطاقة؛ ومضاعفة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة العالمي[133]. ولا يمكن قياس مضاعفة كفاءة الطاقة إلاّ باستخدام مؤشرات الطاقة. وتساعد مؤشرات الطاقة للتنمية المستدامة، بشكل عام، على توضيح المعلومات الإحصائية لرصد التقدم المحرز في السياسات المتعلقة بالطاقة وتوفير طريقة لتقييم مقترحات سياسات الطاقة[134]. ويجري تيسير هذه الأنشطة من خلال نمذجة نظام الطاقة. وتنظر مؤشرات الطاقة للتنمية المستدامة في الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للطاقة. ومن الأمثلة على هذه المؤشرات الحصة من دخل الأسرة المعيشية التي تنفق على الوقود والكهرباء، واستخدام الطاقة لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي، وانبعاثات ملوثات الهواء من نظم الطاقة[135].

ولا يمكن قياس كفاءة الطاقة بدقة إلاّ عند النظر في عمليات وتكنولوجيات مفردة. ولا تتوفر للعديد من البلدان بيانات لمثل هذه القياسات؛ وحتى عندما تتوفر، فإنها تؤدي إلى مؤشرات كثيرة جداً، ما يصعّب تقييم الحالة بطريقة شمولية. ونتيجة لذلك، المؤشر الذي تستخدمه مبادرة الطاقة المستدامة للجميع لقياس كفاءة الطاقة، على النحو المبين في تقارير «إطار التتبع العالمي» الذي يقيس التقدم المحرز نحو تحقيق أهداف الطاقة المستدامة للجميع، هو كثافة الطاقة (تقاس عادة على أنها معدل النمو السنوي المركب لكثافة الطاقة الأولية كنسبة مئوية من الناتج المحلي الإجمالي مقاساً بتعادل القوة الشرائية)[136]. وهناك ميل إلى استخدام هذا المتغير لغرض المقارنة العالمية كبديل لكفاءة الطاقة، إذ يبدو أن البيانات اللازمة لتحديد كثافة الطاقة متوفرة بسهولة أكبر. وكثافة الطاقة تقريبية لأن قيمتها تتأثر بأكثر من مجرد التباينات في كفاءات الطاقة للعمليات الأساسية. كما أنها عرضة لعوامل مثل تقلب المناخ والتغيرات في مجموعة مصادر الطاقة الأولية. وللتعويض عن ذلك جزئيا، يمكن استخدام أساليب التفكيك الإحصائي التي تتيح إزالة آثار التركيب[137].

ويمكن التعبير عن كثافة الطاقة من منظورات وطنية وقطاعية لتوفير تمثيل لكفاءة الطاقة أكثر اكتمالا. ويمكن قياس استهلاك الطاقة بمعايير الطاقة الأولية والنهائية. والطاقة الأولية أكثر صلة عند النظر في مقاييس كثافة الطاقة على مستويات الإجمال المرتفعة، بينما الطاقة النهائية أكثر صلة عند النظر في كثافة الطاقة من المنظور القطاعي والقطاعي الفرعي[138]. وبما أن التقلبات في قيم كثافة الطاقة ممكنة، من المفيد النظر في معدل النمو السنوي المركب في الحسابات. ويذكر تقرير «إطار التتبع العالمي» لعام 2015 أنه بسبب استمرار التحسن في كثافة الطاقة انخفض استهلاك الطاقة في عام 2012 بنسبة 25 في المائة مقارنة بمستوى الاستهلاك المرتقب لو أن كثافة الطاقة لم تتغير منذ عام 2000. وقد تحسّن متوسط القيمة السنوية لكثافة الطاقة بـ1.7 في المائة خلال الفترة 2010-2012؛ وكانت تلك أكبر من قيم التحسّن في كثافة الطاقة المناظرة خلال الفترة 1990-2010، لكنها لم تصل إلى المستوى الذي تتطلبه مبادرة الطاقة المستدامة للجميع (أي تحسّن سنوي بنسبة 2.6 في المائة بين عامي 2010 و2030)[139]. ونتيجة لذلك، يلزم اتخاذ المزيد من الإجراءات لبلوغ هدف هذه المبادرة.

وبالمقارنة مع القطاعات الأخرى، تستهلك الصناعة معظم الطاقة في جميع أنحاء العالم،[140] وينبغي أن تُعالج مسائل كفاءة الطاقة كما عالجتها مجموعة الأدوات هذه. وذلك أسهل لأن قطاع الصناعة هو الذي تتوفر عنه معظم المعلومات على المستوى الكلي[141]. وباستخدام مؤشرات تصف استهلاك الطاقة في الصناعة، يمكن تصميم سياسات يكون لها أثر أكبر على خفض معدلات استهلاك الطاقة.

يندرج بعض مؤشرات الكفاءة لقطاعات مختلفة في الجدول 24. وهو يشمل القطاع السكني لأنه في البلدان العربية يستهلك قدراً من الطاقة، يبلغ 41 في المائة، أكبر مما يستهلك القطاع الصناعي، الذي تبلغ حصته 26 في المائة (قيَم عام 2011). ومن المهم تذكّر أنه إذا كان لبلدين معينين القيمة ذاتها لمؤشر معين، فهذا لا يستتبع بالضرورة أن أداءهما متماثل؛[142] فالعوامل التي يتعين النظر فيها هي حالة التنمية لكل بلد وتوفر موارد الطاقة المحلية فيه. ويمكن تقييم التقدم المحرز لكل بلد فعلياً من خلال تحليل التغيرات في قيّم المؤشر على مدى فترات زمنية معينة[143].

وقد أخذت المؤشرات المذكورة في الجدول 24 من مطبوعة تغطي البلدان العربية التالية: الأردن وتونس والجزائر والجمهورية العربية السورية وفلسطين ولبنان وليبيا ومصر والمغرب واليمن. ويتألف قطاع تحويل الطاقة في هذه البلدان أساسا من مصافي النفط الخام ومرافق توليد الطاقة. والقيم المتوسطة التقريبية لبعض المؤشرات لهذه البلدان هي كما يلي:

- كثافة الطاقة الأولية: 0.459 طن مكافئ نفطي/ 1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000 في عام 2009 (مقابل القيمة المتوسطة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 0.174 طن مكافئ نفطي/1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000)؛
- كثافة الطاقة النهائية: 0.268 طن مكافئ نفطي/ 1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000 في عام 2009 (مقابل القيمة المتوسطة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 0.108 طن مكافئ نفطي/1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000)؛
- كثافة الكهرباء: 642 كيلوواط ساعة/1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000 في عام 2009 (مقابل القيمة المتوسطة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: 324 كيلوواط ساعة/1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000)؛
- الاستهلاك المحدد لتوليد الطاقة: 220 طن مكافئ نفطي/جيغاواط ساعة في عام 2009 (مقابل قيمة 224 طن مكافئ نفطي/جيغاواط ساعة في عام 2003)؛
- كثافة الطاقة النهائية: 0.24 طن مكافئ نفطي/ 1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000 في عام 2009 (مقابل قيمة 0.30 طن مكافئ نفطي/ 1000 دولار بالقيمة الثابتة لعام 2000)؛
- استهلاك الطاقة للمسكن الواحد: 616 كيلوغرام مكافئ نفطي في عام 2009 (مقابل قيمة 545 كيلوغرام مكافئ نفطي في عام 2003)[144].

تبين هذه القيم إمكانية التحسين لهذه البلدان نسبة إلى بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (عند النظر في مؤشرات مثل كثافة الطاقة الأولية وكثافة الطاقة النهائية وكثافة الكهرباء)، وعموماً (عند النظر في مؤشر وحدة استهلاك الطاقة لكل مسكن). وعلى الرغم من أن كثافة الطاقة النهائية لقطاع الصناعة والاستهلاك المحدد لتوليد الطاقة تحسّنت من عام 2003 إلى عام 2009، ينبغي تذكر أن هذه القيّم يمكن أن تكون مختلفة جداً للبلدان المستوردة للطاقة والبلدان المصدرة لها. فالبلدان العربية التي يُتطرق لها هنا تستورد الطاقة أكثر ممل تصدّرها، ولذا إذا كانت القيم المتوسطة هذه قد غطت منطقة الإسكوا بأكملها، بما في ذلك بلدان الخليج، التي هي أساسا بلدان مصدرة للطاقة، يمكن أن تختلف قيّم المؤشرات اختلافاً كبيرا. وهناك أيضا بلدان في مرحلة انتقالية مثل مصر، التي تنتقل من كونها مصدرة صافية للطاقة إلى مستوردة لها[145]. وبما أن مجموعة الأدوات هذه تولي اهتماما كبيرا لتوليد الكهرباء، تجدر الإشارة هنا إلى أن مؤشر الاستهلاك المحدد لتوليد الطاقة (انظر الجدول 24)، الذي يقيس فعالية سعة توليد الطاقة المركّبة، يعتمد على بارامترات مثل تقنية توليد الكهرباء، خليط الطاقة، تقادم المحطات، حصة الطاقة المتجددة، وموارد الطاقة المتنوعة لتوليد الكهرباء، وكفاءة تشغيل المحطات وصيانتها، وشكل منحنى طلب الحمولة[146].

الجدول 24. مؤشرات كفاءة الطاقة

المختصرات	المؤشرات	الوحدة	التعريف
	المؤشرات على المستوى الكلي (الماكرو)		
EDR	نسبة الاعتماد على الطاقة	%	(إنتاج الطاقة/إجمالي الاستهلاك الداخلي للطاقة)
IPE	كثافة الطاقة الأولية	طن مكافئ نفطي/ 1000من العملة المحلية	النسبة بين استهلاك الطاقة الأولية والناتج المحلي الإجمالي
IFE	كثافة الطاقة النهائية	طن مكافئ نفطي/ 1000 من العملة المحلية	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائية والناتج المحلي الإجمالي
RFEPE	نسبة استهلاك الطاقة النهائية إلى الطاقة الأولية	%	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائية واستهلاك الطاقة الأولية
REB	نسبة فاتورة الطاقة الوطنية إلى الناتج المحلي الإجمالي	%	النسبة بين فاتورة الطاقة الوطنية والناتج المحلي الإجمالي
RPSE	نسبة معونات الدعم العامة للطاقة إلى الناتج المحلي الإجمالي	%	النسبة بين الإعانات العامة الوطنية والناتج المحلي الإجمالي
AEF	متوسط معامل الانبعاث	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/طن مكافئ نفطي	النسبة بين إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لقطاع الطاقة وإجمالي الاستهلاك الداخلي
ICO2	كثافة ثاني أكسيد الكربون	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/1000 عملة محلية	النسبة بين إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لقطاع الطاقة والناتج المحلي الإجمالي بالأسعار الثابتة
AECH	متوسط استهلاك الطاقة الأولية للساكن الواحد	كيلو طن مكافئ نفطي/ 1000 للساكن	النسبة بين استهلاك الطاقة الأولية وعدد السكان
AELCH	متوسط استهلاك الكهرباء للفرد من السكان	ميغاوات ساعة/ الفرد من السكان	النسبة بين إجمالي استهلاك الطاقة وعدد السكان
	مؤشرات قطاع التحويل		
SREC	حصة سعة الكهرباء من الطاقة المتجددة المركّبة	%	النسبة بين سعة الكهرباء من الطاقة المتجددة المركّبة (باستثناء المائية) وإجمالي سعة المحطات المركّبة
URIC	معدل استخدام سعة محطات الطاقة المركّبة	%	النسبة بين إجمالي الكهرباء المنتجة (جميع المصادر مشمولة) وإجمالي سعة المحطات المركّبة
AETS	الكفاية الظاهرية لقطاع تحويل الطاقة	%	النسبة بين إجمالي مخرجات الطاقة لقطاع التحويل ككل (قبل فواقد التوزيع) وإجمالي مدخلات الطاقة إلى قطاع تحويل الطاقة
PGEFF	كفاءة توليد الطاقة لمحطات الطاقة الحرارية	%	النسبة بين إجمالي الكهرباء المولّدة من محطات الطاقة الحرارية ومدخلات الوقود الأحفوري لمحطات الطاقة الحرارية

المختصرات	المؤشرات	الوحدة	التعريف
SCFFP	الاستهلاك المحدد لمحطات الطاقة الحرارية	طن مكافئ نفطي/جيغاواط ساعة	النسبة بين إجمالي مدخلات الطاقة من جميع محطات الطاقة الحرارية في البلد وإجمالي الكهرباء التي تنتجها تلك المحطات
PGF	كفاءة توليد الطاقة	%	النسبة بين إجمالي محطات توليد الكهرباء ومدخلات الوقود الأحفوري لمحطات الطاقة الحرارية
SCPG	الاستهلاك المحدد لتوليد الطاقة	طن مكافئ نفطي/جيغاواط ساعة	النسبة بين إجمالي مدخلات الطاقة من جميع محطات الطاقة في البلد وإجمالي الكهرباء التي تنتجها محطات الطاقة تلك
TDEE	كفاءة نقل وتوزيع نظام الكهرباء	%	النسبة بين إجمالي مخرجات الكهرباء لنظام النقل والتوزيع وإجمالي مدخلات الكهرباء لنظام النقل والتوزيع
PGEF	معامل انبعاث توليد الطاقة	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ جيغاواط ساعة	النسبة بين إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من نظام توليد الطاقة الوطني وإجمالي الكهرباء المنتجة، جميع التقنيات والموارد مشمولة
ESEF	معامل انبعاثات قطاع الكهرباء	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ جيغاواط ساعة	النسبة بين إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من نظام توليد الطاقة الوطني وإجمالي مخرجات الكهرباء لنظام النقل والتوزيع
	مؤشرات القطاع الصناعي		
FEIIS	كثافة الطاقة النهائية لقطاع الصناعة	طن مكافئ نفطي/ 1000من العملة المحلية	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائي للقطاع الصناعي والقيمة المضافة لقطاع الصناعة بالأسعار الثابتة
IEBR	نسبة فاتورة الطاقة إلى القيمة المضافة لقطاع الصناعة	%	النسبة بين فاتورة الطاقة للقطاع الصناعي والقيمة المضافة لقطاع الصناعة
IESR	نسبة معونات الدعم العامة للطاقة إلى القيمة المضافة	%	النسبة بين معونات الدعم العامة للقطاع الصناعي والقيمة المضافة لهذا القطاع
IESRGB	نسبة معونات الدعم العامة للطاقة إلى الموازنة الحكومية	%	النسبة بين معونات الدعم العامة لقطاع الطاقة والموازنة الحكومية
IELSR	نسبة معونات الدعم العامة للكهرباء إلى القيمة المضافة	%	النسبة بين معونات الدعم العامة لقطاع الكهرباء والقيمة المضافة لقطاع الصناعة
IICO2	كثافة ثاني أكسيد الكربون لقطاع الصناعة	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/1000 عملة محلية	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائي للقطاع الصناعي والقيمة المضافة لقطاع الصناعة بالأسعار الثابتة
FEIIS	كثافة الطاقة النهائية لقطاع الصناعة	طن مكافئ نفطي /1000عملة محلية	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائي للقطاع الصناعي والقيمة المضافة لقطاع الصناعة بالأسعار الثابتة

المختصرات	المؤشرات	الوحدة	التعريف
	مؤشرات القطاع السكني		
UCED	وحدة استهلاك الطاقة للمسكن الواحد	كيلو مكافئ نفطي/السكن	النسبة بين إجمالي استهلاك الطاقة النهائية لقطاع الأسر المعيشية ومجموع عدد المساكن
SCEM²	استهلاك الكهرباء المحدد لكل وحدة مساحة	كيلو مكافئ نفطي /متر مربع	النسبة بين إجمالي استهلاك الكهرباء السنوي لقطاع الأسر المعيشية وإجمالي مساحة الأسر المعيشية
UEICD	وحدة استهلاك الكهرباء لكل مسكن	كيلوواط ساعة/ المسكن	النسبة بين إجمالي استهلاك الطاقة السنوي لقطاع الأسر المعيشية ومجموع عدد المساكن
SCEIM	استهلاك الكهرباء المحدد لكل متر مربع	كيلوواط ساعة/متر مربع	
RIPE	كثافة القطاع السكني	طن مكافئ نفطي/ 1000من العملة المحلية	النسبة بين استهلاك الطاقة النهائي للقطاع السكني والاستهلاك الخاص للأسر المعيشية بالأسعار الثابتة
RELSR	نسبة معونات الدعم العامة للطاقة إلى الاستهلاك الخاص	%	النسبة بين الإعانات العامة للقطاع السكني والاستهلاك الخاص بالأسعار الثابتة
RESRGB	نسبة معونات الدعم العامة للقطاع السكني إلى الموازنة الحكومية	%	النسبة بين الإعانات العامة لقطاع الطاقة والموازنة الحكومية
RAEF	متوسط معامل الانبعاث	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/طن مكافئ نفطي	النسبة بين إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري للقطاع السكني والاستهلاك النهائي للقطاع السكني
RICO2	كثافة ثاني أكسيد الكربون للقطاع السكني	طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون/1000من العملة المحلية	النسبة بين إجمالي انبعاثات غاز الاحتباس الحراري للقطاع السكني والقيمة المضافة للقطاع السكني بالأسعار الثابتة
RDRSHR	معدل انتشار سخانات المياه بالطاقة الشمسية في القطاع السكني	متر مربع /1000ساكن	النسبة بين إجمالي مساحة سخانات المياه بالطاقة الشمسية في القطاع السكني وعدد السكان

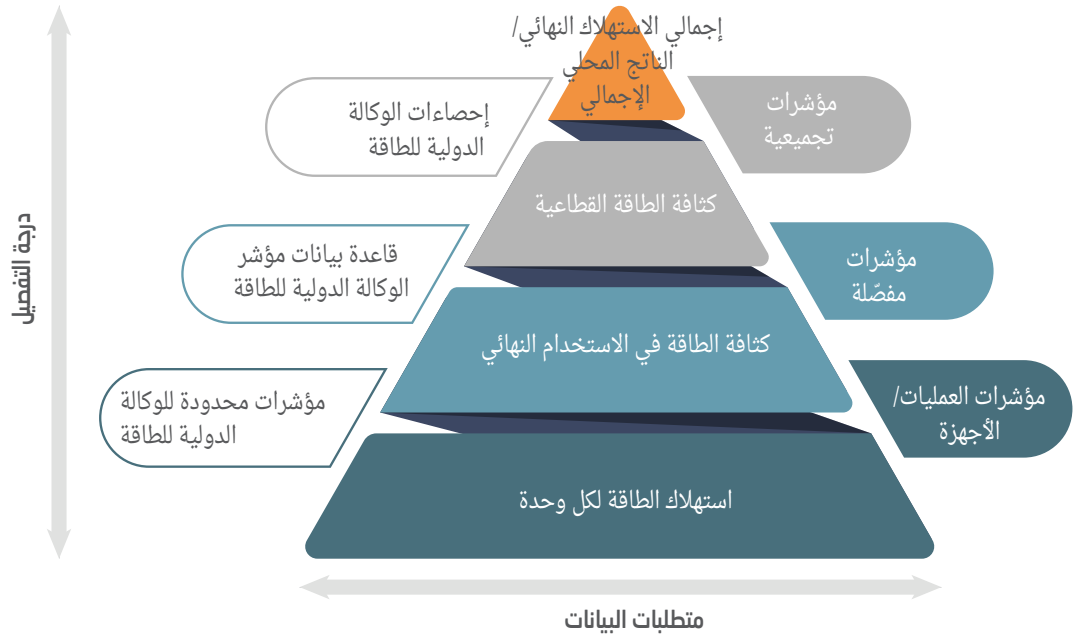
المصدر: استنادا إلى بيانات من Missaoui, Ben Hassine and Mourtada, 2012.

تعلّق النقاش حتى الآن أساساً بمنظور الأمم المتحدة لمؤشرات كفاءة الطاقة. بالمقارنة مع ذلك، يرتكز نهج الوكالة الدولية للطاقة إلى هرم المؤشرات المبين في الشكل 18. ويصور هذا الهيكل تسلسلاً هرمياً لمؤشرات الطاقة مع تناقص مستويات التفصيل كلما صعدنا أعلى. وبعبارة أخرى، كلما انخفض المستوى كلما اقتضى ذلك توفير كميات أكبر من البيانات وتحليلات أكثر تعقيدا. والصف الأعلى من الهرم هو نسبة استهلاك الطاقة إلى متغير اقتصاد كلي (ماكرو) مثل الناتج المحلي الإجمالي أو عدد السكان. ويمكّن ذلك من تقييم استهلاك الطاقة في ضوء القوى الدافعة له. والصف الثاني من الهرم هو لمؤشرات تورد بالتفصيل كثافة الطاقة (استهلاك الطاقة لكل وحدة من النشاط) للقطاعات الرئيسية.

ويمكن أن تكون المؤشرات ذات الصلة لهذه المجموعة من أدوات استهلاك المياه ومعالجة المياه العادمة للطاقة، مثلاً. وتمثل الصفوف السفلى للهرم استهلاك الطاقة للقطاعات الفرعية أو لتطبيقات محددة/استخدامات نهائية. وينبغي أن تستخدم المؤشرات ذات درجات التجميع الأعلى والأدنى استخداماً فعّالاً لتحليل استخدام الطاقة للخدمات المتعلقة بالمياه، لوضع سياسة سليمة تبعاً لذلك. والتسلسل الهرمي في الشكل 18 مفيد لأنه يبين كيف أن التغيرات على المستويات الأدنى، بسبب عوامل من مثل التقدم التكنولوجي والتغيير السياساتي والتغير السلوكي والإصلاح الهيكلي، قد تؤدي جميعها إلى تغيرات في استهلاك الطاقة على نطاق أعم[147]. وبالتالي يمكن تحديد المسائل المعينة التي ينبغي أن تركز عليها السياسات في المستقبل.

وفيما يتعلق بنظام الإمداد بالمياه تحديداً، فإن مؤشر الطاقة ذا الصلة المقترح هو المؤشر الهيكلي الذي يأخذ بالاعتبار كيف يتأثر استهلاك الطاقة بالتوزيع المكاني للمستخدمين ومصادر المياه[148]. ونتيجة لذلك، يُعرّف الحد الأدنى من الطاقة على أنه الطاقة المطلوبة لإمداد متر مكعب من المياه للمستخدمين بضغط 6 بار (ضغط المياه النموذجي في الصنبور). ولكن حسب مؤشر آخر، الحد الأدنى من الطاقة هو الفرق بين الطاقة الكامنة للمياه التي أوصلت (على مدى وحدة زمنية) والطاقة الكامنة لنفس كمية المياه في المصدر. ومؤشر النوعية هو نسبة الطاقة

الشكل 18. التسلسل الهرمي لمؤشرات الطاقة للوكالة الدولية للطاقة



المصدر: IEA (بدون تاريخ).

الفعلية (الطاقة المستخدمة فعلاً) إلى الحد الأدنى من الطاقة؛ وهو يستخدم لتقييم مجمل كفاءة نظام الإمداد بالمياه[149]. وتشمل مؤشرات الرابطة الدولية للمياه الأخرى ذات الصلة:

- متوسط استهلاك طاقة الضخ في النظام لكل متر مكعب إلى رأس يبلغ 100 متر؛
- النسبة المئوية من إجمالي استهلاك الطاقة للضخ التي تقابل استهلاك طاقة تفاعلية؛
- النسبة المئوية من إجمالي استهلاك الطاقة للضخ التي استردت باستخدام مضخات توربينية عكسية؛
- كفاءة استخدام موارد الطاقة (كيلوواط ساعة/ متر مكعب) لخدمات المياه العادمة؛
- الاستهلاك المعياري للطاقة (كيلوواط ساعة/متر مكعب/100 متر) لخدمات إمدادات المياه[150].

الجدول 25. مؤشرات ممكنة لتتبع ترابط الطاقة والمياه على المستوى القطري في أنحاء العالم

العنصر	المؤشر	توفر البيانات	المصدر الحالي أو المحتمل
آثار الطاقة على إمكان الحصول على المياه	المياه (متر مكعب) المضخوخة/المُعالجة / المُوزّعة/ المُحلاة حسب مصدر الطاقة/التقنية (إن من خارج الشبكة)	بيانات محدودة على مستوى المرفق العام	
	زمن الإغلاق (ساعات) والخسائر التشغيلية (دولار) بسبب مسائل تتعلق بالطاقة (على مستوى مرفق المياه العام)	لا توجد بيانات عامة	
متطلبات قطاع المياه من الطاقة	كثافة الطاقة (جيغاغول/متر مكعب) وتكلفة الوحدة (دولار/متر مكعب) حسب مصدر الطاقة/التقنية (إن خارج الشبكة) لمياه الشرب/المياه العادمة المُعالجة/ المياه المُحلاة	بيانات محدودة على مستوى المرفق العام	تقرير المياه العالمي 2014
	كثافة الطاقة (جيغاغول/متر مكعب) وتكلفة الوحدة (دولار/مكعب) لتسخين المياه حسب مصدر الطاقة (إن من خارج الشبكة)	لا توجد بيانات	
متطلبات قطاع الطاقة من المياه	مياه (متر مكعب) مسحوبة/ مُستهلكة/ مُصرّفة حسب مصدر الطاقة (تقنية التبريد) على مستوى مرفق إنتاج الطاقة	بيانات محدودة	برنامج IEA 2012/ الكشف عن الكربون
	عدد محطات الطاقة العاملة حسب مصدر الطاقة وتقنية التبريد	بيانات محدودة	برنامج IEA 2012/ الكشف عن الكربون
	كثافة المياه المسحوبة /المُستهلكة/المُصرّفة (غالون/ميغاواط ساعة) حسب مصدر الطاقة على مستوى مرفق إنتاج الطاقة، والكشف عن نوع التبريد (لمحطات الطاقة الحرارية)، ونوع المياه المستخدمة (مياه عذبة، مياه مالحة، أخرى) والمناخ الإقليمي	بيانات عامة محدودة أو غير موجودة	إطار الطاقة من أجل المياه/ برنامج الكشف عن الكربون
	معدل العائد (كيلوغرامات أو هكتارات) والكمية اللازمة من المياه (متر مكعب) لأهم محاصيل الوقود الحيوي (على الصعيد القطري)	بيانات محدودة	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
	تكلفة المياه المسحوبة (دولار/لتر) لقطاع الطاقة (حسب مرفق الطاقة)	بيانات عامة محدودة أو غير موجودة	
	عدد شركات الطاقة التي تكشف عن استخدامها للمياه (سحب، استهلاك، تصريف) والمخاطر المتعلقة بالمياه	بيانات محدودة	برنامج الكشف عن الكربون

يلخص الجدول 25 هذا القسم من مجموعة الأدوات بإيراد قائمة بالمؤشرات لكل من استعمالات المياه المتعلقة بخدمات الطاقة واستخدام الطاقة المتعلق بخدمات المياه. وهذه القائمة هي محاولة أولية من إطار التتبع العالمي لجمع مؤشرات محتملة لرصد ترابط الطاقة والمياه في جميع البلدان. ويقر إطار التتبع العالمي أن هذه المؤشرات ليست نهائية؛ بل «يقصد بها حفز النقاشات حول إطار لتتبع الترابط في المستقبل»[151]. وفي الواقع، تهدف مبادرة الطاقة المستدامة للجميع إلى حفز « ثورة بيانات لقطاع الطاقة»[152]. وهناك حاجة ماسة لهذه الثورة؛ فمجرد إلقاء نظرة خاطفة على عمود توفر البيانات في الجدول 25 كفيل بتبيان الافتقار إلى توفر البيانات عن المؤشرات المختلفة. وبالتأكيد ليست البلدان العربية استثناءً عندما يتعلق الأمر بهذا النقص في توفر البيانات؛ ومع ذلك، ينبغي بذل كثير من الجهد لقياس البارامترات ذات الصلة بدقة، ما سيساعد في تحسين المحاسبة من ناحية تحقيق البلدان أهداف مبادرة الطاقة المستدامة للجميع.

العنصر	المؤشر	توفر البيانات	المصدر الحالي أو المحتمل
أثر قطاع الطاقة على الموارد المائية	النسبة المئوية من المياه المُعالجة قبل التصريف على مستوى مرفق إنتاج الطاقة	بيانات محدودة	برنامج الكشف عن الكربون
	عدد طبقات المياه الجوفية الملوّثة أثناء الحفر المتعلق باستخراج الطاقة	بيانات محدودة	
	عدد مرافق استخراج الطاقة التي تعيد تدوير المياه	بيانات محدودة	
	النسبة المئوية من المياه المتوفرة (الكلية) التي تستخدمها أنشطة الطاقة	بيانات محدودة	إطار الطاقة من أجل المياه
	مستويات الإجهاد المائي قبل وبعد إنشاء أنشطة الطاقة	بيانات محدودة	إطار الطاقة من أجل المياه
المخاطر المتعلقة بالمياه بالنسبة لشركات الطاقة	النسبة المئوية لشركات الطاقة التي تعتبر المسائل المتعلقة بالمياه خطراً رئيسياً على عملياتها	بيانات محدودة	برنامج الكشف عن الكربون
	النسبة المئوية لشركات الطاقة التي تقيّم المخاطر المتعلقة بالمياه	بيانات محدودة	برنامج الكشف عن الكربون
السياسة والتخطيط المتكاملين	التغير المتصور على مدى 20 عاما لأهمية المياه للطاقة حسب حكومات البلدان (مقياس بالنسب المئوية، من انخفاض كبير إلى زيادة كبيرة)	بيانات محدودة	UNEP 2012
	سياسة/استراتيجية/خطة طاقة وطنية تتضمن عنصر إدارة موارد مائية (مقياس بالنسب المئوية، تصنّف إدارة الموارد المائية من غير ذات صلة إلى منفذّة بالكامل)	بيانات محدودة	UNEP 2012
	كميات المياه اللازمة واستدامة المياه التي تؤخذ بالاعتبار في مرحلة التخطيط أو أثناء وضع المشاريع (نعم/لا)	لا توجد بيانات	

المصدر: اعدّ استناداً على بيانات من World Bank, 2015.

يزود تقرير المياه العالمي الصادر عن برنامج الكشف عن الكربون المستثمرين بمعلومات عن كيف تحدد الشركات المخاطر وتديرها وتخفف من آثارها وعن الفرص المتعلقة بالمياه. ويساعد «إطار الطاقة من أجل المياه» الجهات الفاعلة في مجال الطاقة على تقييم وإعداد تقارير عن العلاقات بين أنشطة إنتاج الطاقة وبيئة الطاقة المحلية من خلال تطوير مصطلحات ومنهجيات مشتركة. وهو فريق عمل تابع لشراكة الابتكار الأوروبي بشأن المياه.

الكفاءة - تحسين التقنيات: منظور مالي

حتى الآن، لم يركّز هذا التقرير بشكل أساسي على الآثار المالية لاستراتيجيات كفاءة المياه والطاقة الموصى بها. ومع ذلك، هناك تكاليف مالية و/أو منافع مرتبطة بهذه الاستراتيجيات. ويساعد الجدول 26 على فهم المنظور المالي لبعض ممارسات زيادة كفاءة الطاقة عن طريق ذكر فترة الاسترداد لكل من هذه الممارسات. وكما يتبين من الجدول، هناك تباين كبير فيما يتعلق بالاسترداد بالنسبة للعديد من هذه الاستراتيجيات، ذلك أن فعالية هذه الممارسات تتوقف إلى حد كبير على عوامل مثل موقع المحطة، وأنواع محددة من العمليات التي تجري بالتنسيق مع هذه الممارسات، وخطط تسعير الطاقة/المياه، وغير ذلك. ولذا، يلزم قبل تنفيذ أي استراتيجية إجراء تحليل شامل على أساس كل حالة على حدة.

يعرض الجدول 27 معلومات عن تكاليف الاستثمار وتكاليف المياه لتقنيات تحلية المياه المختلفة. ومن الواضح أنه كلما ازدادت حاجة العمليات إلى الطاقة، كلما ازدادت أيضا تكلفة المياه اللازمة لها. كما يبدو أن تكاليف الاستثمارات تتزايد بشكل مواز. وبما أن تكاليف الاستثمار تتفاوت على مدى هذه الطائفة الواسعة، فمن الصعب استخلاص أي من هذه الاستنتاجات. وتكلفة تحلية المياه باستخدام التقنيات المختلفة تعتمد على الموقع المخصوص. ويمكن، مثلاً، توفير مزيد من الوضوح حول إجمالي تكاليف المياه بمعرفة أنواع الوقود التي تستخدم لتزويد محطة لتحلية المياه بالطاقة. ومع ذلك، وبصفة عامة، تستخدم عمليات التحلية القائمة على الطاقة الحرارية مواد ومعدات باهظة الثمن، وتستهلك كميات أكبر من الطاقة النوعية وتتطلب كميات من المواد الكيماوية أكبر مما تتطلب عمليات التحلية الغشائية[153]. وهذه هي الأسباب الهامة التي تكمن وراء الانتشار الحالي لتقنيات التحلية الغشائية.

الجدول 26. وفور طاقة وفترات استرداد نموذجية لأفضل الممارسات في قطاع المياه والمياه العادمة

أفضل الممارسات	وفور طاقة نموذجية للوحدة الواحدة من العمليات (نسبة مئوية)	سنوات الاسترداد النموذجية
عام		
رصد الطاقة في الوقت الحقيقي	20-5	متفاوتة
خفض الذروة الكهربائية	متفاوتة	أقل من 1
محركات كهربائية: تركيب محركات عالية الكفاءة	10-5	أقل من 2
محركات كهربائية: تطبيقات محركات ذات تردد متغير	40-10	5-0.5
محركات كهربائية: استخدام الأتمتة للرصد والتحكم	متفاوتة	متفاوتة
محركات كهربائية: تحسين عامل القدرة	متفاوتة	متفاوتة
مضخات: أمثلة كفاءة نظام الضخ	30-15	3-0.25

أفضل الممارسات	وفور طاقة نموذجية للوحدة الواحدة من العمليات (نسبة مئوية)	سنوات الاسترداد النموذجية
معالجة المياه		
إدماج طلب النظام وطلب الطاقة في طلب النظام	متفاوتة	متفاوتة
التصميم والتشغيل المدعومان بالحاسوب	متفاوتة	متفاوتة
إدارة إنتاج البئر والسحب منه	متفاوتة	متفاوتة
سلسَلة عمليات البئر	متفاوتة	متفاوتة
كشف التسريب في النظام وإصلاحه	متفاوتة	متفاوتة
أمثَلة سعة التخزين	متفاوتة	متفاوتة
المياه العادمة		
تنظيم سعة المعالجة على مراحل	30-10	<2
أمثَلة استخدام نظام التهوية	70-30	3-7
تهوية فقاعية دقيقة	75-20	1-5
معدل متغير لدفق هواء المنفاخ	50-15	< 3
ضبط الأكسجين المُذاب	50-20	2-3
تهوية لاحقة: تهوية تسلسلية	متفاوتة	متفاوتة
خيارات الهضم الهوائي	50-20	متفاوتة
خيارات تقنية النافخ	25-10	7-1
تقييم تشكّل نظام التهوية	متفاوتة	متفاوتة
الحمأة: تحسين التقاط الجوامد في التعويم بالهواء المُذاب DAF	متفاوتة	متفاوتة
الحمأة: تقييم استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي	متفاوتة	متفاوتة
حمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي	متفاوتة	متفاوتة
خيارات هضم المواد الحيوية الصلبة	متفاوتة	متفاوتة
خيارات خلط المواد الحيوية الصلبة في الهاضمات الهوائية	50-10	3-1
خيارات خلط المواد الحيوية الصلبة في الهاضمات اللاهوائية	متفاوتة	متفاوتة
استرداد حرارة المياه العادمة	متفاوتة	متفاوتة
خيارات خلط المنطقة الناقصة الأكسجين	50-20	5-3
إزالة النيتروجين في الرافد الجانبي	متفاوتة	متفاوتة
كفاءة طاقة البرج الحيوي	30-15	متفاوتة
أمثَلة أداء الهاضمات اللاهوائية	متفاوتة	متفاوتة
استخدام غاز حيوي للتوليد المشترك للحرارة والطاقة	متفاوتة	متفاوتة
تقييم الغاز الحيوي للاستخدام المفيد	متفاوتة	متفاوتة

المصدر: استنادا إلى بيانات من Public Service Commission of Wisconsin, 2016.

الجدول 27. تكاليف استهلاك الطاقة والمياه (متوسط القيم) لعمليات تحلية تجارية كبيرة

العملية	طاقة حرارية كيلوواط ساعة/متر مكعب	طاقة كهربائية كيلوواط ساعة/متر مكعب	إجمالي الطاقة كيلوواط ساعة/متر مكعب	الكلفة الاستثمارية دولار أمريكي/متر مكعب/يوم	الكلفة الإجمالية للمياه دولار أمريكي/متر مكعب
تقطير ومضي متعدد المراحل	12-7.5	4-2.5	16-10	2500-1200	* (1.5-0.8)
تقطير متعدد الآثار	7-4	2.5-1.5	9-5	2000-900	1.2-0.7
تناضح عكسي لمياه البحر	-	** (4-3)	4-3	0052-900	1.2-0.5
تناضح عكسي للمياه الأجاج	-	0.5-2.5	2.5-0.5	1200-300	0.4-0.2

المصدر: استنادا إلى بيانات من Ghaffour, Missimer and Amy, 2013.
* بما في ذلك معونات الدعم (سعر الوقود).
* * بما في ذلك نظام استرداد الطاقة.

ذُكرت إعادة تدوير المياه في هذا التقرير كوسيلة لزيادة الكفاءة. ومن حيث التكلفة، أحد أكبر الآثار الاقتصادية لإعادة تدوير المياه ناجم عن تركيب نظام أنابيب لتوزيع المياه المعاد تدويرها (ما يسمى بالأنابيب الأرجوانية). ويساعد استخدام نظام أنابيب منفصل للمياه المعاد تدويرها على إبقائها منفصلة عن مياه الشرب. وتبعاً لخصائص المشروع المعين (مثل موقع المشروع ومواد الأنابيب)، يمكن أن يكون تركيب شبكة أنابيب جديدة «باهظ التكلفة»،[154] لكن تكلفة تركيب أنبوب أرجواني تتفاوت تبعا لعوامل مثل قُطر الأنبوب ونوع الأنبوب المستخدم وأين يركّب. فمثلاً، تركيب أنابيب في مناطق بنيّة منخفضة الكثافة (أراضٍ طوّرت سابقا ولم تعد مستخدمة) أكثر تكلفة بكثير من تركيب هذه الأنابيب في مناطق مطوّرة تطويراً عالي الكثافة أو مساحات خضراء (أراضي غير مطوّرة)[155]. و«التشبّك Reticulation" هو المصطلح المستخدم لوصف البنية التحتية على مستوى الشارع اللازمة لنقل المياه المعاد تدويرها إلى المنشآت التجارية والسكنية حيث ستستخدم، أي الأنابيب الأرجوانية. ويقدّر تقرير أسترالي أن هذه التكاليف تبلغ 1.30-1.90 دولار أسترالي لكل كيلولتر من المياه[156]. ويقدر التقرير نفسه أن التكاليف المباشرة المرتبطة بخطة جديدة لإعادة تدوير المياه (تمثل جميع النفقات الرأسمالية والتشغيلية باستثناء تكاليف التشبّك) يمكن أن تكون نحو 2 دولار أسترالي لكل كيلو ليتر من المياه[157]. وهذا يعطي فكرة عن مدى ما يمكن أن يكون عليه حجم تكاليف بناء الأنابيب الأرجواني.

حوافز اقتصادية لتحقيق استخدام أكفأ من جانب المستهلكين

اعتاد كثيرون من سكان منطقة الإسكوا دفع تعرفات دنيا للمياه والطاقة بسبب معونات الدعم التي تقدمها حكوماتهم. وأدى ذلك إلى ارتفاع معدلات الاستهلاك، ولا سيما في بلدان مجلس التعاون الخليجي. فمثلاً، المملكة العربية السعودية هي ثالث أكبر مستهلك للمياه في العالم،[158] وتشاركها في ذلك الموقع الإمارات العربية المتحدة[159]. غير أن الوضع آخذ في التحول ببطء. فقد شرّعت الإمارات العربية المتحدة مؤخراً زيادات في تعرفتي المياه والكهرباء وشرّعت المملكة العربية السعودية زيادات في تعرفة الكهرباء[160]. وينطبق ذلك على بلدان الإسكوا خارج منطقة مجلس التعاون الخليجي: فقد أخذ كل من الأردن ومصر في تخفيض معونات الدعم ما سيؤدي إلى زيادات في التعرفات،[161،162] ويفكر لبنان في إحداث تغييرات كذلك[163]. ومن السابق لأوانه مناقشة نتائج هذه التغييرات في السياسات، ولكن ما من شك في أن الكثير منها مطلوب. وبصفة عامة، تكاليف إنتاج هذه المنافع أكبر من المبلغ الذي يُحصّل من مدفوعات التعرفات. ولذا، لا يمكن تيسير الاستثمارات اللازمة لاعتماد المزيد من تقنيات طاقة ومياه أكثر كفاءة إلا بتنظيم التعرفات على نحو أكثر فعالية.

وفي الإمارات العربية المتحدة، أجرت «جمعية الإمارات للحياة الفطرية» بالاشتراك مع «الصندوق العالمي للأحياء البرية» مسحاً إحصائياً نموذجياً في عام 2015 يهدف إلى إبداء تعليقات على الحواجز التي تواجه تنفيذ تدابير كفاءة استخدام المياه والطاقة في القطاع الخاص في البلد والحلول لها. ووفقاً لنتائج المسح، لم يعتبر 24 في المائة من المجيبين أن فاتورة الخدمة تشكّل تكلفة كبيرة في حين أعتبر ذلك 53 في المائة من المجيبين. وعلاوة على ذلك، حُددت أسباب عدم قيام المؤسسات بتنفيذ تدابير كفاءة، على أنها: لم يُنظر فيها بعد (41 في المائة)، والافتقار إلى الأموال (31 في المائة)، والافتقار إلى الخبرة في تنفيذ مثل هذه التدابير (28 في المائة)، وتحقيق الكفاءة يأتي في مرتبة دنيا على سلم الأوليات (27 في المائة)[164]. ويشير ذلك إلى أن هناك إمكانية تحسين تنفيذ تدابير الكفاءة في منطقة الإسكوا.

الاستنتاجات والتوصيات

تنفيذ تدابير لرفع كفاءة المياه والطاقة موضوع ينبغي إيلاء مزيد من الاهتمام له في جميع أنحاء العالم. ولم يتطور اعتماد مثل هذه التدابير بالسرعة المرغوبة لعدد من الأسباب، بما في ذلك الصعوبات المالية ومحدودية الحصول على البيانات ذات الصلة والافتقار إلى الوعي. ويؤمل أن يعالج بعض هذه الحواجز من خلال مجموعة الأدوات هذه.

واستناداً إلى البيانات المقدمة في هذه الوثيقة، يمكن استنتاج أنه لا يوجد حل مثالي لتحقيق الكفاءة لجميع بلدان الإسكوا. وينبغي تقييم الاستراتيجيات بالإشارة إلى الحالة المعنية. وقد وجّه هذا التقرير اهتماماً خاصاً لصناعة النفط والغاز، وذلك لأهمية هذا القطاع الكبيرة لمنطقة الإسكوا، كما بحث تدابير لتحقيق كفاءة أكبر في موارد النفط والغاز.

وفيما يتعلق بكفاءة المياه، كانت إعادة تدوير المياه العادمة استراتيجية جرى تناولها مراراً عبر القطاعات: فمن بين أمور أخرى، تمكن إعادة تدوير المياه من المغاسل في المكاتب والمساكن وإعادة استخدامها لتنظيف المراحيض، وتمكن معالجة المياه المنتجة لاستخدامها في أبراج التبريد في صناعة النفط والغاز. وبما أن المعايير البيئية لتصريف المياه أصبحت أكثر صرامة، فإن إعادة تدوير مثل هذه المياه تصبح أكثر جدوى ومستحسنة من منظور الأمن المائي.

وقد كانت عملية تحلية المياه موضع بحث آخر في هذا التقرير، بما أنها التقنية الرئيسية المستخدمة للحصول على المياه الصالحة للشرب في المنطقة. ويمكن أن تلعب تقنيات تحلية المياه الأكفأ من ناحية الطاقة دوراً محورياً في تحسين إجمالي استهلاك الطاقة في المنطقة. ومرة أخرى، هناك عدة مزايا وعيوب لكل تقنية من تقنيات التحلية. والتناضح العكسي هو التقنية المفضلة في الوقت الراهن، ولكن لا يزال هناك مجال للتحسين؛ ويجري بسرعة اعتماد استخدام الطاقة المتجددة لتشغيل محطات تحلية المياه كمشاريع تجريبية في المنطقة، مثل برنامج «مصدر» لتحلية المياه بالطاقة المتجددة في الإمارات العربية المتحدة، كما أن هناك مشاريع قيد التشييد، مثل محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية في «الخفجي» في المملكة العربية السعودية.

أما النظم الذكية التي لا تتطلب تكاليف رأسمالية ضخمة نسبياً فلديها القدرة أيضاً على زيادة الكفاءة. وتساعد مثل هذه التقنيات على المواءمة بين العرض والطلب وخفض الطلب. ونظراً لأن الموارد المائية في منطقة الإسكوا محدودة، قد يعتبر أمن المياه مسألة أكثر إلحاحاً من أمن الطاقة. ولكن بسبب الترابط بين المياه والطاقة، سيؤثر التركيز على تحسين كفاءة الطاقة تأثيراً إيجابياً على أمن المياه في المنطقة.

الجدول ألف.1 مزايا وعيوب تقنيات معالجة المياه المختلفة وقابليتها للتطبيق في صناعة النفط والغاز

المعالجة	التفاصيل (الوصف)	المزايا	العيوب	مجرى المخلفات	تطبيقات المياه المنتجة من النفط والغاز
			إزالة النفط		
جهاز فصل ذو لوحة مضلّعة	فصل النفط الطليق عن الماء بفعل الجاذبية معزّزاً بالتخثر على سطح اللوحات المضلّعة	لا تتطلب طاقة، رخيصة الثمن، فعالة لإزالة كميات كبيرة من النفط وإزالة الجوامد المعلّقة، لا أجزاء متحركة، تقنية متينة ومقاومة للأعطال في الحقل	غير كفؤة لجسيمات النفط الدقيقة وتتطلب وقت استبقاء مرتفع وصيانة عالية	جسيمات ملاط معلّقة في أسفل جهاز الفصل	استخراج النفط من المستحلبات أو من المياه ذات المحتوى العالي من النفط قبل التصريف، على الأرجح أن تكون المياه الواردة مياهاً نتجت من خزّانات مدفوعة بدفق الماء أو خزّانات غمرت بالمياه، قد تحتوي المياه نفطاً وشحماً بتركيز أعلى من 1000 ملغرام / لتر
جهاز طرد مركزي	فصل النفط الطليق عن المياه بفعل قوة طرد مركزية مولّدة عن طريق تدوير أسطوانة جهاز الطرد المركزي	إزالة كفؤة لجسيمات النفط الصغيرة والجوامد المعلّقة، زمن استبقاء قليل، وطاقة إنتاجية عالية	تتطلب طاقة للتدوير، كلفة صيانة عالية	جسيمات ملاط معلّقة كمخلفات معالجة مسبقة	
فرّازة مخروطية Hydroclone	فصل النفط الطليق بفعل قوة طرد مركزي تولدها مدخلات مجرى رافد مضغوط عرضياً	وحدات مدمجة، كفاءة وطاقة إنتاجية عالية لجسيمات النفط الصغيرة	تتطلب طاقة للضغط على المدخل، لا فصل للجوامد، اتساخ، تكاليف صيانة أعلى		
التعويم بالغاز	تعلّق جسيمات النفط بفقاعات غاز مُستحثّة وتطفو إلى السطح	لا أجزاء متحركة، كفاءة عالية بسبب الاندماج، تشغيل سهل، متينة ومعمّرة	تولّد كمية كبيرة من الهواء، زمن الاستبقاء للفرز، حجم الرغوة	حجم الرغوة، كتل من النفط	

الاستخراج	إزالة النفط الطليق أو المُذاب القابل للذوبان في محلول هيدروكربوني أخف	لا تتطلب طاقة، تشغيل سهل، يزيل النفط المُذاب	استخدام مذيبات، مناولة المستخرجات، إعادة توليد المذيبات	مخلفات إعادة توليد المذيبات	إزالة النفط من مياه ذات محتوى من النفط والشحم منخفض (أقل من 1000 ملغم / لتر) أو إزالة كميات نزرة من النفط والشحم قبل المعاملة الغشائية. عادة، تحتوي خزّانات النفط وخزّانات الغاز الطبيعي المهيمنة كميات من هيدروكربونات سائلة. قد لا يحتوي الغاز الطبيعي الحيوي المنشأ كغاز الفحم الحجري أي سوائل في الخزّان ولكن عندما يُضخّ إلى السطح، تأخذ المياه سوائل التشحيم من المضخات.
أوزون/بيروكسيد الهيدروجين/ الأكسجين	المؤكسدات القوية تؤكسد الملوثات القابلة للذوبان وتزيلها كترسبات	تشغيل سهل، كفؤة للمعالجة الأولية للمكونات القابلة للذوبان	تزويد المؤكسد في الموقع، فصل الترسبات، ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي، الخ	تترسب الجوامد على شكل ملاط	
امتزاز	الوسط المسامي يمتص الملوثات من المجرى الرافد	وحدات طبقة مدمجة، رخيصة الثمن، كفؤة	زمن استبقاء عالي، أقل كفاءة على تركيز المواد الأولية الأعلى	مواد الامتزاز المستعملة، المخلفات الناجمة عن إعادة التوليد	
			تطهير		
ضوء أشعة فوق بنفسجية/ أوزون	يُنتج تمرير ضوء الأشعة فوق البنفسجية أو الأوزون أيونات هيدروكسيل تقتل الجراثيم	تشغيل بسيط ونظيف، عالية الكفاءة	تزويد الأوزون في الموقع، الملوثات الأخرى تخفض الكفاءة	أحجام صغيرة من الجسيمات المعلّقة في نهاية المعالجة	قد توجد جراثيم في الخزان تحت السطح أو يمكن إدخالها أثناء انتاج معالجات المياه. قد يلزم تطهير لحماية الصلاحية للشرب أو الحيلولة دون اتساخ المعدات الأنبوبية والسطحية.

المعالجة	التفاصيل (الوصف)	المزايا	العيوب	مجرى المخلفات	تطبيقات المياه المنتجة من النفط والغاز
كَلورة المياه	يتفاعل الكلور مع الماء لإنتاج حمض الهيبوكلوروز الذي يقتل الجراثيم	رخيصة الثمن، طريقة بسيطة	لا تزيل جميع أنواع الجراثيم		
		التحلية			
التيسير بالجير	إضافة الجير لإزالة الكربونات، البيكربونات، الخ، العُسر	رخيصة الثمن، الحصول عليها يسير، ويمكن تعديلها	إضافة كيمائية المعالجة اللاحقة ضرورية	مخلفات كيمائية ومترسبة مستعملة	تتطلب هذه التكنولوجيات طاقة أقل ومعالجة مسبقة أقل مما تتطلب تقنيات الأغشية. سيكون للمياه المنتجة المناسبة مواد ذائبة مجموع قيمتها يتراوح بين 10,000 و1,000 ملغم/لتر. يزيل بعض المعالجات ملوثات النفط والشحم، بينما تتطلب أخرى أن تعامل ملوثات النفط والشحم قبل هذه العمليات.
تبادل أيوني	تأيين الأملاح والمعادن وتزال بالتبادل الأيوني	تتطلب طاقة منخفضة، إعادة التوليد المستمرة للراتنج ممكنة، كفؤة، المعالجة المتنقلة ممكنة	تتطلب المعالجة المسبقة واللاحقة كفاءة عالية، تنتج نفايات سائلة مركزة	إعادة توليد المواد الكيميائية	
الديلزة الكهربائية	تجذب الأملاح المتأينة وتقترب من أقطاب كهربائية بشحنات مضادة مارّة من خلال أغشية التبادل الأيوني.	تقنية نظيفة، لا إضافات كيماوية، المعالجة المتنقلة ممكنة، معالجة مسبقة أقل	أقل كفاءة مع الوارد ذي التركيزات المرتفعة، تتطلب إعادة توليد الأغشية	مخلفات إعادة التوليد	
إزالة التأيّن الكهربائية	ديلزة كهربائية معززة بسبب وجود راتنجات تبادل أيوني بين أغشية التبادل الأيوني	تزيل الأنواع الضعيفة التأيّن، معدل إزالة مرتفع، المعالجة المتنقلة ممكنة	إعادة توليد راتنجات التبادل الأيوني، المعالجة المسبقة/اللاحقة ضرورية	مخلفات إعادة التوليد، مخلفات الترشيح من مرحلة المعالجة اللاحقة	

إزالة التأيّن السعوية	تُمتص الأملاح المتأينة بواسطة الأقطاب الكهربائية ذات الشحنات المضادة	تتطلب طاقة منخفضة، طاقة إنتاجية مرتفعة	الأقطاب الكهربائية باهظة الثمن، اتساخ	مخلفات إعادة التوليد
تنشيط كهروكيمياوي	تتفاعل المياه المتأينة مع كلوريد متأين لإنتاج كلوريت يقتل الجراثيم	إزالة متزامنة للأملاح والجراثيم، اتساخ قليل	أقطاب كهربائية باهظة الثمن	مخلفات إعادة التوليد
التبخير بالرش السريع	يؤدي حقن المياه على سرعة عالية في هواء ساخن إلى تبخر المياه التي يمكن حينئذ تكثيفها للحصول على مياه معالجة	مياه معالجة عالية الجودة، كفاءة تحويل عالية	تتطلب طاقة عالية لتسخين الهواء، تتطلب مناولة للجوامد	مخلفات على شكل حمأة في نهاية عملية التبخر
التبخر بإذابة جليد	استخدام دورات درجة الحرارة الطبيعية لتجميد الماء وتحويله إلى بلورات من مياه ملوثة وإذابة البلورات لإنتاج مياه نقية	لا تتطلب طاقة، عملية طبيعية، رخيصة الثمن	كفاءة تحويل متدنية، دورة تحويل طويلة	

معالجات متفرقة

مرشح نضّاض	يطور طبقة رقيقة من الجراثيم على سطح من مواد مرصوصة لإضعاف الملوثات في المياه	تقنية رخيصة وبسيطة ونظيفة	تتطلب أكسجين، المرشح كبير الأبعاد	مخلفات على شكل حمأة في نهاية المعالجة	إزالة الجوامد المعلقة والنزرة والأمونيا والبورون والمعادن وغيرها. المعالجة اللاحقة عادة مطلوبة لفصل الكتلة الحيوية والجوامد المترسبة والغازات المُذابة وما إلى ذلك.

المعالجة	التفاصيل (الوصف)	المزايا	العيوب	مجرى المخلفات	تطبيقات المياه المنتجة من النفط والغاز
المعالجة في أراض رطبة اصطناعية	أكسدة طبيعية وتحلل الملوثات بواسطة الحياة النباتية والحيوانية	رخيصة الثمن، إزالة كفؤة للملوثات المُذابة والمعلقة	تتطلب زمن استبقاء، صيانة، تأثيرات درجة الحرارة ودرجة الحموضة		
تعديل نسبة امتزاز الصوديوم	إضافة أيونات الكالسيوم أو المغنيسيوم	رخيص الثمن	إضافة كيمائية		موازنة ارتفاع معدل امتصاص الصوديوم وانخفاض مجموع الجوامد المُذابة (نسبة مئوية أعلى من أملاح الصوديوم) بعد العمليات الغشائية
		المعالجة بمواد مشعة طبيعية المنشأ			
المعالجة بمواد مشعة طبيعية المنشأ	استخراج المواد المشعة بمحلول مائي	كفؤة للحد من حجم المخلفات المشعة	تحتاج المواد المشعة المستخرجة إلى مزيد من المعالجة أو التصريف		تحتوي المياه المنتجة مستويات عالية من اليورانيوم أو الثوريوم. وما لم تعالج، يمكن أن تتشكل قشرة مشّعة في معدات المعالجة الواسعة السطحية.
		استرداد الغاز الطبيعي			
التجريد الهوائي	تجريد المياه من الغاز المُذاب	عمليات متزامنة أو متعاكسة، رخيصة الثمن	معالجة لاحقة، كفاءة متدنية		

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Arthur, Langhus and Patel, 2005 .

الجدول ألف.2 وصف أفضل الممارسات العامة في إدارة الطاقة: تطبيقات المحركات ذات التردد المتغير

الممارسة الفضلى	تماشي المحركات ذات التردد المتغير سرعات المحرك مع متطلبات الحمل وتجتنب العمل على طاقة ثابتة، ما يؤدي إلى وفور في الطاقة. يجب تصميم المعدات بحيث تعمل على ذروة التدفقات. وليست هذه التصاميم في كثير من الأحيان كفؤة في ظروف الدفق المتوسط القائمة. ينبغي تقييم التغيرات في التدفقات وتطبيق المحركات ذات التردد المتغير، خاصة عندما تكون ذروة الطلب أعلى بكثير من متوسط الطلب وحيث يستطيع المحرك العمل على أحمال جزئية لتحقيق وفور في الطاقة.
المجال الأولي/ العملية الأولية	يمكن استخدام المحركات ذات التردد المتغير في معظم عمليات المياه والمياه العادمة. فيمكن أن تحل محل صمامات التضييق على أنابيب الصرف، وتضبط معدل ضخ مضخة معاملة، وتضبط ضغط النقل في الأنابيب الرئيسية، وتضبط معدلات دفق الهواء من النافخات، وتضبط سرعة محركات قنوات الأكسدة.
الأثر على الإنتاجية	يفترض أن يكون الأثر قصير الأجل؛ فقط لدى انقطاع الخدمة أثناء التركيب وبدء التشغيل والموالفة الدقيقة.
المنافع الاقتصادية	غدت المحركات ذات التردد المتغير الآن أكثر توفراً وميسورة، فأصبحت فترات استرداد التكلفة تتراوح من ستة أشهر إلى خمس سنوات. وتختلف فترة السداد مع اختلاف التطبيق تبعاً لحجم المُحرّك وساعات التشغيل وتغاير الحمل. وتحقق المحركات الكبيرة والساعات الطويلة وتغاير الحمل وفورا مرتفعة.
وفور الطاقة	تتفاوت الوفور بتفاوت التطبيق والتقنية. وقد أدت تعديلات تحديثية كثيرة للمحركات ذات التردد المتغير إلى وفور تتراوح من 15-35 في المائة. وفي بعض المنشآت، حيث يستخدم التضييق لضبط الدفق، يمكن تحقيق وفور تتراوح من 10-40 في المائة. ويمكن باستخدام المحرك ذي التردد المتغير لعمليات المعالجة الثانوية للمياه العادمة تحقيق وفور تزيد عن 50 في المائة في استهلاك للطاقة.
التطبيقات والمحدوديات	تشمل تطبيقات المحركات ذات التردد المتغير ضبط الضغط، الطلب اليومي بالغالون في الدقيقة، وانسياب ماء الحريق واستعادة وتجديد البئر. وتشمل التطبيقات الأخرى ضبط نافخات التهوية ومعدل ضخ مياه المجارير ومعاملة الحمأة.
ملاحظات عملية	يمكن أن تساعد تقديرات حساب تغاير الحمل على تبرير التكلفة. وينبغي أن يستعرض خبير النظام قبل تركيب المحرك ذي التردد المتغير لضمان التوافق مع النظام وفعالية التكلفة. وتتيح المحركات ذات التردد المتغير للمشغّلين الموالفة الدقيقة لعمليات التجميع والنقل والمعالجة. كذلك تؤدي مطابقة المحركات مع الأحمال إلى جهد أقل على المعدات وتقليل الصيانة.
منافع أخرى	تشمل المنافع المرتبطة تحسين ضبط معدل وضغط الدفق وإمدادات أكثر اتساقا ومزيداً من المرونة لتلبية احتياجات الطلب باستخدام الحد الأدنى من الطاقة. يمكن أن يؤدي تحسين ضبط التدفقات إلى خفض استخدام المواد الكيميائية. كما يشكل خفض الانبعاثات من مصدر الطاقة المتعلق مباشرة بخفض استهلاك الطاقة الكهربائية منافع إضافية.
مرحلة القبول	مقبولة ومثبتة على نطاق واسع في قطاعي المياه والمياه العادمة. نظم المياه العادمة المحدّثة مزودة عادة بمحركات ذات تردد متغير لمعظم تطبيقات المعالجة.

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Malcolm Pirnie, Inc., 2010.

الجدول ألف.3 وصف أفضل ممارسات إدارة الطاقة في مجال المياه العادمة

الممارسة الفضلى	التهوية الفقاعية الدقيقة	معدل دفق الهواء المتغاير من المنفاخ	ضبط الأكسجين المُذاب	تهوية لاحقة: تهوية تسلسلية	الحمأة: استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي	حمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي	خفض استهلاك المياه العذبة/ إعادة تدوير للنفايات السائلة النهائية	استخدام غاز حيوي للتوليد المشترك للحرارة والطاقة
الوصف	تقييم جدوى استخدام التهوية الفقاعية الدقيقة في مرافق معالجة الحمأة المنشطة. تتيح هذه الممارسة معالجة كفؤة الطاقة للمياه العادمة. يمكن تركيبها في نظم جديدة أو موجودة. تحسّن التقنية عادة العمليات وتزيد قدرة المعالجة العضوية لمرفق المياه العادمة. ولتحقيق الأداء الأمثل ينبغي دمج هذه الممارسة مع رصد وضبط الأكسجين المُذاب، ومنفاخ متغاير القدرة. ينبغي التخطيط للقيام بتنظيف دوري للناشر (نظام تنقية بالغاز أو تصريف وتنظيف يدوي مجدول)، إذ أن اتساخ الناشر يؤثر على ضغط النظام وكفاءة تحويل الأكسجين.	يتطلب أن تكون لنظام التهوية ونافخات الهاضم الهوائي قدرة لتغيير معدل الإمداد بالهواء، مثل نافخات الطرد المركزي ذات المرحلة الواحدة بمحركات ذات تردد متغير، ونافخات إزاحة إيجابية بمحركات ذات تردد متغير، ونافخات الطرد المركزي المتعددة المراحل بمدخل متحكم به بالتوجيه. ينبغي أن يستجيب نطاق التغير لمتطلبات الموقع المحددة لمطابقة متطلبات النظام بدقة. وينبغي أن يكون النظام قادراً على تزويد الحد الأدنى من دفق الهواء المطلوب لتلبية شروط الحمل الصغير الموجود أو الخلط، ولتلبية شروط تصميم الأحمال الكبيرة. ينبغي اجتناب خنق دفق هواء التصريف.	النظر في تقنية رصد وضبط الأكسجين المُذاب التي تحافظ على مستوى الأكسجين المُذاب في خزّان/خزّانات التهوية عند نقطة ضبط محددة مسبقاً عن طريق تغيير معدل دفق الهواء إلى نظام التهوية.	النظر في تركيب نظام تهوية تسلسلي لتطبيقات التهوية اللاحقة. وإذا كانت الطبوغرافيا مؤاتية، توفر هذه التقنية إعادة للنفايات السائلة عن طريق زيادة الاضطراب المائي على الأدراج دون الحاجة إلى الكهرباء.	استبدال جهاز لنزح الماء من الحمأة بالطرد المركزي بمكبس لولبي لتحقيق وفور في الطاقة.	استبدال الطرد المركزي بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي لتحسين تثخين قوام الحمأة.	قد يؤدي تخفيض استهلاك مياه الشرب من خلال استخدام النفايات السائلة النهائية في تطبيقات المعاملة أو غسل الخزانات إلى وفور في الطاقة بالحد من حجم المياه المعالجة و/أو المياه التي تُضخ. ينبغي أن يتضمن نظام النفايات السائلة النهائي خزّان ضغط ونظام ضبط للمضخة، عند الاقتضاء، وضخ مباشر حيث يلزم ضغط مرتفع باستمرار (حزام ضاغط). التطبيقات الإضافية ممكنة مع مرشح مباشر قبل كل تطبيق من التطبيقات.	يمكن أن يحرك الغاز الحيوي المنتج عن طريق هاضم لاهوائي محركات ترددية يمكن وصلها مباشرة بمضخة أو مولدات كهربائية أو يمكن أن تزود بالوقود توربينات صغيرة أو توربينات أو خلايا وقودية لتوليد الكهرباء. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الطاقة الحرارية التي تولدها هذه النظم يمكن التقاطها في أحيان كثيرة والاستفادة منها لتلبية متطلبات الهاضم من الحرارة، وحيث ينطبق، لتدفئة الأبنية. وبدلا من ذلك، يمكن استخدام الغاز الحيوي مباشرة كوقود لمرجل لإنتاج الحرارة. وفي بعض التطبيقات المحدودة، يستخدم الغاز الحيوي حتى كوقود للمركبات.

المجال الأولي/ العملية الأولية	سيكون التطبيق الأساسي لهذه الممارسة على خزانات التهوية والهاضمات الهوائية	تنطبق هذه الممارسة على جميع نظم التهوية، بما في ذلك نظاما خزانات تهوية الحمأة المنشّطة والهضم الهوائي	التطبيقات الأساسية هي نظم خزانات التهوية في مرافق الحمأة المنشّطة والهاضم الهوائي والتهوية اللاحقة.	التهوية اللاحقة للنفايات السائلة الناتجة عن محطات معالجة المياه العادمة.	نزح الماء عن الحمأة وتثخين الحمأة.	نزح الماء عن الحمأة وتثخين الحمأة.	التطبيقات النموذجية هي في نظام التدوير لغسل الخزانات، والمثخّن الذي يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي، وغسل الأحزمة، ومياه تبريد الضاغط، إلخ	تطبق هذه الممارسة على هاضم الحمأة اللاهوائي.
الأثر على الإنتاجية	أثر طفيف على الإنتاج أثناء التركيب.	يفترض ألا يحدث انقطاع في الإنتاج إلا أثناء التركيب	يمكن إنجاز تركيب معظم النظم دون التدخل في العملية الاعتيادية	يمكن إنجاز تركيب معظم النظم دون التدخل في العملية الاعتيادية	أثر ضئيل أثناء تركيب واستبدال المعدات.	أثر ضئيل أثناء تركيب واستبدال المعدات.	لا يتوقع حدوث آثار، بخلاف حدوث انقطاعات طفيفة أثناء تركيب أي معدات مطلوبة.	لهذه الممارسة أثر ضئيل أثناء تركيب نظام التوليد المشترك للطاقة والحرارة.
المنافع الاقتصادية	تتفاوت المنافع الاقتصادية من المرافق الجديدة إلى التعديل التحديثي للتطبيقات. يمكن استرداد تكلفة النظام في أقل من عام واحد. ستتفاوت فترة استرداد تكلفة التعديل التحديثي تبعاً لمدى افتقار النظام الموجود إلى الكفاءة وكمية المعدات الجديدة المطلوبة.	تكون فترة استرداد التكلفة عادة ثلاث سنوات.	تتراوح فترة استرداد التكلفة من تحسين الرصد والضبط باستخدام ضبط الأكسجين المُذاب من سنة إلى ثلاث سنوات.	تتفاوت فترة استرداد التكلفة تبعاً لنظام التهوية اللاحقة الموجود المستخدم	تتوقف فترة استرداد التكلفة على حجم التطبيق.	ستتوقف فترة استرداد التكلفة على حجم التطبيق.	تكون فترات استرداد التكلفة لهذه الممارسة المُفضلى عادة من سنتين إلى ثلاث سنوات وتتفاوت بتفاوت حجم مياه الشرب المستخدمة حاليا.	إذا ما توفر ما يكفي من الغاز الحيوي لتزويد عملية توليد مشترك للطاقة والحرارة تولد الكهرباء لتشغيل المرفق واستيعاب الحرارة لسداد احتياجات العملية، قد يحقق المرفق الحياد من حيث استهلاك الطاقة. وسواء ولّد النظام الكهرباء أو الحرارة أو كليهما، سيعوض الاستخدام الداخلي للطاقة فواتير الطاقة.

الممارسة الفضلى	التهوية الفقاعية الدقيقة	معدل دفق الهواء المتغاير من المنفاخ	ضبط الأكسجين المذاب	تهوية لاحقة: تهوية تسلسلية	الحمأة: استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي	حمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي	خفض استهلاك المياه العذبة/ إعادة تدوير للنفايات السائلة النهائية	استخدام غاز حيوي للتوليد المشترك للحرارة والطاقة
وفور الطاقة	تتراوح وفور الطاقة بين 20 و75 في المائة من استهلاك وحدة التهوية أو الهضم الهوائي للطاقة.	تعتمد وفور الطاقة على ظروف الموقع وعلى أي بارامتر، المزج أو التحميل العضوي، هو الذي يملي كمية دفق الهواء الأقل. ستتراوح الوفور بين 15 و50 في المائة من الطاقة التي تستهلكها هذه العملية.	تختلف الوفور باختلاف كفاءة النظام الحالي. عموماً، وفور الطاقة لنظام التهوية ستتراوح بين 20 و50 في المائة.	إذا استخدمت تهوية تسلسلية للاستعاضة عن نظام تهوية لاحقة موجود مع نظام ناشر تحت السطح ونافخات، ستتحقق وفور بنسبة 100 في المائة من الكهرباء المستخدمة.	إمكانية عالية لتحقيق وفور طاقة عالية عن طريق هذه الممارسة الفضلى.	إمكانية عالية لتحقيق وفور طاقة عالية عن طريق هذه الممارسة الفضلى.	قد تصل الوفور إلى 50 في المائة من إجمالي طاقة النظام إذا لم يكن النظام الموجود يُستخدم خزّان ضغط لتنظيم الإمدادات	ينبغي أن تقيم المرافق العامة نظم الغاز-الحيوي-إلى-توليد-كهرباء لمرافق المعالجة التي توجد فيها هاضمات لاهوائية أو تقوم بالتخطيط لتركيب هاضمات جديدة. ينبغي تقييم جدوى كل نظام بمفرده.

التطبيقات والمحدوديات	تنطبق هذه الممارسة على جميع نظم التهوية. هناك حدّ للهضم الهوائي: إذا كان النظام يشتغل على تركيز للجوامد يبلغ 2.5 في المائة أو أكثر، ينبغي إجراء مزيد من المراجعة.	ويمكن تطبيق هذه الممارسة حيثما تُركب النافخات.	تختلف المحدوديات باختلاف خصائص المخلفات التي يجري علاجها. وإذا كان لدى المخلفات من الخصائص ما قد يؤدي بسهولة إلى توسيخ مسار الأكسجين المُذاب، فعندئذ لن يكون النظام جاهزاً للتطبيق.	التطبيق خاص بالموقع. هناك حاجة إلى ما لا يقل عن 10-15 قدم رأسي بين نقطة النفايات السائلة للمحطة والتصريف النهائي، بسبب تدني معدل نقل الأكسجين واعتمادية درجة حرارة نقل الأكسجين.	جهاز الطرد المركزي مستهلك كبير للطاقة نسبيا. تؤدي الاستعاضة عن جهاز الطرد المركزي بمكبس لولبي إلى وفور في الطاقة، بسبب معدات نزح الماء البسيطة الميكانيكية البطيئة الحركة التي تقوم بنزح الماء من الحمأة باستمرار بواسطة الصرف بفعل الجاذبية. تشمل العيوب الأساسية للمكبس اللولبي احتمال نشوء مشاكل تتعلق بالرائحة والحاجة إلى حيز أكبر. يؤثر تثخين الجوامد على استخدام الطاقة في هضم الحمأة، ونزح الماء وتصريفه. ينتج المكبس اللولبي حمأة بتركيز للجوامد أقل مما ينتجه جهاز طرد مركزي، وبالتالي ينبغي النظر في دورة حياة عملية الجوامد الكاملة لتحقيق عملية فعّالة التكلفة.	يتألف مثخّن حزام الجاذبية من حزام جاذبية يحركه محرك. ومع تحرك الحمأة في طريقها إلى أسفل الحزام المتحرك أفقياً، تنزح المياه من خلال الحزام المسامي. تحرك الجوامد باستمرار لتحسين عملية الصرف. يؤثر تثخين الجوامد على استخدام الطاقة في هضم الحمأة ونزح الماء وتصريفه. ينتج المكبس اللولبي حمأة بتركيز منخفض للجوامد أقل مما ينتجه جهاز طرد مركزي، وبالتالي ينبغي النظر في دورة حياة عملية الجوامد الكاملة لتحقيق عملية فعّالة التكلفة.	التطبيق محدد بنوعية النفايات السائلة المتوفرة لإعادة التدوير	ينبغي تقييم خصائص ونوعية الغاز الحيوي الذي سيستخدم على أساس كل مرفق على حدة لتحديد مستوى تكييف (تنقية) الغاز الحيوي المطلوب للاستخدام المفيد والموثوق به وغير الضار في محرّك أو مرجل أو عملية ستزود بالوقود. وينبغي على المرفق أيضا تحديد حجم الغاز الحيوي المتولد لتقييم الحاجة إلى إدماج تغذية بالمواد الأولية ثانوية للهاضم لجعل إنتاج الغاز الحيوي مجدي.

الممارسة الفضلى	التهوية الفقاعية الدقيقة	معدل دفق الهواء المتغاير من المنفاخ	ضبط الأكسجين المُذاب	تهوية لاحقة: تهوية تسلسلية	الحمأة: استبدال الطرد المركزي بمكبس لولبي	حمأة: استبدال الطرد المركزي بمثخن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي	خفض استهلاك المياه العذبة/ إعادة تدوير للنفايات السائلة النهائية	استخدام غاز حيوي للتوليد المشترك للحرارة والطاقة
ملاحظات عملية	لتقنيات الفقاعة الدقيقة تطبيقات لجميع أحجام مرافق معالجة المياه العادمة. سيكون نطاق وفور الطاقة بالنسبة المئوية متشابهاً بغض النظر عن حجم المرفق.	لتحقيق كفاءة طاقة مثلى، ينبغي دمج نافخات ذات معدل دفق هواء متغير بتهوية بالفقاعات الدقيقة والأكسجين المُذاب. وينبغي النظر أيضاً في المزايا المحتملة للاستعاضة عن نافختين اثنتين وتنظيم التحميل بثلاث أو أربع أو خمس وحدات أصغر حجما يمكنها تلبية الطلبات الحالية والمستقبلية.	ينبغي استخدام هذا الضبط في نظم التهوية اللاحقة وحيثما تستخدم الحمأة المنشّطة كعملية معالجة ثانوية. ويجوز إنشاء دفق متغاير مع محركات تردد متغاير	لا شيء	عند تصميم معدات نزح الماء من الحمأة، سيكون تركيب معدات من حجم أدنى لتوفير لمتطلبات نزح الماء وتشغيل المحطة باستمرار أكفأ من تركيب معدات زائدة الحجم تدار بضعة ساعات يوميا. ويمكن أن يحقق ذلك وفور طاقة بطريقتين. الأولى، يستتعين خضخضة أو تهوية أي حمأة تحفظ على شكل سائل قبل نزح الماء والعمليتان (الخضخضة والتهوية) كلتاهما تتطلبان طاقة غير ضرورية. والثانية، أن معدات نزح الماء الصغيرة تتطلب محركات صغيرة. ينبغي النظر في متطلبات خزن قُرص الحمأة ونقله قبل بدء عمليات نزح مياه الحمأة 24 ساعة.	لا شيء	تنفذ هذه الممارسة الفُضلى عادة عندما تكون نوعية النفايات السائلة عالية بما فيه الكفاية بحيث لا يعيق استخدامها عمل المضخات والخراطيم والفوهات المستخدمة في توزيعها. وهذه الممارسة فعّالة التكلفة أيضاً عندما تلزم كميات كبيرة من مياه الغسل، مثلاً لتجهيز الجوامد الحيوية أو غسل المرافق.	يمكن استخدام محركات ترددية في معظم أحجام المرافق. التوربينات الصغيرة والخلايا الوقودية متوفرة بأحجام صغيرة للمرافق الصغيرة، حيث تكون الانبعاثات مدعاة للقلق. يمكن استخدام توربينات احتراق لمرافق يتبين أن سعات التوليد فيها تزيد عن ميغاواط واحد. ينبغي أن يقيّم المرفق إمكان تشغيل المضخات أو النافخات مباشرة باستخدام الغاز الحيوي لتحديد الخيار الأكثر فائدة للموقع.

منافع أخرى	يفيد معظم المواقع التي نفذت هذه الممارسة أن هناك تحسّناً في إدارة الجوامد الحيوية وخفضاً لاستخدام البوليمر وتنقية أفضل ونفايات سائلة أفضل.	عندما تقترن بناشرات الفقاعات الدقيقة وبتقنيات ضبط الأكسجين المُذاب، تتحسن عادة نوعية النفايات السائلة ومعاملة الجوامد الحيوية.	في العادة، تملك الجوامد الحيوية الناجمة عن نظام الأكسجين المُذاب المنظّم خصائص نزح مياه أفضل. ولدى نظام الأكسجين المُذاب عادة مشاكل أقل في معالجة دفق حمله متراوح.	لا ينطبق.	بالإضافة إلى انخفاض استهلاك المكبس اللولبي للطاقة، فإن تكاليف تشغيله وصيانته أقل من جهاز الطرد المركزي. وعلاوة على ذلك، يمكن أن ينتج المكبس اللولبي مواد صلبة حيوية من الفئة ألف إذا عدّل (بإضافة حرارة)	تشمل المزايا الأخرى المرتبطة بمثخّن يعمل بالجاذبيّة على حزام مسامي حاجته إلى حيز صغير، كما أن من السهل أتمتته وضبطه.	تشمل المنافع المحتملة الأخرى المرتبطة بهذا التدبير خفض استهلاك المياه وخفض تشغيل المضخات المنشطة، حيثما ينطبق ذلك، وربما إلغاء الحاجة إلى نظام توزيع للمياه في جميع أنحاء المرفق.	يجّنب جمع واستخدام الغاز الحيوي التهوية والحرق الذي يطلق غازات احتباس حراري. يمكن أن يساعد استخدام الغاز الحيوي أيضاً على أن يصبح المرفق مستداماً بذاته.
مرحلة القبول	اكتسبت هذه التقنية درجة عالية من القبول ضمن الصناعة	هناك إقبال حسن على تقنيات تغيير معدلات دفق الهواء. كما أصبحت ترتيبات نافخ الإزاحة الإيجابية المتغيّر السرعة وكذلك نافخات الطرد المركزي ذات السعة المتغيرة أكثر توفراً ومعروفة جيدا.	ضبط الأكسجين المُذاب منهجية مقبولة تماماً. العامل الأساسي الذي يؤثر على القبول هو الموثوقية والصيانة المرتبطة بها المتعلقة بمسبار الأكسجين المُذاب.	طريقة التهوية التسلسلية لإعادة تهوية النفايات السائلة مقبولة تماماً.	المكابس اللولبية مقبولة على نطاق واسع لتثخين الحمأة.	المثخّنات التي تعمل بالجاذبية على حزام مسامي مقبولة على نطاق واسع لتثخين الحمأة.	خفض حجم مياه الشرب المستخدمة في عملية معالجة المياه العادمة مقبولة على نطاق واسع في جميع أنحاء الصناعة.	تكتسب نظم الجمع بين الحرارة والطاقة قبولا متزايداً ويتزايد تنفيذها في معالجة المياه العادمة.

المصدر: أعدّ استنادا إلى بيانات من Malcolm Pirnie, Inc., 2010 وPublic Service Commission of Wisconsin, 2016.

الحواشي

1. Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA), 2012.
2. ESCWA, 2016.
3. Water, 2014-UN.
4. المرجع نفسه.
5. Weinberg, 2015.
6. The Nexus Network, 2016.
7. World Economic Forum, 2015.
8. Pew Research Center, 2014.
9. Institut National d'Etudes Démographiques (INED), 2016.
10. Fahimi and Kent, 2007-Roudi.
11. Droogers et al. 2012.
12. Reig, Maddocks and Gassert, 2013.
13. Immerzeel et al., 2011.
14. Droogers et al., 2012.
15. Kinninmont, 2010.
16. United States Energy Information Administration (EIA), 2016.
17. Maddocks, Young and Reig, 2015.
18. Weinberg, 2015.
19. المرجع نفسه.
20. Leigh, 2016.
21. McIntyre, 2014.
22. Xylem, 2014.
23. Gustard et al., 1997.
24. United States Department of Energy, 2010.
25. Rutkowski, 2007.
26. Martín, 2012.
27. Martín, 2012.
28. المرجع نفسه.
29. Rodriguez et al., 2013.
30. Pechtl et al., 2003.
31. Saif, Mezher and Arafat, 2014.
32. Rodriguez et al, 2013.
33. Saudi Aramco, 2016.
34. Asaba, 2016.
35. Martín, 2012.
36. Rodriguez et al., 2013.
37. Shell Global, 2016.
38. Fantini, 2016.
39. Fantini, Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC), 2015.
40. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), 2015.
41. Gulf Petrochemicals and Chemicals Association (GPCA), 2012.
42. Carson, 2016.
43. McBride, 2016-Diala.
44. المرجع نفسه.
45. Carson, 2016.
46. SUEZ, 2014.
47. Canadian Society for Unconventional Resources (CSUR), 2013.
48. SUEZ, 2014.
49. Goodwin et al., 2012.
50. F Frankel, 2007.
51. Rodriguez, 2015.
52. Meldrum et al., 2013.
53. Frankel, 2007.
54. Global CCS Institute, 2013.
55. Goldenberg, 2014.
56. Xylem, 2014.
57. Boersma, Vandendriessche and Leber, 2015.
58. Moore, 2014.
59. Osama, 2015.
60. Xylem, 2014.
61. المرجع نفسه.
62. Mjeni et al., 2010-Al.
63. Mjeni et al., 2010-Al.
64. Intermountain Oil and Gas BMP Project، (دون تاريخ).
65. Wilkinson Center for-Getches Natural Resources, Energy, and the Environment، (دون تاريخ).
66. Cohen, Ortez and Pinkstaff, 2009.
67. Cohen, Ortez and Pinkstaff, 2009.
68. Arab Forum for Environment and Development (AFED), 2011.
69. European Commission, 2016.
70. Arab Forum for Environment and Development (AFED), 2011.
71. Lepisto, 2006.
72. Kulkarni, 2011.
73. المرجع نفسه.
74. AFED, 2011.
75. United States Environment Protection Agency (EPA), 2016.
76. Kulkarni, 2011.
77. World Bank, 2002.
78. Intelligent Energy Europe, 2007.
79. Intelligent Energy Europe, 2014.
80. Utilities ME Staff, 2013.
81. Dubai Electricity and Water Authority (DEWA), 2015.
82. Utilities ME Staff, 2013.
83. Boyle et al., 2013.
84. Pataki, 2003.
85. EPRI, 2007.
86. Boyle et al., 2013.
87. Boyle et al., 2013.
88. المرجع نفسه.
89. Cutler, 2011.
90. Rahman, 2013.
91. Darwish et al., 2016.
92. Bodík and Kubaska, 2013.
93. Daw et al., 2012.
94. WERF2012.
95. WERF, 2012.
96. Mittal, 2011.
97. Seaman Corporation, 2011.
98. Marchaim, 1992.
99. Mittal, 2011.
100. Seaman Corporation, 2011.
101. technology.net, 2016-Water.
102. Chatila, 2015a.
103. Chatila, 2015b.
104. Reekie, 2013.
105. Feldman, 2009.
106. Lincus Energy, 2011.
107. Gellings, 2009.
108. Brandt, Middleton and Wang, 2010.
109. Clean Energy Business Council, 2014.
110. International Desalination Association (IDA), 2013.
111. Negewo, 2012.
112. Negewo, 2012.
113. Ministry of Water Resources and Irrigation, 2014.
114. Shakweer and Yousef, 2011.
115. Subramani et al., 2011.
116. Clean Energy Business Council, 2014.
117. Subramani et al., 2011.
118. المرجع نفسه.
119. المرجع نفسه.
120. Bartman et al., 2010.
121. Subramani et al., 2011.
122. المرجع نفسه.
123. المرجع نفسه.
124. Ray and Jain, 2011.
125. Karaghouli and Kazmerski,-Al 2013.
126. Subramani et al., 2011.
127. Huppé, 2015.
128. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), 2016.
129. Water, work in progress-UN.
130. World Bank, 2015.
131. World Bank, 2016.
132. World Bank, 2015.
133. World Bank, 2015.
134. المرجع نفسه.
135. United Nations and World Bank, 2016.
136. International Atomic Energy Agency (IAEA) and UNDESA, 2007.
137. المرجع نفسه.
138. World Bank, 2015.
139. المرجع نفسه.
140. المرجع نفسه.
141. المرجع نفسه.
142. المرجع نفسه.
143. المرجع نفسه.
144. AbdelGelil, 2015.
145. International Atomic Energy Agency, 2005.
146. Missaoui, Ben Hassine and Mourtada, 2012.
147. المرجع نفسه.
148. المرجع نفسه.
149. Trudeau and Dennehy, 2014.
150. Pelli and Hitz, 2000.
151. المرجع نفسه.
152. Alkire et al., 2013.
153. World Bank, 2015.
154. المرجع نفسه.
155. Ghaffour, Missimer and Amy, 2013.
156. Cohen, Ortez and Pinkstaff, 2009.
157. Marsden Jacob Associates, 2013.
158. المرجع نفسه.
159. المرجع نفسه.
160. Abboud, 2010.
161. Chaudhury, 2004.
162. Staff Report, 2016.
163. Daameh, 2014-Al.
164. International Institute for Sustainable Development (IISD), 2014.
165. The Business Year, 2015.
166. Rouchdy and Alam, 2015.

المراجع

Abboud, N. (2010). Middle East Gears Up for Water Reuse Technologies. Available from http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-25/issue-1/regional-spotlight/middle-east-africa/middle-east-gears-up-for-water-reuse-technologies.html. Accessed 16 September 2016.

AbdelGelil, I. (2015). Energy Demand Profile in Arab Countries. Arab Environment 8: Sustainable Consumption. 2015 Report of the Arab Forum for Environment and Development (AFED).

Al-Daameh, M. (2014). "Jordan's Finance Minister: We will eliminate electricity subsidies by 2017", Asharq Al-Awsat, 14 May. Available from http://english.aawsat.com/2014/05/article55332275/jordans-finance-minister-we-will-eliminate-electricity-subsidies-by-2017. Accessed 10 October 2016.

Alegre, H., and others (2007). Performance Indicators for Water Supply Services – Second edition. Manual of Best Practice. London: International Water Association.

Al-Karaghouli, A., and L.L. Kazmerski (2013). Energy Consumption and Water Production Cost of Conventional and Renewable-energy-powered Desalination Processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 24, pp. 343-356; doi:10.1016/j.rser.2012.12.064.

Al-Mjeni, R., and others (2010). Has the Time Come for EOR? Oilfield Review, vol. 22, No. 4 (Winter 2010/2011).

Arab Forum for Environment and Development (AFED) (2011). Water use efficiency in buildings. Available from http://www.afedonline.org/water%20efficiency%20manual/PDF/5Chapter%204_Buildings.pdf.

Arthur, J.D., Langhus, B.G., and C. Patel (2005). Technical Summary of Oil and Gas Produced Water Treatment Technologies. Available from http://www.all-llc.com/publicdownloads/ALLConsulting-WaterTreatmentOptionsReport.pdf.

Asaba, B. (2016). Saudi Aramco's electricity capacity to exceed 12GW. Utilities-Me.com, 14 January. Available from http://www.utilities-me.com/article-4025-saudi-aramcos-electricity-capacity-to-exceed-12gw/. Accessed 8 October 2016.

Bartman, A.R., and others (2010). Minimizing energy consumption in reverse osmosis membrane desalination using optimization-based control. Journal of Process Control, vol. 20, No. 10, pp.1261-1269; doi:10.1016/j.jprocont.2010.09.004. Available from https://www.researchgate.net/publication/229316944_Minimizing_energy_consumption_in_reverse_osmosis_membrane_desalination_using_optimization-based_control.

Bauer, D., and others (2014). The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities. United States of America Department of Energy.

Bodík, I., and M. Kubaska (2013). Energy and sustainability of operation of a wastewater treatment plant. Environment Protection Engineering, vol. 39, No. 2, pp. 15-24; doi:10.5277/EPE130202.

Boersma, T., Vandendriessche, M., and A. Leber (2015). Shale gas in Algeria: No quick fix. Policy Brief, No. 15-01. Washington, D.C.: Brookings.

Boyle, T., and others (2013). Intelligent metering for urban water: A review. Water, vol. 5, Issue 3, pp. 1052-1081; doi:10.3390/w5031052.

Brandt, M.J., Middleton, R.A., and S. Wang (2010). Energy Efficiency in the Water Industry: A Compendium of Best Practices and Case Studies : Global Report. London: UK Water Industry Research.

Busch, M., and W.E. Mickols (2004). Reducing energy consumption in seawater desalination. Desalination, vol. 165, pp. 299–312; doi:10.1016/j.desal.2004.06.035.

Canadian Society for Unconventional Resources (CSUR), 2013. Water Consumption. Available from http://www.csur.com/sites/default/files/Water_Consumption_v3_wBleed.pdf.

Carson, R. (2016). Saudi Aramco CEO calls on upstream industry to transform business model to remain at forefront of global energy scene. Zawya, 27 September. Available from http://www.zawya.com/mena/en/story/Saudi_Aramco_CEO_calls_for_transformation_of_oil_and_gas_industry-ZAWYA20160927030832/. Accessed 8 October 2016.

Chatila, F., 2015a. Gabal El Asfar Plant Worth USD95.8 Million. Arab Water World, vol. 38, Issue 3. Available from http://www.awwmag.com/PDFFiles/AWW-March-2015.pdf.

Chatila, F., 2015b. WABAG to Supply 200,000 m3/d Municipal WWTP. Arab Water World, vol. 38, Issue 3. Available from http://www.awwmag.com/PDFFiles/AWW-March-2015.pdf.

Chaudhury, M.D. (2004). UAE is world's third largest water consumer after U.S. Khaleej Times, 25 December. Available from http://www.khaleejtimes.com/business/uae-is-world-s-third-largest-water-consumer-after-u.s. Accessed 16 September 2016.

Clean Energy Business Council (2014). Water and Energy in MENA: Challenges, Opportunities, and Potential.

Cohen, R., Ortez, K., and C. Pinkstaff (2009). Increasing water efficiency in California's commercial, industrial, and institutional (CII) sector, pp. 1-40.

Crites, R.W., and others (2014). Natural wastewater treatment systems, Second edition. ed. IWA Publishing : CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. Available from http://www.crcnetbase.com/isbn/978-1-4665-8326-9.

Cutler, S. (2011). Smart Water Metering Networks An Intelligent Investment? WaterWorld, vol. 26, Issue 5. Available from http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-26/issue-5.html.

Darwish, M.A., and others (2016). The role of energy to solve water scarcity in Qatar. Desalination and Water Treatment, vol. 57, pp. 18639-18667; doi:10.1080/19443994.2015.1103666.

Daw, J., and others (2012). Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Deines, A. (2013). Energy Production and Efficiency at Wastewater Treatment Plants. Water Environment Research Foundation.

Diala-McBride, C. (2016). Middle East Salves Global Slowdown Wounds. Breakbulk. Events Media. Available from http://www.breakbulk.com/middle-east-salves-global-slowdown-wounds/. Accessed 8 October 2016.

Droogers, P., and others (2012). Water resources trends in Middle East and North Africa towards 2050. Hydrolology and Earth System Sciences, vol. 16, pp. 3101-3114; doi:10.5194/hess-16-3101-2012.

Dubai Electricity and Water Authority (DEWA) (2015). HE Saeed Mohammed Al Tayer Inaugurates 5th Smart Grids and Smart Meters Summit. Available from https://www.dewa.gov.ae/en/about-dewa/news-and-media/press-and-news/latest-news/2015/10/he-saeed-mohammed-al-tayer-inaugurates-5th-smart-grids-and-smart-meters-summit. Accessed 9 October 2016.

Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) (2012). Report on Intergovernmental Consultative Meeting on the Water and Energy Nexus in the ESCWA Region (E/ESCWA/SDPD/2012/IC.1/2/Report), Beirut, 27-28 June 2012. Available from https://www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/water_and_energy_nexus_in_escwa_region_report_e.pdf.

Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) (2016). *Developing the Capacity of ESCWA Member Countries to Address the Water and Energy Nexus for Achieving Sustainable Development Goals: Regional Policy Toolkit (E/ESCWA/SDPD/2016/Manual)*. Beirut: United Nations. Available from https://www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/nexus_training_module.pdf.

Electric Power Research Institute (EPRI) (2002). Comparison of Alternate Cooling Technologies for California Power Plants: Economic, Environmental and Other Tradeoffs. Sacramento, CA: California Energy Commission.

Electric Power Research Institute (EPRI) (2007). Advanced Metering Infrastructure (AMI). Available from https://www.ferc.gov/CalendarFiles/20070423091846-EPRI%20-%20Advanced%20Metering.pdf.

EPA WaterSense (2016). Commercial Water Use and Conservation – Facility Types. U.S. Environmental Protection Agency. Available from https://www3.epa.gov/watersense/commercial/types.html#tabs-office. Accessed 2 September 2016.

European Commission, 2016. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. Available from http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CWW_Bref_07_2016.pdf.

Fantini, A.-M. (2016). OPEC Annual Statistical Bulletin 2016. Vienna: Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC).

Feldman, M. (ed.), 2009. Aspects of energy efficiency in water supply systems. Presented at the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference, 26-30 April 2009, Cape Town, South Africa.

Frankel, C., 2007. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Liquefied Natural Gas (LNG) Facilities. Available from http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/87e7a48048855295ac04fe6a6515bb18/Final+-+LNG.pdf?MOD=AJPERES.

Gellings, C.W. (2009). Energy Efficiency in Pumping and Irrigation Systems. In Efficient Use and Conservation of Energy, Vol. II, Encyclopedia of Life Support Systems. Available from http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e3-18-04-01.pdf.

Getches-Wilkinson Center for Natural Resources, Energy, and the Environment (n.d.). Anadarko's Completion Transport System – ACTS. Available from http://www.oilandgasbmps.org/resources/casestudies/anadarko-acts.php. Accessed 28 August 2016.

Ghaffour, N., Missimer, T.M., and G.L. Amy (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. Desalination, No. 309, pp. 197–207; doi:10.1016/j.desal.2012.10.015.

Global CCS Institute, 2013. CCS Learning from the LNG Sector: A Report for the Global CCS Institute (No. 401010–1060–0-NaN-NaN-1). Melbourne: WorleyParsons. Available from http://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/120081/ccs-learnings-lng-sector-gccsi.pdf.

Goldenberg, S. (2014). Fracking is depleting water supplies in America's driest areas, report shows. The Guardian, 5 February.

Goodwin, S., and others (2012). Life cycle analysis of water use and intensity of oil and gas recovery in Wattenberg field, Colo. Oil & Gas Journal, 7 May.

Gulf Petrochemicals and Chemicals Association (GPCA) (2012). GCC Petrochemicals and Chemicals Industry: Facts and Figures.

Gustard, A., and others (eds.) (1997). FRIEND'97: Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management. IAHS Publication, No. 246. Wallingford, UK: IAHS Press.

Huppé, G.A. (2015). Indicators for Water, Energy and Food (WEF) Security.

Immerzeel, W., and others (2011). Middle-East and Northern Africa Water Outlook. FutureWater Report, No. 98. World Bank.

Institut National d'Etudes Démographiques (INED) (2016). Mid-year Population. Available from https://www.ined.fr/en/glossary/mid-year-population/. Accessed 20 September 2016.

Intelligent Energy Europe, 2007. Energy Savings from Intelligent Metering and Behavioural Change (No. EIE/04/107/SO7.38635). European Commission.

Intelligent Energy Europe (2014). Energy Savings from Intelligent Metering and Behavioural Change. European Commission. Available from https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/intelligent-metering. Accessed 9 October 2016.

Intermountain Oil and Gas BMP Project (n.d.). Development Process for Oil and Gas Production. Available from http://www.oilandgasbmps.org/resources/development.php. Accessed 28 August 2016.

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2005). Energy Indicators for

Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Vienna: International Atomic Energy Agency.

International Atomic Energy Agency (IAEA), and United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) (2007). Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia, and Thailand.

International Desalination Association (IDA) (2013). Global desalination capacity growing substantially, finds study. Available from http://www.waterworld.com/articles/2013/10/global-desalination-capacity-tops-80-million-cubic-meters-per-day.html. Accessed 30 August 2016.

International Energy Agency (IEA) (n.d.). OECD/IEA 2014 Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making. Available from https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IEA_EnergyEfficiencyIndicators_EssentialsforPolicyMaking.pdf.

International Institute for Sustainable Development (IISD) (2014). Energy Subsidy Country Update: Assessing Egypt's Energy Subsidy Reforms.

Kinninmont, J. (2010). The GCC in 2020: Resources for the future. Economist Intelligence Unit.

Kohli, A., and K. Frenken (2011). Cooling water for energy generation and its impact on national-level water statistics. AQUASTAT Programme of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO).

Kulkarni, S. (2011). Innovative Technologies for Water Saving in Irrigated Agriculture. ResearchGate, No. 1, pp. 226-231.

Kumana & Associates (2011). Pinch analysis for optimizing process water management.

Leigh, J. (2016). Water Tight 2.0: The top trends in the global water sector. Deloitte Touche Tohmatsu Ltd.

Lepisto, C. (2006). WaterSaver Technologies Aqus Uses Sink Greywater for Toilet. TreeHugger. Available from http://www.treehugger.com/bathroom-design/watersaver-technologies-aqus-uses-sink-greywater-for-toilet.html. Accessed 29 August 2016.

Lincus Energy (2011). Energy Savings in Water Distribution Systems. Energy Connection, No. 2, pp. 1-8.

Macknick, J., and others (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. Environmental Research Letters, Vol. 7, No. 4, 45802; doi:10.1088/1748-9326/7/4/045802.

Maddocks, A., Young, R.S., and P. Reig (2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. World Resources Institute. Available from http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040. Accessed 2 September 2016.

Malcolm Pirnie, Inc. (2010). Water and Wastewater Energy Management: Best Practices Handbook. New York State Energy Research and Development Authority.

Marchaim, U. (1992). Biogas processes for sustainable development. FAO Agricultural Services Bulletin. Rome: FAP.

Marsden Jacob Associates (2013). Project report: Economic viability of recycled water schemes. Brisbane, Australia: Australian Water Recycling Centre of Excellence.

Martín, A.D. (2012). Water footprint of electric power generation: Modeling its use and analyzing options for a water-scarce future. Massachusetts Institute of Technology.

McIntyre, G. (2014). World Water Day: Water and Energy. Available from http://www.ch2mhillblogs.com/water/2014/03/19/world-water-day-water-energy/. Accessed 8 September 2016.

Meldrum, J., and others (2013). Life cycle water use for electricity generation: A review and harmonization of literature estimates. Environmental Research Letters, No. 8; doi:10.1088/1748-9326/8/1/015031.

Ministry of Water Resources and Irrigation (2014). Water Scarcity in Egypt: The Urgent Need for Regional Cooperation among the Nile Basin Countries.

Missaoui, R., Ben Hassine, H., and A. Mourtada (2012). Energy Efficiency Indicators in the Southern and Eastern Mediterranean Countries: Regional Report. Plan Bleu.

Mittal, A. (2011). Biological Wastewater Treatment. Water Today.

Moore, D. (2014). Oman oil and gas minister praises fracking at Downtown conference. Pittsburgh Post-Gazette. Available from http://powersource.post-gazette.com/powersource/features-powersource/2014/10/29/Oman-oil-and-gas-minister-praises-fracking/stories/201410280165. Accessed 11 September 2016.

Muggeridge, A., and others (2013). Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits. Philosophical Transactions, Series A, No. 372/20120320; doi:10.1098/rsta.2012.0320.

Negewo, B.D. (2012). Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close MENA's Water Gap. Washington, D.C.: World Bank.

Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC) (2015). Annual Statistical Report. Kuwait: OAPEC.

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2015). Annual Statistical Bulletin. Vienna: OPEC.

Osama, B. (2015). The Middle East should think twice about fracking. SciDev.Net. Available from http://www.scidev.net/index.cfm?originalUrl=global/energy/editorials/middle-east-fracking-shale-gas-extraction.html. Accessed 11 September 2016.

Pataki, G.E., 2003. A Primer on Smart Metering. Available from https://www.smartgrid.gov/files/Primer_on_Smart_Metering_200307.pdf.

Pechtl, P., and others (2003). Integrated Thermal Power and Desalination Plant Optimization. Presented at the PowerGen Middle East, General Electric Energy Services, Optimization Software.

Pelli, T., and H.U. Hitz (2000). Energy indicators and savings in water supply. Journal of the American Water Works Association, vol. 92, No. 6, pp. 55-62.

Pew Research Center (2014). Emerging

Nations Embrace Internet, Mobile Technology. Global Attitudes and Trends.

Public Service Commission of Wisconsin (2016). Energy Best Practices Guide: Water and Wastewater Industry.

Rahman, S. (2013). UAE's per capita energy consumption among the highest. GulfNews, 16 April. Available from http://gulfnews.com/business/economy/uae-s-per-capita-energy-consumption-among-the-highest-1.1171313. Accessed 13 September 2016.

Ray, C., and R. Jain (eds.) (2011). Drinking Water Treatment. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Reekie, L.J. (2013). Electricity Use and Management in the Municipal Water Supply and Wastewater Industries. Electric Power Research Institute.

Reig, P., Maddocks, A., and F. Gassert (2013). World's 36 Most Water-Stressed Countries. World Resoures Institute. Available from http://www.wri.org/blog/2013/12/world%E2%80%99s-36-most-water-stressed-countries. Accessed 5 September 2015.

Rodriguez, D.J., and others (2013). Water Papers: Thirsty Energy. Washington, D.C.: World Bank.

Rodriguez, E.H. (2015). Planning small-scale LNG? Manage engineering risk to maximize returns.

Rouchdy, N., and T. Alam (2015). What is holding back the private sector? A UAE Investigation into Energy and Water Efficiency Barriers. Abu Dhabi: Emirates Wildlife Society.

Roudi-Fahimi, F., and M.M. Kent (2007). Challenges and Opportunities – The Population of the Middle East and North Africa. Population Bulletin, vol. 62, No. 2. Population Reference Bureau.

Rutkowski, M.D. (2007). Power Plant Water Usage and Loss Study. The United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory.

Saif, O., Mezher, T., and H.A. Arafat (2014). Water security in the GCC countries: Challenges and opportunities. Journal of Environmental Studies and Sciences, No. 4, 329-346; doi:10.1007/s13412-014-0178-8.

Saudi Aramco (2016). The power of cogeneration. Available from http://www.saudiaramco.com/en/home/innovation/stories-of-progress/the-power-of-cogeneration.html. Accessed 8 October 2016.

Seaman Corporation (2011). Anaerobic Digestion: Save Cost and Lower Carbon Footprint.

Shakweer, A.F., and R.M. Yousef (2011). Egypt's Desalination Technology Roadmap 2030. European Foresight Platform (EFP) Brief, No. 253.

Shell Global (2016). Pearl GTL – Overview. Available from http://www.shell.com/about-us/major-projects/pearl-gtl/pearl-gtl-an-overview.html. Accessed 8 October 2016.

Staff Report (2016). Abu Dhabi raises water, electricity tariffs. GulfNews. Available from http://gulfnews.com/business/sectors/energy/abu-dhabi-raises-water-electricity-tariffs-1.1647201. Accessed 16 September 2016.

Stockholm Environment Institute (SEI) (2011). Understanding the Nexus: Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference. The Water, Energy and Food Security Nexus.–

Subramani, A., and others (2011). Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: A review. Water Resources, No. 45, pp. 1907-1920; doi:10.1016/j.watres.2010.12.032.

SUEZ (2014). Water management in the oil and gas industry. Emag, SUEZ. Available from http://www.emag.suez-environnement.com/en/water-management-oil-gas-industry-12010. Accessed 31 October 2016.

Tajer, S. (2011). Investment in Oil and Gas Industry in the MENA Region. Dubai International Financial Centre.

Tanked Australia (2007). Greywater. Available from http://www.tankedaustralia.com.au/index.php?cpage=greywater. Accessed 2 September 2016.

The Business Year (2015). Powering the People. Available from https://www.thebusinessyear.com/lebanon-2015/powering-the-people/interview. Accessed 10 October 2016.

The Nexus Network (2016). Nexuses of the urban: Interactions between water, energy and food provision for sustainable cities. Available from http://www.thenexusnetwork.org/events/nexuses-of-the-urban-interactions-between-water-energy-and-food-provision-for-sustainable-cities/. Accessed 6 September 2016.

The World Bank, 2002. Middle East and North Africa (MNA) Regional Water Initiative First Regional Consultation on MENA Water Challenges and Preparation for the Third World Water Forum – Summary Report (No. 28308). World Water Council, Spain. The-Crankshaft Publishing (n.d.). Water-using equipment: Domestic (energy engineering). Available from http://what-when-how.com/energy-engineering/water-using-equipment-domestic-energy-engineering/. Accessed 20 September 2016.

Thompson, N.A., and P.G. Nicoll (2011). Forward osmosis desalination: A commercial reality. Presented at the IDA World Congress on Modern Water, Perth, Western Australia, 4-9 September 2011.

and E. ()Paris: Union of Concerned Scientists, n.d. How it works: Water for power plant cooling. Available from http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant.html. Accessed 27 August 2016.

United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), Sustainable Development Knowledge Platform (2016). Sustainable Development Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. Available from https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6#. Accessed 13 October 2016.

United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), Population Division (2014). World urbanization prospects: The 2014 revision (CD-ROM edition).

United Nations, and World Bank (2016). Sustainable Energy for All (SEforAll): About us. Available from http://www.

se4all.org/about-us. Accessed 2 November 2016.

UN-Water (2014). Water and urbanization. Available from http://www.unwater.org/topics/water-and-urbanization/en/. Accessed 6 September 2016.

UN-Water (work in progress). Integrated Monitoring Guide for SDG 6: Targets and global indicators. Available from http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/SDG%206%20targets%20and%20global%20indicators_2016-07-19.pdf.

United States Department of Energy, Office of Fossil Energy (2010). Enhanced oil recovery. Available from http://energy.gov/fe/science-innovation/oil-gas-research/enhanced-oil-recovery. Accessed 8 September 2016.

United States Energy Information Administration (EIA) (2016). International Energy Outlook.

United States Environment Protection Agency (EPA) (2016). Water-saving technologies. Available from https://www3.epa.gov/watersense/outdoor/tech.html. Accessed 9 October 2016.

Utilities ME Staff (2013). Smart metering: Slowly, but surely, July 22. Available from http://www.utilities-me.com/article-2442-smart-metering-slowly-but-surely/. Accessed 9 October 2016.

Water Environment Research Foundation (WERF), 2012. Energy Management: Exploratory Team Report Executive Summary. Water in the West (2013). Water and Energy Nexus: A Literature Review. Stanford.

Water-technology.net (2016). As-Samra Wastewater Treatment Plant (WWTP). Available from http://www.water-technology.net/projects/as-samra-wastewater-treatment-plant-jordan/. Accessed 10 October 2016.

Weinberg, J. (2015). Making water-energy food nexus approaches operational to support sustainable urbanization.

World Bank (2002). First Regional Consultation on MENA Water Challenges and Preparation for the Third World Water Forum, Spain, 10-12 June: Summary Report (No. 28308).

World Bank (2002) (2015). Sustainable Energy for All: Progress Toward Sustainable Energy. Washington, D.C.

World Bank (2002) (2016). Indicators. Available from http://data.worldbank.org/indicator. Accessed 16 September 2016.

World Economic Forum (2015). Global Risks 2015, 10th Edition.

Xylem (2014). Water use in oil and gas – Introduction: Trends in oil and gas production globally.

17-00044