RCREEE
Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency
المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

Supported by:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Nuclear Safety and Consumer Protection

based on a decision of
the German Bundestag

IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

دراسة حول
إمكانات تحلية المياه من مصادر الطاقة المتجددة في الدول العربية

أغسطس 2023

تم إعداد دراسة إمكانات تحلية المياه من مصادر الطاقة المتجددة في الدول العربية لصالح إدارة الطاقة بجامعة الدول العربية بدعم من المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة ومشروع حوار السياسات وإدارة المعرفة بشأن استراتيجيات حماية المناخ DIAPOL-CE الممول من الحكومة الألمانية لدعم جامعة الدول العربية.

جدول المحتويات

1 مقدمة 6

2 شح المياه في المنطقة العربية 6

3 **إمكانات الطاقة المتجددة في العالم العربي** 8

3.1 **أهداف الطاقة المتجددة** 8

3.2 **حصة الطاقة المتجددة** 10

3.3 مشاريع الطاقة المتجددة قيد الإنشاء 11

3.4 **التمويل والاستثمار** 13

4 سياسات المياه والطاقة المتجددة في العالم العربي 14

5 **تقنيات تحلية المياه في العالم** 15

6 استخدام تحلية المياه في المنطقة العربية 19

7 **التكنولوجيات المستخدمة في تحلية المياه من الطاقة المتجددة في العالم وفي المنطقة العربية** 24

7.1 **التحلية بالطاقة الشمسية** 25

7.1.1 **الطرق المباشرة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية:** 25

7.1.2 **الطرق غير المباشرة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية** 28

7.2 **التحلية بطاقة الرياح** 29

8 أمثلة ونماذج عن مشاريع التحلية بالطاقة المتجددة في المنطقة العربية 30

8.1 **أمثلة ونماذج في المنطقة العربية** 30

8.1.1 **مصر** 30

8.1.2 الجزائر 30

8.1.3 الإمارات العربية المتحدة 31

8.1.4 الأردن 32

8.1.5 المغرب 32

8.1.6 تونس 32

8.1.7 المملكة العربية السعودية 32

8.1.8 جيبوتي 32

8.1.9 جنوب افريقيا 32

9 **تحلية المياه في القطاع الزراعي** 33

10 التكلفة الطاقية لتحلية المياه والبصمة الكربونية 34

10.1تكلفة تحلية المياه 34

10.1.1 التكلفة الموحدة للمياه: 34

10.1.2 **التأثيرات على تكلفة تحلية المياه:** 35

10.2 متطلبات الطاقة وانبعاثات الكربون 37
11 **الأثر البيئي لتحلية المياه وطرق إدارته** 38
11.1 تأثير المحلول الملحي 39
11.2 **التأثير على الهواء** 40
11.3 التأثير على الحياة البحرية 41
12 الإطار التشريعي والممارسات الفضلى في مشاريع التحلية 42
13 **إمكانات تحلية المياه بالطاقة المتجددة وتحقيق الاستدامة وترابط المياه والطاقة والغذاء** 43
13.1 ترابط المياه والطاقة والغذاء 43
13.2 الترابط بين الماء والطاقة 44
13.3 **عوامل الربط بين الماء والغذاء والطاقة في المنطقة العربية** 45
13.4 الاحتياجات البشرية وأهداف التنمية المستدامة 47
13.5 مجالات الفرص المترابطة بين الماء والغذاء والطاقة 47
13.6 **دراسات الحالة** 47
13.6.1 **برنامج مصدر للطاقة المتجددة لتحلية المياه، الإمارات العربية المتحدة** 47
13.6.2 **مبادرة الملك عبد الله لتحلية المياه بالطاقة الشمسية، المملكة العربية السعودية** 49
14 دور بناء القدرات في تحلية المياه بالطاقة المتجددة 50
15 دور الابتكار وتوطين التكنولوجيا 51
16 خاتمة وتوصيات 53
17 المراجع 54

فهرس للأشكال والجداول

الشكل 1 حصص تقنيات الطاقة المتجددة (باستثناء الطاقة الكهرومائية) في المنطقة العربية..... 10
الشكل 2 السعة المركبة من الطاقة المتجددة..... 11
الشكل 3 زيادة الاستثمار في الطاقة المتجددة 2010 – 2020..... 13
الشكل 4 تقنية التناضح العكسي..... 16
الشكل 5 نظام عملية التناضح العكسي..... 17
الشكل 6 خريطة رمزية لقدرات تحلية المياه في الدول العربية والتكنولوجيا المستخدمة..... 21
الشكل 7 السعة الإجمالية حسب نوع القطاع في الدول العربية..... 24
الشكل 8 توزيع التكاليف في عمليات تحلية المياه بواسطة الأغشية الحرارية 36 الشكل 9 توزيع التكاليف في عمليات التحلية
الشكل 10 الملوثات الناتجة عن عمليات التحلية..... 39
الشكل 11 الترابط في أمن المياه والطاقة والغذاء..... 44
الشكل 12 ترابط المياه والطاقة..... 45
الشكل 13 الموارد المائية واستخدامات المياه في المنطقة العربية (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي ، 2013)..... 46
الشكل 14 الخفجي لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي باستخدام الطاقة الشمسية..... 49
الشكل 15 مقر MEDRC في مسقط ، سلطنة عمان..... 51
الشكل 16 النفقات المالية حسب نوع التحلية من 2006 إلى 2023..... 52

الجدول 1 أهم تقنيات تحلية المياه المستخدمة..... 15
الجدول 2 استهلاك الطاقة من تقنيات تحلية المياه المختلفة..... 18
الجدول 3 طرق الدمج المحتملة بين الطاقة المتجددة وتقنيات تحلية المياه..... 19
الجدول 4 أكبر محطات التحلية في الدول العربية..... 22
الجدول 5 عمليات التحلية التقليدية وتكنولوجيا الطاقة الشمسية..... 28
الجدول 6 نسب الملوثات الهوائية الناتجة حسب طريقة التحلية..... 40

1 مقدمة

تضاعف عدد سكان العالم ثلاث مرات في القرن العشرين، في حين زاد استخدام موارد المياه المتجددة ستة أضعاف وفقاً للمجلس العالمي للمياه، ومع ذلك، لا يزال حوالي مليار شخص لا يحصلون على إمدادات كافية من المياه و أكثر من ملياري شخص يفتقرون إلى مرافق الصرف الصحي المناسبة.

بالنظر إلى حجم التحديات ، يدعو عدد متزايد من التقارير إلى اتباع نهج متكامل لتخطيط وإدارة المياه قادرة على استيعاب أنظمة إمدادات المياه التقليدية والبديلة وكذلك إدخال تدابير إدارة الطلب القادرة على زيادة الكفاءة والادخار، في حين لا تزال المنهجيات المتكاملة بعيدة عن تحقيق نتائج مهمة على المستوى العالمي، إلا أنها وخاصة إدارة الطلب، نجحت جزئياً في تقليل الطلب على المياه واستهلاكها في الدول المتقدمة، في الوقت نفسه، تكتسب المصادر البديلة، وخاصة مياه الصرف الصحي المعالجة وتحلية المياه، زخماً سريعاً في بعض مناطق العالم حيث تواجه الخيارات التقليدية مثل السدود أو عمليات نقل المياه تكاليف اقتصادية وبيئية متزايدة بسرعة وكذلك معارضة اجتماعية وسياسية.

تعد المنطقة العربية من أكثر المناطق التي تعاني من ندرة المياه في العالم، حيث أن العديد من البلدان العربية لديها مستويات منخفضة للغاية من توافر المياه للفرد، وبالتالي فإن الاعتماد على تحلية المياه أمر حتمي لتلبية احتياجات مياه الشرب لما يزيد عن 420 مليون مواطن في المنطقة العربية، كما أنه صار لزاما الاعتماد بشكلٍ أكبر على موارد المياه غير التقليدية مثل تحلية المياه وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة.

مع الأخذ في الاعتبار أهداف حماية المناخ والمخاوف البيئية الهامة، ستعمل تقنيات تحلية المياه المستقبلية في جميع أنحاء العالم بشكل متزايد على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى، نظراً لأن تكاليف الطاقة التقليدية سترتفع على المدى القصير وسيقل توافر المياه بسبب الآثار المترتبة على تغير المناخ، فإن مستقبل تحلية المياه بالطاقة المتجددة يعد واعداً للغاية لأسباب بيئية واقتصادية وسياسية حيث تعتبر بديلا تنافسيا عندما تكون تكاليف المياه مرتفعة للغاية.

وفي محاولة لتقليل البصمة الكربونية الناتجة عن عمليات تحلية المياه كثيفة الاستهلاك للطاقة، تحول الاهتمام إلى استخدام مصادر الطاقة المتجددة لتحلية المياه، إذ تقدم تقنيات الطاقة المتجددة حلولاً جاذبة بشكل متزايد لتحلية المياه، وهي قضية حيوية للعديد من البلدان في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، بما في ذلك دول المنطقة العربية.

من ناحية أخرى، أصبحت الطاقة المتجددة في المنطقة العربية هي الاتجاه السائد، وتجاوزت الاستثمارات خلال العقد الماضي في مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح 17 مليار دولار أمريكي، بالإضافة إلى ذلك، هناك التزام واضح بتبني سياسات التفكير المستقبلي والاستفادة من القيمة الهائلة لأعمال الطاقة المتجددة والترابط عبر الحدود، ومن ثم، هناك إرادة سياسية واضحة في المنطقة العربية لتعزيز تحلية المياه بالطاقة المتجددة في ضوء ندرة المياه الحادة وزيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

2 شح المياه في المنطقة العربية

تعتبر قضية ندرة أو نقص إمدادات المياه من القضايا الرئيسية في المنطقة العربية، والتي تعتبر من المناطق الأكثر ندرة في المياه في العالم، حيث تعتبر المنطقة العربية موطناً لاثني عشر دولةً من الدول التي تعاني من ندرة المياه على مستوى العالم، حيث تعتبر هذه الندرة قضية اجتماعية وسياسية خطيرة بالإضافة إلى التحدي البيئي المترتب عليها، والذي قد يؤدي إلى زيادة الهجرة خارج المنطقة. على سبيل المثال، تشترك دول المنطقة العربية العديدة - بما في ذلك الأردن ولبنان وسوريا، في موارد مائية عابرة للحدود.

تم اقتراح العديد من الحلول لهذه المشكلة على مر السنين في محاولة لإنشاء طريقة عملية وطويلة الأمد لتوفير المياه العذبة، ومع ذلك من المتوقع أن يؤدي التوسع الاقتصادي والسكاني السريع إلى حدوث انخفاض كبير في موارد المياه المتجددة على مدى السنوات القليلة المقبلة، ليصل إلى مستوى مقلق، بالإضافة إلى دورة التجديد الهيدروليكي العادية، أدى النمو السكاني إلى زيادة معدل استهلاك المياه، بالإضافة إلى ذلك ينخفض مستوى المياه العذبة بشكل كبير على السطح بسبب الضخ الهائل للمياه العذبة

للزراعة، لا سيما في المناطق الساحلية في الدول العربية مثل الساحل الليبي ودلتا النيل ، حيث يحل تسرب مياه البحر محل المياه العذبة.

وقد نمت تحلية المياه لتصبح مصدراً بديلاً للمياه استجابةً لتزايد شح المياه على مدى الأربعين عاماً الماضية، حيث ساهمت وتساهم في الاستفادة من موارد المياه غير التقليدية وتوفير إمدادات مياه مستدامة ومقاومة للجفاف، وتوفر تحلية المياه حوالي 1٪ فقط من مياه الشرب في العالم، لكن هذا الرقم يتزايد عاماً بعد عام، ومن المتوقع أن تؤدي الزيادة الكبيرة في الاستثمارات خلال السنوات القليلة المقبلة إلى مضاعفة السعة بمقدار ثلاثة أضعاف بحلول عام 2030.

ويُنظر إلى تحلية المياه بشكل متزايد على أنها خيار تقني يتعلق بجانب العرض، يمكنه تلبية الاحتياجات المائية المتزايدة الحالية مع التخفيف من الآثار الضارة لتغير المناخ على الموارد المائية في الدول العربية، على الرغم من كونها عملية كثيفة الاستخدام للطاقة، فإن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) تعتبر تحلية المياه "خيارًا للتكيف" قد يكون ذي صلة خاصة في البلدان الجافة وشبه القاحلة مثل الدول العربية.

وعلى الرغم من الاعتراف بأن أحد الأسباب الرئيسية للنزاع في الدول العربية هو تغير المناخ، إلا أنه لا يمكن تجاهل هذا التهديد المضاعف، وتظهر آثار عدم الحصول على المياه والطاقة والغذاء، فضلاً عن التكاليف الاجتماعية والاقتصادية المترتبة على ذلك، فإن هذه المشاكل مترابطة ومن المرجح أن تصبح أكثر بكثير في المستقبل، ولكن نظراً لأن الدول العربية هي واحدة من أكثر المناطق تنوعاً من الناحية الاقتصادية على مستوى العالم، حيث يتراوح نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي من 1000 دولار أمريكي في اليمن إلى 20,000 دولار أمريكي أو أكثر في دول مجلس التعاون الخليجي، فقد تكون هناك اختلافات كبيرة في قدرة المنطقة على التكيف مع أخطار المناخ (أبو النجا، 2019)[1].

من هذا المنظور، لا يمكن النظر إلى تحلية المياه إلا على أنها تكيف مع تغير المناخ في الدول ذات الناتج المحلي الإجمالي الأكبر وحيث يمكن دعم الاستثمارات في تقنيات تحلية المياه من خلال الأمن المائي، قد تمتلك دول مجلس التعاون الخليجي في الواقع الموارد المالية اللازمة لإجراءات التكيف، في حين أن بقية المنطقة أكثر عرضة للخطر.

من جهة أخرى، فقد اكتسب مفهوم الأمن المائي زخمًا في المشهد السياسي على مستوى العالم وجذب أكبر قدر من الاهتمام من الحكومات الوطنية نظرًا لارتباطه بجميع أنواع الأمن، بما في ذلك السلام ، فضلاً عن تداعياته على تحديات التنمية، (الأمم المتحدة، 2013). صاغت الشراكة العالمية للمياه (GWP) العبارة لتمثل مقاربة شاملة قابلة للمقارنة لإدارة المياه خلال المنتدى العالمي الثاني للمياه في لاهاي في عام 2000 تحت شعار "الأمن المائي في القرن الحادي والعشرين" منذ ذلك الحين، استخدم الأكاديميون والمهنيون على حد سواء هذه العبارة بشكل متكرر.

تعتبر مستويات الاستهلاك الأعلى من إمدادات المياه، سواء كانت متجددة أم لا، غير آمنة، وقد يكون البلد الغني بالمياه والذي يستخدم المياه عشوائياً غير آمن، لذلك، فإن محدودية الوصول إلى المياه، كما هو الحال في الدول العربية، لا تؤدي تلقائياً إلى انعدام الأمن المائي.

تتضح أهمية المياه لجميع أنواع الأمن، بما في ذلك الأنواع الحديثة مثل الاستدامة، والتنمية، والأمن البشري بالإضافة إلى الأنواع التقليدية مثل الأمن العسكري الجيوسياسي، لأن أمن إمدادات المياه في المنطقة سيكون في خطر إذا أصبحت منشأة كبيرة لتحلية المياه هدفاً لأعمال تخريبية مما يجعل جهود البلاد لتعزيز إمدادات المياه لديها أكثر إلحاحاً. وقد يظل ملايين الأشخاص بلا مياه إذا توقفت محطات تحلية المياه الضخمة التي تعتمد عليها الدولة التي تعاني من شح المياه عن العمل لأن استخدام المياه اليومي في البلاد يتجاوز قدرتها التخزينية، وتخطط الحكومة السعودية لبناء العديد من الخزانات للتعامل مع الارتفاع الدوري في الطلب وضمان أمن العرض، وفقاً لما ذكره عامر الرجبية، نائب الرئيس لتخطيط وتحليل السعة في شركة شراكة المياه السعودية

[1] Abouelnaga, Mahmoud 2019: Why the MENA region needs to better prepare for climate change, Atlantic Council, 7 May 2019, in: https://www.atlanticcouncil.org/blogs/menasource/why-the-mena-region-needs-to-better-prepare-for-climate-change.

المملوكة للحكومة، فإن الحكومة ستبدأ في قبول العطاءات في الربع الأول لتركيب خزانات مياه جديدة في المدن المهمة، في عام 2022، ومن المتوقع أن تزداد سعة التخزين بمقدار ستة أضعاف، كانت السلطات المعنية بالسياسات تشعر بالقلق منذ سنوات بشأن اعتماد المملكة العربية السعودية على المياه المحلاة.

على النقيض من ذلك، فقد تم الاعتراف بأن لتغير المناخ آثاراً على الأمن (إدارة الأمم المتحدة للإعلام، 2011)[2]، حيث إن المياه هي الوسيلة التي سيكون من خلالها التأثيرات فورية، على غرار ذلك، فإن صعوبات المياه لها تأثير على قضايا الأمن البشري إما كعامل مساعد، أو هدف محتمل، أو مكون مساهم، أو كمعرفة أساسية.

إن معرفة أن المياه تؤثر على الأمن تعني الاعتراف بأن المياه تشكل خطراً أمنياً في حد ذاتها، وأن معالجة انعدام الأمن المائي يمكن أن تكون بمثابة رادع للصراعات والتوترات في المنطقة، وأن تحقيق الأمن المائي على المدى الطويل يمكن أن يساعد في زيادة السلام الإقليمي والأمن (الأمم المتحدة، 2013)[3]. كما تتناول أهداف التنمية المستدامة (SDGs) بشكل صريح الأمن المائي في الهدف 6.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تصبح الدول العربية غير مستقرة ويمكن أن تتفاقم المشاكل الحالية بسبب ندرة المياه وانعدام الأمن. كان لا بد من اختيار حل مستدام من قبل دول المنطقة لكل هذه الأسباب الطبيعية والبشرية العديدة لندرة المياه، وبالنسبة لغالبية هذه الأسباب، تبين أن هذا الحل هو تحلية المياه.

أكد كل من مؤيدي ومعارضي تحلية المياه، في الغالب، على القدرة على تحمل تكاليف تحلية المياه وإمكانية الوصول إليها باعتبارها مسألة فنية اقتصادية بحتة، ومع ذلك، فإن العوامل الاجتماعية والبيئية والسياسية والجيوسياسية متأصلة أيضاً في عملية تطوير تحلية المياه، وقد تتعارض هذه العوامل مع النظرة المثالية لتحلية المياه باعتبارها الحل النهائي لضمان إمدادات مياه موثوقة وكافية للأجيال القادمة ومساعدة دول المنطقة في ضمان أمنها المائي، فضلاً عن النظرة الأكثر تشاؤماً حول تحلية المياه وتحويل ندرة المياه نحو الطاقة، إضافة آثار كربونية إضافية، وتلويث البيئة البحرية بالمحلول الملحي العادم.

وبالتالي، تعد تحلية المياه من أفضل الطرق للتعامل مع نقص المياه، أكبر سوق لهذه التكنولوجيا في العالم هي المنطقة العربية، في الواقع، تستهلك دول المنطقة نصف المياه المحلاة في العالم، ويمكن أن تساهم هذه التقنية بالتأثير على حياة أكثر من 350 مليون مواطن من قاطني المنطقة العربية.

3 إمكانات الطاقة المتجددة في العالم العربي

وفقاً للهدف السابع للتنمية المستدامة، تعد الطاقة المتجددة ركيزة أساسية في مستقبل الطاقة المستدامة ولضمان حصول الجميع على طاقة معاصرة ويمكن الاعتماد عليها وبأسعار معقولة، تمتلك الدول العربية واحدة من أكبر إمكانات الطاقة المتجددة في العالم، وبالتالي من الواضح أنها تخطو خطوات كبيرة لبناء أسواق طاقة متجددة تنافسية، تعد أهداف الطاقة المتجددة الطموحة دليلاً على تفاني صانعي السياسات في لدول العربية ومثابرتهم ودعمهم لدمج تكنولوجيا الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

3.1 أهداف الطاقة المتجددة

تبدي جميع الدول العربية التزاماً من أجل تحفيز الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة، يمكن أن تكون إجراءات المستثمرين البسيطة، وتخصيص الأراضي لمشاريع الطاقة المتجددة، والأهداف الوطنية للطاقة المتجددة بمثابة أمثلة على هذا الالتزام

[2] United Nations Department of Public Information 2011: Security Council, in Statement, Say 'Contextual Information' on Possible Security Implications of Climate Change Important When Climate Impacts Drive Conflict, 20 Jul 2011, in: https://www.un.org/press/en/2011/sc10332.doc.htm.

[3] United Nations University 2013: Water Security and the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief, Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH), in: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:2651/Water-Security-and-the-Global-Water-Agenda.pdf.

الحكومي، حيث أعلنت غالبية الدول العربية أهدافًا واعدة للطاقة المتجددة. الأهداف المعلنة متنوعة وتتراوح النسبة من 15٪ إلى 100٪. وتستخدم جميع دول المنطقة في المقام الأول الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) وطاقة الرياح، مع استخدام بعضها أيضًا للطاقة الشمسية المركزة، وتلعب الطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية دوراً صغيراً في مزيج توليد الطاقة المتجددة.

وتمتلك كل من جيبوتي والمغرب أهدافًا لتوليد الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة بنسبة 100٪ لعامي 2035 و2050 على التوالي، وبالمثل تسعى المغرب للوصول لنسبة توليد 52٪ من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، ولدى المملكة العربية السعودية الهدف الأكثر طموحاً من السعة المستهدفة المركبة، والذي يهدف إلى الوصول إلى 58.7 جيجاوات بحلول عام 2030، وتهدف مصر إلى 59.7 جيجاواط بحلول عام 2035، تتوافق هذه الأهداف مع 30٪ و42٪ من السعة المركبة على الصعيد الوطني، على التوالي. يجري تعديل استراتيجية الطاقة المتجددة المصرية لتحقيق نسبة أعلى بحلول عام 2035.

وأعلنت جمهورية العراق مؤخراً عن زيادة استخدام الطاقة المتجددة بنسبة 33٪ بحلول عام 2030، هذا الهدف مدفوع بالتوسع الكبير الأخير في صناعة الطاقة الشمسية، حيث يتم التخطيط لإنشاء 12 جيجاواط من منشآت الطاقة الشمسية لتحقيق هذا الهدف. بالمقارنة مع الهدف المعلن سابقاً لبناء 2.24 جيجاوات بحلول عام 2025، يعد هذا تحسنًا كبيراً.

من حيث الطاقة المتجددة، يعتبر الأردن دولة رائدة، حيث ارتفعت نسبة الطاقة المتجددة في إجمالي الكهرباء من 0.7٪ في 2014 إلى أكثر من 16٪ في 2019. ونتيجة لهذا الإنجاز، زاد الأردن الهدف في استراتيجية الطاقة المحدثة لقطاع الطاقة 2020-2030، التي وضعتها وزارة الطاقة والثروة المعدنية (MEMR)، من 21٪ في عام 2020 إلى 31٪ من حصة الطاقة المتجددة في إجمالي قدرة توليد الطاقة و14٪ من إجمالي مزيج الطاقة بحلول عام 2030. كما ان نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء لعام 2022 قد بلغت 27%.

أما بالنسبة للجزائر، فقد سطرت برنامجاً يوصف بالاستراتيجي والطموح في آن واحد لإنجاز 15000 ميغا واط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في حدود 2035 من بينها 4000 ميغا واط قبل 2024، الأمر الذي سيسمح باقتصاد 240 مليار م^3 من الغاز الطبيعي وتحييد انبعاث ما يقارب 200 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون.

تجدر الإشارة إلى أن البرنامج الوطني لتطوير الطاقات المتجددة بالجزائر يهدف أساساً الى الاستجابة للطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية محلياً ودولياً في آن واحد، إضافة الى تثمين و استغلال الكمونات المتجددة الهائلة المتوفرة بالبلد عبر تنويع مصادر إنتاج الطاقة الكهربائية للولوج بخطى ثابتة للتحول الطاقي المنشود مما سيتيح للجزائر التخلص التدريجي من التبعية للمحروقات وتغيير النموذج الطاقي المعتمد حالياً.

من جانب آخر وفي نفس الإطار فقد باشرت الجزائر تزويد القرى و التجمعات السكنية بمحطات شمسية كهروضوئية مستقلة و معزولة عن الشبكة في الكثير من الولايات الجنوبية و مناطق الهضاب العليا، دون إغفال عملية تهجين إنتاج الكهرباء في بعض مناطق الجنوب التي تعتمد على المولدات الكهربائية التي تشتغل بالمازوت وهذا بربطها بمحطات للطاقة الشمسية الكهروضوئية.

الإدارات العمومية والمؤسسات التعليمية كان لها نصيب وافر من نفس البرنامج فقد تم إلى غاية الآن تزويد ما يقارب 1000 مدرسة بمحطات للطاقة الشمسية الكهروضوئية.

تهدف موريتانيا إلى توليد 50٪ من إجمالي الكهرباء من مصادر متجددة، من خلال إنشاء واستخدام محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية، حيث حققت موريتانيا تقدماً كبيراً في تنويع مصادر الإمداد، تحفز هذه النجاحات الحكومة الموريتانية على المضي قدماً في خططها لتوليد كل الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2050.

من أجل تلبية 52٪ من الطلب على الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2030، فإن المغرب يسير على الطريق الصحيح، تمت تلبية 35٪ من احتياجات المغرب من الكهرباء من خلال مصادر متجددة في 2019، ومن أجل تحقيق 100٪ بحلول عام 2050، يعتزم المغرب اتخاذ المزيد من الإجراءات.

تهدف الاستراتيجية الوطنية للطاقة في سلطنة عمان إلى تحقيق هدف سامي يتمثل في توليد 20٪ من الكهرباء في البلاد من مصادر متجددة بحلول عام 2027، وتسعى استراتيجية الطاقة المتجددة إلى الحصول على ما لا يقل عن 2660 ميجاوات، يأتي

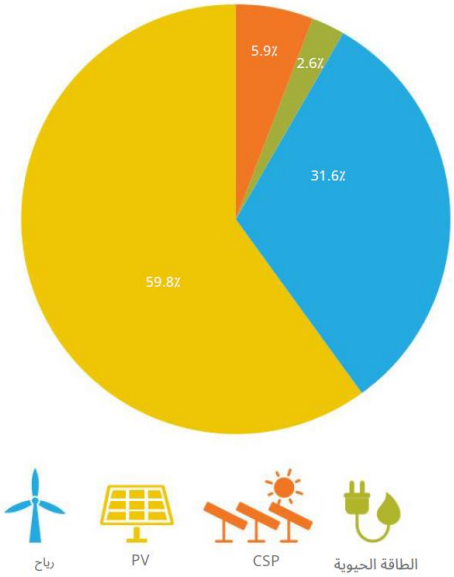
79٪ منها من الطاقة الشمسية الكهروضوئية و21٪ من الرياح، وإن زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة إلى 20٪ في عام 2030 وإلى 35-39٪ في عام 2040 هو هدف طموح منصوص عليه في رؤية 2040.

تم تحديث استراتيجية الإمارات للطاقة 2050 حيث تستهدف إلى مضاعفة مساهمة الطاقة المتجددة 3 أضعاف بحلول 2030، وضخ استثمارات وطنية بين 150 إلى 200 مليار درهم خلال نفس الفترة لضمان تلبية الطلب المتزايد على الطاقة في الدولة بسبب النمو الاقتصادي المتسارع. وقد تم رفع إجمالي القدرة المركبة للطاقة النظيفة من 14.2 جيجاوات الى 19.8 جيجاوات بحلول عام 2030 و تم رفع مساهمة القدرة المركبة للطاقة النظيفة من إجمالي مزيج الطاقة بحلول 2030 إلى (30%) لضمان البقاء على المسار الصحيح للحد من آثار تغيّر المناخ، إزالة نسبة مساهمة الفحم النظيف لتصبح 0% من مزيج الطاقة، بما يضمن ريادة الدولة ورفع كفاءة الاستهلاك الفردي والمؤسسي بنسبة 42% - 45% مقارنة بسنة 2019 بهدف الوصول للوصول للحياد المناخي في قطاع الكهرباء والمياه بحلول 2050.

ومن خلال توسيع مبادرات الطاقة المتجددة، مثل أنظمة الطاقة الشمسية ومزارع الرياح ومحطات الطاقة الكهرومائية، تعتزم لبنان زيادة نسبة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة بنسبة 30 في المئة بحلول عام 2030.

3.2 حصة الطاقة المتجددة

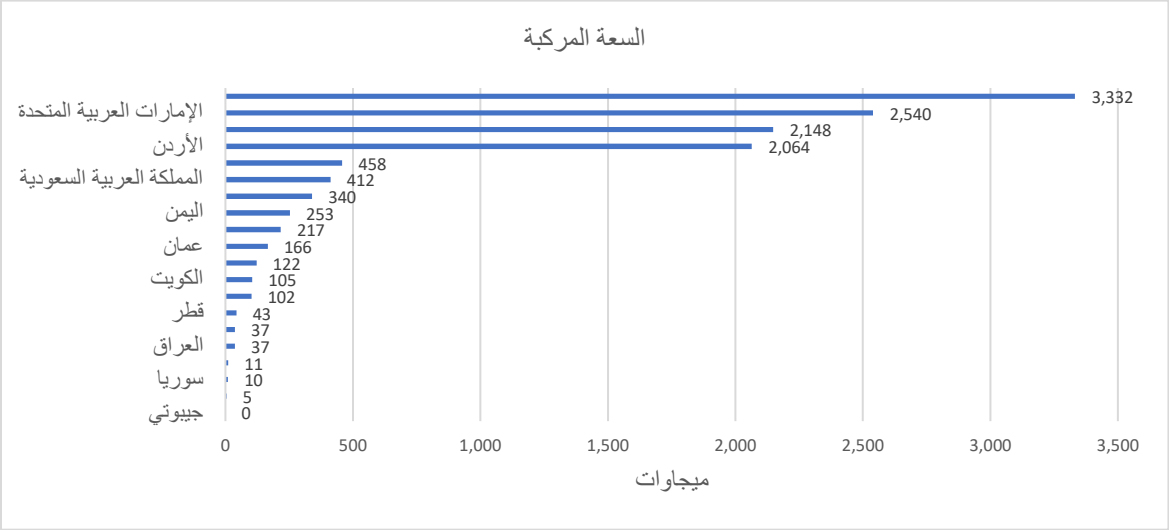
بإجمالي قدرة مركبة تبلغ 11.2 جيجاواط، لا تزال الطاقة الكهرومائية هي أكبر مصدر للطاقة المتجددة في المنطقة العربية، تليها الطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 7.4 جيجاوات، من 3.2 جيجاواط في نهاية عام 2018 إلى 7.4 جيجاواط في نهاية عام 2020، زادت السعة الكهروضوئية بأكثر من الضعف، دون الأخذ بعين الاعتبار الطاقة الكهرومائية، تبلغ حصة الطاقة المتجددة في المنطقة العربية حوالي 3.6٪. إجمالي سعة الطاقة المتجددة المركبة 23.6 جيجاوات .



الشكل 1 حصص تقنيات الطاقة المتجددة (باستثناء الطاقة الكهرومائية) في المنطقة العربية[4]

عند أخذ الطاقة الكهرومائية في الاعتبار، فإن السودان لديه أكبر حصة وطنية من الطاقة المتجددة (52٪)، تليها موريتانيا والمغرب والأردن، إذا تم إخراج الطاقة الكهرومائية من المعادلة، سيأتي الأردن في المرتبة الأولى.

[4] Arab Future Energy Index (AFEX) 2022 | Renewable Energy



الشكل 2 السعة المركبة من الطاقة المتجددة[5]

مصر والمغرب هما الدولتان اللتان تمتلكان قدرة طاقة رياح أكثر من 1 جيجاواط، دون الأخذ بعين الاعتبار الطاقة الكهرومائية، تمثل طاقة الرياح 49.1٪ و65.4٪ من القدرات المركبة في مصر والمغرب، على التوالي. يأتي الأردن، الذي تبلغ القدرة المركبة فيه حوالي 0.5 جيجاواط، تليه تونس، التي تبلغ طاقتها المركبة 245 ميجاوات.

فيما يتعلق بكمية الطاقة الكهروضوئية المركبة، قامت دولة الإمارات بإضافة قدرات مركبة حوالي 3.5 جيجاواط في سنة 2022، واحتلت المرتبة الأولى بين الدول العربية، وتحتل مصر المرتبة الثانية بشكل عام وتمثل 48.7٪ من إجمالي الطاقة المتجددة المركبة، ويأتي الأردن في المرتبة الثانية بعد مصر بـ 1.54 جيجاوات، أو 74.7٪ من جميع مشاريع الطاقة المتجددة المركبة. فقط الإمارات العربية المتحدة ومصر والأردن لديها قدرة PV أكبر من 1 جيجاواط.

ست دول فقط نفذت تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة. وكانت مصر أولى هذه الدول بقدرة مركبة تبلغ 20 ميجاوات، وتعتبر المغرب ذات أكبر قدرة مركبة، حيث يمثل 72 ٪ من الطاقة الإجمالية في المنطقة بقدرة 530 ميجاوات. تحل الإمارات العربية المتحدة المرتبة الثانية من حيث القدرة المركبة بقدرة 100 ميجاوات. يوجد 50 ميجاوات من أنظمة الطاقة الشمسية المركزة في المملكة العربية السعودية. إجمالاً، تتكون 93٪ من قدرة الطاقة الشمسية المركزة في المنطقة في المغرب، الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية، فيما تتوزع النسبة الباقية بين كلاً من مصر، سلطنة عمان والجزائر.

3.3 مشاريع الطاقة المتجددة قيد الإنشاء

يُظهر النشر المستمر لقدرات الطاقة المتجددة التزام المنطقة العربية بالتحول إلى إنتاج طاقة أنظف، حيث إن غالبية مشاريع الطاقة المتجددة قيد الإنشاء حالياً، أو أكثر من 80٪ من المشاريع، تستخدم تقنية الطاقة الكهروضوئية، مع حوالي 13٪، تحتل مشاريع طاقة الرياح المرتبة الثانية.

يتم بناء أكبر مشاريع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية، بقدرة 3.7 جيجاواط من الطاقة الشمسية و400 ميجاوات من طاقة الرياح. مع مشروع طاقة شمسية 2 جيجاوات يسعى لأن يكون الأكبر في العالم، تأتي الإمارات في المرتبة الثانية. تأتي مصر في المرتبة الثالثة بمزيج من مصادر الطاقة المتجددة أكثر من 1 جيجاواط من الطاقة الشمسية و750 ميجاوات من طاقة الرياح.

كما تسعى العديد من الدول العربية لإضافة قدرات الصغيرة لتوليد الطاقة المتجددة، على سبيل المثال، تقوم قطر بتركيب حوالي 800 ميجاوات من مشاريع الطاقة الشمسية على الرغم من امتلاكها حوالي 50 ميجاوات من الطاقة المتجددة، وينطبق الشيء

[5] Arab Future Energy Index (AFEX) 2022 | Renewable Energy

نفسه على المملكة العربية السعودية وسلطنة عمان والعراق (التي لديها أكثر من 2 جيجاواط من مشاريع الطاقة المتجددة قيد التطوير). سيساعد تنفيذ هذه المشاريع الضخمة في تحقيق الأهداف الصعبة للطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

في البحرين، تم الإعلان عن محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 100 ميجاوات، وفي عام 2023، من المتوقع أن يبدأ المشروع في العمل، وسيتم استخدام اتفاقية شراء الطاقة لبيع الكهرباء التي ينتجها المشروع إلى هيئة الكهرباء والماء، حيث أعلنت البحرين عن مناقصة لبناء محطة للطاقة الشمسية 3 ميجاوات بموجب اتفاقية شراء الطاقة لمدة 20 عاماً، ستقوم الشبكة المحلية بشراء الكهرباء المولدة، وسيكون المشروع الذي سيتم ربطه بالشبكة وبناؤه على مضمار الفورمولا 1 للدولة، بالإضافة إلى ذلك، أطلقت وحدة الطاقة الشمسية في البحرين وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي مناقصة 3 ميجاوات لثمانية مواقع تضم 66 مبنى حكومي.

يجري العمل في بناء أول مشروع طاقة الرياح IPP في جيبوتي في مزرعة رياح 60 ميجاوات في منطقة Goubet. تم توقيع اتفاقية شراء الطاقة لمدة 25 عاماً مع شركة Electricité de Djibouti في عام 2019 كجزء من التطوير المستمر للمشروع.

ستعمل منشآت الطاقة الشمسية الجديدة المملوكة للقطاع الخاص في كوم أمبو، مصر، على زيادة قدرة الشبكة بمقدار 200 ميجاوات و500 ميجاوات على التوالي، كما أعلن وزير الكهرباء والطاقة المتجددة المصري عن إنشاء مجمع لطاقة الرياح بطاقة 2800 ميجاوات في محافظة البحر الأحمر على البحر الأحمر وخليج السويس، وبلغ عدد من مشاريع توليد الرياح بقدرات تتراوح من 250 ميجاوات إلى 1100 ميجاوات لكل منها الإغلاق المالي.

شهد عام 2019 إعلان العراق عن مبادرة IPP للطاقة الشمسية بقدرة 750 ميجاوات، والتي سيتم تقسيمها إلى سبعة مشاريع، سيكون لكل مشروع قدرة مميزة وينتشر في 5 محافظات، وستحصل كربلاء على تركيب أكبر محطة بقدرة 300 ميغاواط، حيث سيتم ربط مرافق الطاقة الشمسية بشبكة النقل، كما أن هناك اتفاقية استراتيجية لبناء خمسة مشاريع للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة إجمالية تبلغ 1 جيجاواط بين حكومة العراق ومصدر في دولة الإمارات العربية المتحدة، تم الاتفاق مع الهيئة الوطنية للاستثمار ووزارة الكهرباء العراقية لتطوير عدد من المشاريع منها محطة بقدرة 450 ميغاواط في محافظة ذي قار جنوب العراق ومحطة 100 ميغاواط ومحطة بقدرة 250 ميغاواط في وسط العراق في الرمادي، ومحطة 100 ميجاوات في مدينة الموصل الشمالية، ومحطة 100 ميجاوات في مدينة العمارة الجنوبية.

في نفس السياق، فقد أعلنت الجزائر عبر شركة سونلغاز (الشركة العمومية الوحيدة لإنتاج وتسويق الكهرباء والغاز الطبيعي) عن مناقصة وطنية ودولية لإنجاز 15 محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية موزعة على 11 ولاية (محافظة) في الجنوب والهضاب العليا، باستطاعة اجمالية تقدر ب 2000 ميغا واط، تتوزع على قدرات فردية تتراوح بين 80 إلى 220 ميغا واط لكل محطة، بالإضافة إلى مشروع 1000 ميغا واط طاقة شمسية، كما أنجزت الجزائر من خلال برامج سابقة 22 محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة إجمالية تتجاوز 350 ميغاواط و محطة لطاقة الرياح بولاية أدرار باستطاعة تقدر بـ 10 ميغاواط إضافة الى محطة هجينة للطاقة الشمسية المركزة بقدرة 28 ميغاواط، وجدير بالذكر أن الاستطاعة الإجمالية للطاقة المتجددة بما فيها الطاقة المائية في الجزائر في آخر سنة 2022 تقدر ب 590 ميغا واط بالنسبة لإجمالي قدرة إنتاج الكهرباء التي تفوق 25000 ميغا واط.

وقع المكتب الوطني للكهرباء ومياه الشرب (ONEE) والوكالة المغربية للطاقة المستدامة (IPP) العقود النهائية لمنتج طاقة الرياح المستقل 270 ميجاوات في جبل الحديدي، المشروع هو واحد من خمسة مشاريع رياح سيتم بناؤها في جميع أنحاء المغرب كجزء من برنامج طاقة الرياح المتكامل 850 ميجاوات.

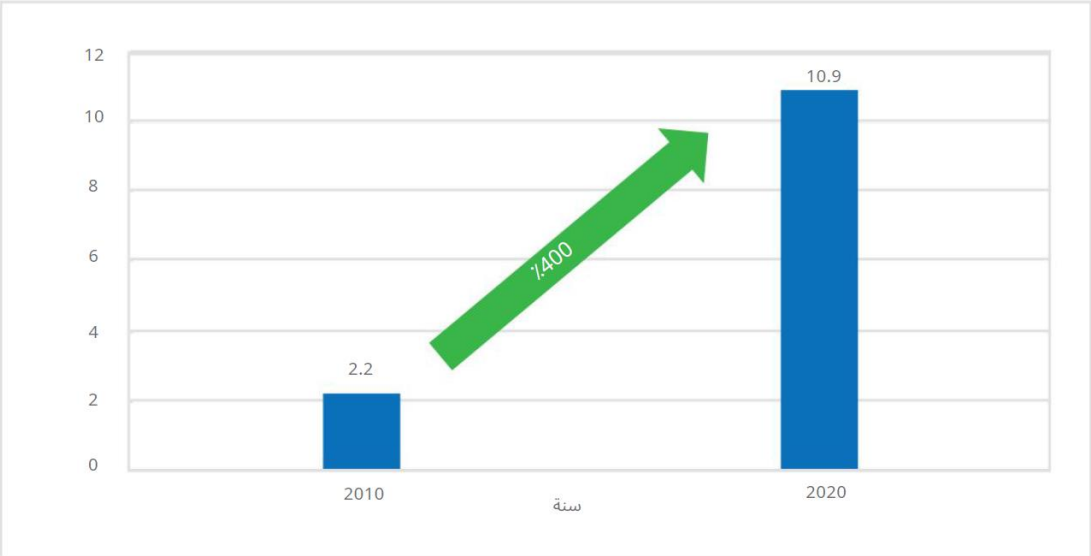
يتم الآن بناء أربع مزارع رياح، كل منها بقدرة 30 ميجاوات، في تونس، ووافقت الحكومة التونسية على سبعة مشاريع للطاقة الشمسية بإجمالي استثمارات 408 مليون دولار و500 ميجاوات من الإنتاج المشترك، وفقًا لهيكل الامتياز الوطني، تم اختيار المشاريع في عام 2019 وسيتم بناؤها في ولايات القيروان (100 ميجاواط) وتطاوين (200 ميجاواط) وتوزر (50 ميجاواط) وسيدي بوزيد (50 ميجاواط) وقفصة (100 ميغاواط)، بالإضافة إلى ذلك منحت الحكومة التونسية للشركات الخاصة 12 مشروعاً للطاقة الشمسية بطاقة مجمعة 10 ميجاوات قيد الإنشاء.

بدأ تشغيل مشروع سكاكا المستقل للطاقة بقدرة 300 ميجاوات في المملكة العربية السعودية في عام 2021 بعد ربطه بالشبكة في عام 2019، وقد تم منح أكبر مشروع للطاقة المتجددة في المملكة، وهو مشروع سدير للطاقة الشمسية الكهروضوئية المستقل بقدرة 1500 ميجاوات، من قبل صندوق الاستثمار العام، الذي سيكون مسؤولاً عن تنفيذ 70٪ من أهداف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة (NREP)، لمجموعة بقيادة شركة تطوير المرافق الإقليمية أكوا باور، كما تمت الموافقة على سبعة مشاريع للطاقة الكهروضوئية IPP تبلغ طاقتها الإجمالية1.47 جيجاوات في عام 2021.

محطة الظفرة للطاقة الشمسية الكهروضوئية، أكبر محطة للطاقة الشمسية في العالم، يجري تصميمها وبنائها في دولة الإمارات العربية المتحدة، سيكون للمشروع الذي تبلغ تكلفته مليار دولار أيضاً خيار التوسع في 108 ميجاوات من البطاريات العاملة التي تعد حالياً جزءاً من البنية التحتية لتخزين الكهرباء في أبو ظبي، بالإضافة إلى أحدث التقنيات البلورية، ستدمج المحطة تقنية جديدة لألواح الطاقة الشمسية ثنائية الوجه.

3.4 التمويل والاستثمار

زاد الاستثمار في الطاقة المتجددة تدريجياً خلال السنوات العشر الماضية، من 2.2 مليار دولار أمريكي في عام 2010 إلى 10.9 مليار دولار أمريكي في عام 2016، أو ما يقرب من 400٪ نمو، زاد الاستثمار السنوي، من 4 دول في عام 2010 بقدرة مركبة تتجاوز 50 ميجاوات إلى جميع الدول العربية تقريبًا في عام 2020، تشمل أرقام الاستثمار هذه فقط الاستثمارات في مشاريع الطاقة الشمسية والمتجددة صغيرة الحجم على نطاق المرافق، لم يتم تضمين الاستثمارات في مشاريع الطاقة الكهرومائية الكبرى. كانت هذه الزيادة الهائلة ممكنة بسبب انخفاض تكلفة الطاقة المتجددة، والعديد من البرامج الداعمة، وإمكانات الطاقة المتجددة الممتازة التي توفرها الدول العربية.



الشكل 3 زيادة الاستثمار في الطاقة المتجددة 2010 – 2020[6]

من المتوقع أن تستمر الاستثمارات في قطاع الطاقة المتجددة في المنطقة العربية في الزيادة بشكل مطرد بسبب أهداف الطاقة المتجددة الطموحة، والمعرفة المكتسبة من إنشاء المشاريع الكبيرة، والجدوى التجارية لمشاريع الطاقة المتجددة.

هناك أنواع عديدة من الحوافز المالية، بدءاً من الإعفاءات الضريبية والاستهلاك المتسارع وانتهاءً بالإعفاءات الضريبية يمكن أن يكون للحوافز الضريبية الجاذبة تأثير كبير على اختيار المستثمرين، ينظر صناع السياسات إلى الحوافز المالية على أنها أدوات تكميلية لدعم سياسة الطاقة المتجددة الأكثر شمولاً وحافظات التمويل.

[6] Arab Future Energy Index (AFEX) 2022 | Renewable Energy

تعفي مصر والأردن وليبيا وفلسطين والسودان وتونس وموريتانيا والمغرب معدات الطاقة المتجددة من الضرائب الجمركية. للتأهل للإعفاء في مصر، يجب أن يحصل المستورد على شهادة من هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة (NREA) تؤكد أن المعدات المستوردة ستستخدم في مشروعات الطاقة المتجددة من أجل خفض الضرائب الجمركية إلى 2٪ وضريبة القيمة المضافة إلى 5٪.

المكونات المستخدمة في مصادر الطاقة المتجددة التي لا يمكن استبدالها محلياً مؤهلة للإعفاءات الجمركية في تونس، المشاريع الاستثمارية الكبيرة التي تبلغ قيمتها أكثر من 200 مليون درهم (حوالي 21.3 مليون دولار أمريكي) في المغرب مؤهلة للواردات المعفاة من الرسوم الجمركية وضريبة القيمة المضافة لجميع الأدوات والمواد والمعدات.

أنشأت العديد من الدول العربية صناديق للطاقة المتجددة لتسهيل تمويل مشاريع الطاقة المتجددة وبأسعار معقولة، من خلال تمويل المشاريع المختلفة، تهدف هذه الأموال في المقام الأول إلى تعزيز كفاءة الطاقة وتقنيات الطاقة المتجددة، عادة تجمع هذه الصناديق بين الأصول المالية من مصادر محلية وأجنبية مختلفة

4 سياسات المياه والطاقة المتجددة في العالم العربي

تعاني المنطقة العربية من الشح المائي، ومع ذلك لم يتم تطوير ما يكفي من السياسات والأدوات لمعالجة هذه المشكلة، وهناك القليل من خطط إدارة المياه الوطنية والتي تشمل أزمة التغير المناخي، وتعتمد العديد من الإجراءات والأدوات المستخدمة في المنطقة العربية لمعالجة أزمة شح المياه بالتوافق مع الأزمة المناخية العالمية على إما:

حل المشكلة من ناحية العرض والطلب على المياه، أو تنشيط السياسات والحلول الهندسية، وهنا يقدّم حل تحلية المياه من جانب زيادة العرض على المياه.

ولطالما واجه تضمين تقنية تحلية المياه في حلول شح المياه العديد من التحديات، من جهة يقوم صناع القرار وصانعو السياسات بالترويج لاستخدام هذه التقنية، بينما تثار الشكوك حول مزايا التقنية ومشاكلها من جهة أخرى، وإن هذه المزايا والمشاكل لا تقتصر على وجهة النظر التقنية، بل تمتد لتشمل الأبعاد الاجتماعية والجيوسياسية والبيئية، خصوصاً أن تطوير المصانع ذات النطاق الواسع يعتمد على الأوضاع السياسية في المنطقة.

على أي حال، في ظل التأقلم مع أزمة التغير المناخي، يعتبر اعتماد تقنيات تحلية المياه مشروعاً إن لم تتواجد تدابير أخرى ممكنة، ولكن، يجب الإشارة إلى استهلاك الطاقة الكبير والآثار البيئية الضارة المحتملة وعدم قبول هذه التقنية شعبياً في بعض الأحيان، كسلبيات لا يمكن التغاضي عنها، ويجب إيجاد حلول لها.

يتمتع المحلول الملحي الناتج عن التحلية بتركيز ملحي عال ، فضلا عن الصلابة واحتوائه على معادن ثقيلة ومركبات كيميائية مستخدمة في عملية التحلية (موانع التكلّس، مواد تنظيف وغيرها) وكذلك تكون درجة حرارته (في حالة التحلية الحرارية كتقنية التبخير الومضي المتعدد المراحل) أعلى من البيئة المحيطة ، مع توخّي الحذر من المخاوف المذكورة، فإن التطورات التكنولوجية الحالية وخاصة من ناحية انخفاض تكاليف الطاقة والتحسينات المستجدة في استخدام تقنيات الطاقة المتجددة وتحسين تقنيات الأغشية والتخلص الآمن من المحاليل الملحية تجعل تقنية التحلية مجدية اقتصادياً.

مع ذلك، كان الاعتماد على معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي في عام 2010 شائعاً أكثر من استخدام التحلية، ووفقاً لوحدة المعلومات المائية العالمية (GWIU) ومنذ عام 2013 استمر الطلب على إعادة استخدام المياه المعالجة بشكل أكبر من الطلب على المياه المحلاة، على أية حال، إن إعادة استخدام المياه المعالجة يكون بمعظمه تلبية لأغراض الزراعة والحدائق والوظائف البيئية وبالتالي فهو لا يمثّل منافساً مباشراً لتحلية المياه الصالحة للاستهلاك البشري بالإضافة للزراعة.

وهناك الاستراتيجيات الإقليمية المتعلقة بتحلية المياه، ومنها استراتيجية حوار دول غربي المتوسط أو 5+5 التي تشمل من الدول العربية كلاً من الجزائر والمغرب وليبيا وتونس وموريتانيا (بالإضافة لفرنسا وإيطاليا ومالطا والبرتغال واسبانيا)، تعتبر هذه الاستراتيجية أن تحلية المياه تقنية موفرة لفرص هائلة لحشد الموارد في الدول التي تعاني من الندرة المائية، وبالتالي الحد من استخدام موارد المياه التقليدية، وقد شملت هذه الاستراتيجية التي وضعت في عام 2015 على عدة نقاط، أهمها:

- الحث على استخدام تقنيات متطورة وذات كفاءة التي تقلل من الآثار البيئية، واستخدام الطاقات المتجددة في مصانع التحلية.
- تشجيع تطوير برامج التحلية من النواحي القانونية والسياسية.
- السماح لاستثمارات القطاع الخاص بالتكيّف مع الطلب المتزايد والمتسارع.

5 تقنيات تحلية المياه في العالم

ببساطة، تحلية المياه هي إجراء علمي لفصل المياه العذبة عن المياه المالحة، وقد تم استخدام تقنيات مختلفة منذ أن تم تطوير تحلية المياه لأول مرة في العصور القديمة، اقترح الفيلسوف اليوناني أرسطو عملية تحلية في القرن الرابع قبل الميلاد حيث تبخر الماء غير الصالح للشرب ثم تكثف ليصبح سائلًا صالحًا للشرب، ألكساندر الأفروديسياس في عام 200 بعد الميلاد، قام أيضاً بتفصيل طريقة استخدمها البحارة والتي تضمنت غليان مياه البحر لتكوين بخار، والذي تم امتصاصه بعد ذلك بواسطة الإسفنج لصنع مياه صالحة للشرب (كالوجيرو، 2005)[7]. لإرواء عطشهم في رحلات طويلة، جرب البحارة في القرن الثامن عشر تغليف هذه الأبخرة بالإسفنج، تم استخدام طرق مماثلة لريادة تحلية المياه الحديثة، بما في ذلك طريقة التحلية الحرارية، والتي تتضمن تسخين المياه المالحة حتى الغليان (باستخدام الغاز الطبيعي أو الزيت كوقود)، ويعتبر التناضح العكسي (RO)، الذي يمرر مياه البحر عبر أغشية بوليمرية لإزالة الملح والشوائب الأخرى، أحد أكثر التقنيات المستخدمة على نطاق واسع في توفير الطاقة، باعتبارها الجيل الثاني من تقنيات تحلية المياه، فقد نمت وازدهرت مرة أخرى في منتصف القرن العشرين واكتسبت انتشاراً واسعاً في جميع أنحاء العالم، لا سيما في الدول العربية حيث تكون تكاليف الطاقة أرخص بكثير مما هي عليه في أجزاء أخرى من العالم.

واعتباراً من عام 2018، يتم إنتاج أكثر من 100 مليون متر مكعب من المياه المحلاة يومياً، أو حوالي 1٪ من الطلب العالمي. وتنتج المملكة العربية السعودية خُمس كمية المياه المحلاة في العالم، تليها الولايات المتحدة، والإمارات العربية المتحدة ، والصين ، وإسبانيا ، والكويت، وتعتمد دول الخليج بشكل كبير على تحلية المياه لتزويد سكانها وحاجياتها الاقتصادية، لأنها تستخدم غالبية المياه الجوفية الشحيحة في الزراعة، وتنفق الحكومات والشركات ما يصل إلى 14 مليار دولار أمريكي سنوياً لجعل مياه المحيطات والمياه معتدلة الملوحة صالحة للشرب (ستانلي، 2019)[8].

وتشمل أكثر إجراءات التحلية طرقا لفصل الأملاح عن مياه المحيطات والتي يمكن استغلالها الآن على نطاق تجاري والتي تم نشرها على نطاق واسع، ويتم سرد أهم التقنيات المستخدمة اليوم في الجدول 1:

الجدول *1 أهم تقنيات تحلية المياه المستخدمة*

العمليات الرئيسية	عمليات بسيطة
العمليات الحرارية: • ضغط البخار الحراري (TVC) • التقطير متعدد التأثيرات (MED) • التقطير الوميضي متعدد المراحل (MSF) • عمليات التقطير بضغط البخار الميكانيكي (MVC)	• تحلية التجميد • الترطيب / إزالة الرطوبة • تحلية الامتزاز (AD) • تقطير الأغشية (MD) • إزالة الأيونات بالسعة (CDI) • إزالة الأيونات بالكهرباء
عمليات الغشاء: • عمليات التناضح العكسي (RO) • التحليل الكهربائي (ED) • الترشيح الدقيق (NF)	

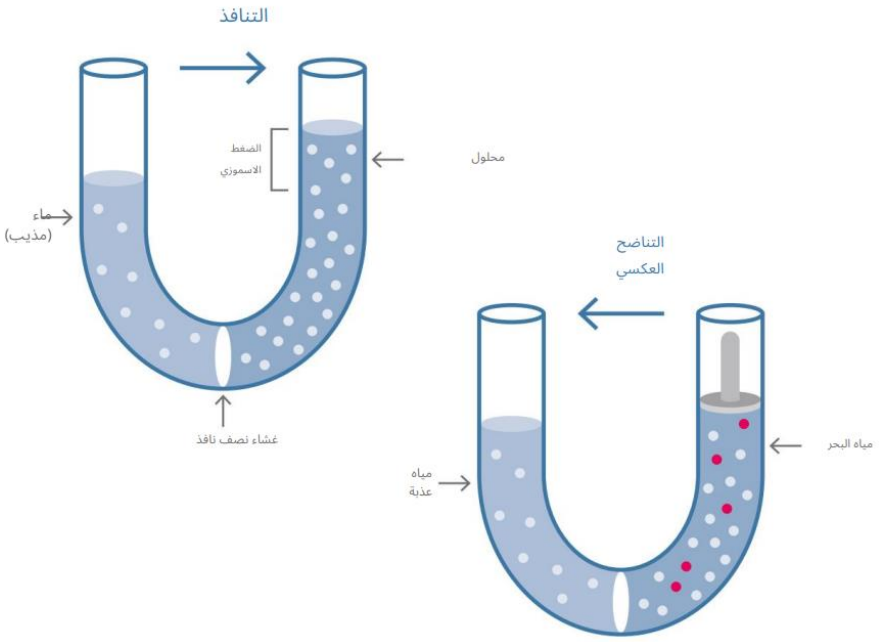
[7] Kalogirou, Soteris A. 2005: Seawater desalination using renewable energy sources. Desalination

[8] Stanley, Bruce 2019: Why Making Seawater Drinkable Doesn't Thrill Everyone, Bloomberg, 7 Mar 2019, in: https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-07/why-making-seawater-drinkable-doesn-t-thrill-everyone-quicktake

قد تكون هناك حاجة للطاقة في شكل حرارة أو طاقة أو حتى مزيج من كلا نوعي الطاقة، اعتماداً على إجراء تحلية المياه المستخدم، وتكلفة عملية تحلية المياه هي المحدد الأساسي للاختيار، ونظراً للتطورات الحديثة في تكنولوجيا الأغشية، سيطرت تقنية التناضح العكسي على أعمال تحلية المياه خلال السنوات العشر الماضية، ويرجع ذلك في الغالب إلى انخفاض الاستثمار الأولي وإجمالي أسعار المياه التي تحققها من خلال تقليل استخدام الطاقة إلى ما يقرب من 3 كيلووات ساعة / متر مكعب (غفور وآخرون، 2013)[9].

من خلال إجبار الماء تحت الضغط عبر غشاء شبه منفذ لمواجهة الضغط الأسموزي للمياه المالحة، فإن التناضح العكسي هو تقنية تُستخدم لإزالة الغالبية العظمى من الملوثات من الماء (Figure 1).

وتستخدم مضخات الضغط العالي في أنظمة تحلية المياه بالتناضح العكسي لضغط مياه البحر، ويتم إنشاء مياه عذبة منخفضة الضغط ومحلول ملحي عالي الضغط عندما يتم دفع الغشاء للعمل تحت الضغط، من أجل استعادة بعض الطاقة الهيدروليكية من المحلول الملحي عالي الضغط، تم ابتكار أجهزة لاستعادة الطاقة.



الشكل 4 تقنية التناضح العكسي[10]

توفر كل من الألواح المسطحة وأنواع HFF (الألياف الدقيقة المجوفة) لأغشية التناضح العكسي، ثلاث طبقات تشكل غشاء التناضح العكسي المسطح، عادة، يتم استخدام أغشية التناضح العكسي المركبة ذات الأغشية الرقيقة فوق طبقة حاجز البولي أميد توجد طبقة دعم بوليستر غير منسوجة، تليها طبقة بولي سلفون، ومع ذلك، فإن أغشية التناضح العكسي لها عمر قصير وغالباً ما

[9] Ghaffour, Noreddine / Missimer, Thomas M. / Amy, Gary L. 2013: Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability, Desalination 309, Jan 2013, pp. 197 – 207.

[10] Regional Study: "Desalination as an alternative to alleviate water scarcity and a climate change adaptation option in the MENA region", MEDRC, KAS – REMENA

يتم التخلص منها في مدافن النفايات، تستخدم تطبيقات تحلية مياه البحر أيضاً شكلاً مختلفاً من غشاء التناضح العكسي المصنوع من ألياف السليلوز المجوفة ثلاثية الأسيتات (CTA) المصبوبة على دعامة بوليستر غير منسوجة.

يمكن أن تعمل الأغشية عادةً بشكل صحيح لمدة عامين، ولكن نظراً للظروف الصحيحة، يمكن أن تستمر لمدة تصل إلى خمس سنوات أو أكثر، كانت تأثيرات التخلص من آلاف الأطنان من أغشية التناضح العكسي سنوياً أسوأ بشكل تدريجي في جميع أنحاء العالم، يجب إعطاء الأولوية لمنع الهدر ويجب اتخاذ الإجراءات قبل أن يصل المنتج إلى نهاية عمره الافتراضي.

تحاول العديد من المبادرات البحثية الجارية، بما في ذلك تلك الموجودة في MEDRC، معالجة هذه المشكلة وإطالة عمر أغشية التناضح العكسي لتطبيقات مختلفة، لكنها تواجه مشكلات التخلص نفسها عندما تنكسر تمامًا، كما تشكل أغشية التناضح العكسي المستهلكة جزءاً كبيراً من نفقات التشغيل والصيانة، والتي تأتي في المرتبة الثالثة بشكل عام بعد الطاقة والمواد الكيميائية ويتراوح العمر التقديري لغشاء التناضح العكسي بين 5 و8 سنوات، اعتماداً على مصدر مياه التغذية، والذي يمكن أن يكون مياه البحر، والمعالجة المسبقة.

عندما يعمل التناضح العكسي، تُستخدم مضخة الضغط العالي لرفع الضغط على جانب الملح بالجهاز وإجبار الماء عبر غشاء شبه منفذ، تاركاً جميع الأملاح الذائبة تقريباً (حوالي 95٪ إلى 99٪) في رفض التدفق، ويحدد محتوى الملح في مياه التغذية مقدار الضغط المطلوب، هناك حاجة إلى مزيد من الضغط للتغلب على الضغط الأسموزي، كلما زاد تركيز مياه التغذية.

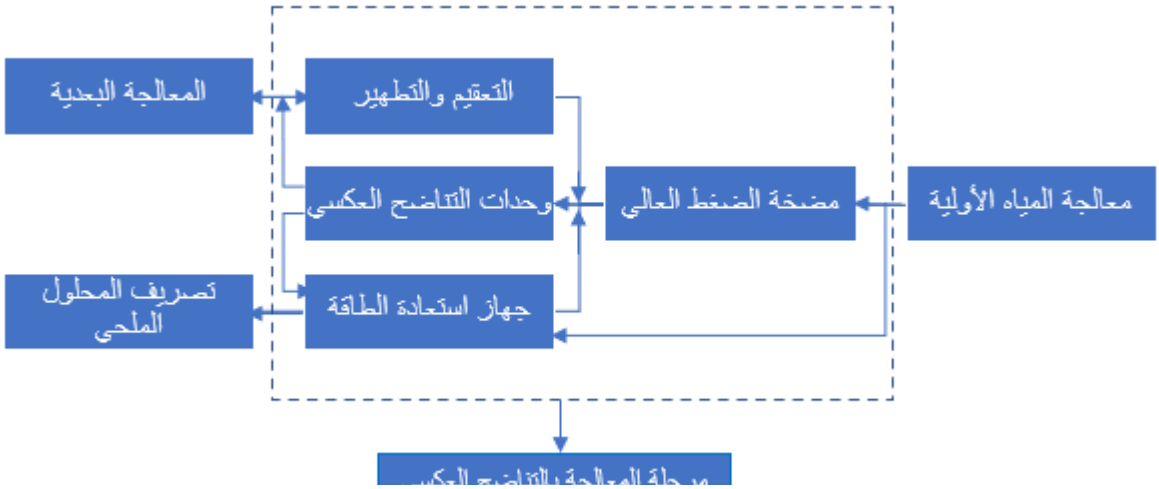


Figure 1 نظام عملية التناضح العكسي

الشكل 5 نظام عملية التناضح العكسي

المعالجات المسبقة مطلوبة لتقنيات الأغشية لحماية الأغشية عن طريق إزالة بعض الشوائب، وتقييد نمو الميكروبات على الغشاء (بصرف النظر عن MD، حيث تكون الأغشية كارهة للماء)، ولجعل الأغشية أكثر فاعلية، يستخدم الترشيح لإزالة المواد الصلبة العالقة، ويتم تعديل (خفض) مستويات الأس الهيدروجيني لحماية الغشاء وإدارة ترسيب الملح، وتضاف مثبطات مقاومة التقشر لإدارة كربونات الكالسيوم والكبريتات، وينتج تلوث الأغشية عن الحديد والمنغنيز وبعض المواد العضوية، ولمنع الغشاء من أن يصبح بيوفويل، يضاف مطهر.

في جميع الطرق، تعتبر المعالجة اللاحقة للمياه المنتجة ضرورية، خاصة في عمليات التقطير التي تتطلب تمعدن الماء المقطر المنتج، إذ يتم تثبيت المياه المنتجة وجعلها متوافقة مع نظام التوزيع عن طريق المعالجة اللاحقة.

من الضروري تعديل الأس الهيدروجيني إلى ما يقرب من 8، وذلك لتعزيز القلوية والمواد الصلبة الذائبة وتثبيت الماء، ويمكن استخدام الكربنة أو استخدام مواد كيميائية أخرى، مثل الجير، كما قد يكون من الضروري إضافة مثبطات التآكل مثل الفوسفات المتعدد.

من أجل إدارة الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية التوزيع والتخلص من مسببات الأمراض في عملية المزج، فإن التطهير النهائي مهم أيضًا. قد يكون من الضروري أيضاً التخلص من الغازات بالنسبة للتمعدن، وتقوم عدة أنظمة بخلط بعض من مصادر المياه في المياه المحلاة.

في السنوات العشر الماضية، أصبح من الواضح أن التناضح العكسي أكثر كفاءة في استخدام الطاقة من تقنيات التحلية الحرارية. ووفقاً للإحصاءات الحالية، فإن الحصة السوقية لتحلية المياه في جميع أنحاء العالم، واستهلاكات الطاقة المحددة المبلغ عنها، تمثل العمليات التي تعمل بالطاقة الحرارية 40٪ من إجمالي استهلاك الطاقة ويمثل التناضح العكسي لمياه البحر 60٪ منها (Shahzad et al., 2019)[11].

فيما يلي نستعرض مقارنة بين تقنيات تحلية المياه من جهة استهلاك الطاقة الكهربائية[12] (كيلووات ساعة لكل متر مكعب).

الجدول 2 استهلاك الطاقة من تقنيات تحلية المياه المختلفة

المعالجة الحرارية	استهلاك الطاقة (كيلو واط ساعي لكل متر مكعب)	المعالجة بالأغشية	استهلاك الطاقة (كيلو واط ساعي لكل متر كعب)
التقطير الوميضي متعدد المراحل (MSF)	3 إلى 12 ك.و.س/م3	التناضح العكسي (VO)	3 إلى 5 ك.و.س/م3 في تحلية مياه البحر 1 إلى 3 ك.و/م3 في تحلية المياه المالحة
التقطير متعدد التأثير (MED)	10 إلى 30 ك.و.س/م3		
ضغط البخار الحراري (TVC)	3 إلى 6 ك.و.س/م3	التحليل الكهربائي العكسي (ED)	1 إلى 3 ك.و.س/م3
ضغط البخار الميكانيكي (MVC)	2 إلى 4 ك.و.س/م3		

يعد الاعتماد على الطاقة المتجددة لتوفير الطاقة اللازمة لعمل تقنيات التحلية من الطرق الفعالة والمستدامة، خصوصاً في ظل الجهود المبذولة لجعل أسعار الكهرباء المتولدة عن الطاقة المتجددة ذات جدوى وفعالة مع تزايد أسعار الوقود الأحفوري يوماً عن يوم.

يمكن تطبيق تقنيات التحلية في المناطق النائية وذات البنية التحتية الضعيفة عن طريق توليد الطاقة اللازمة من مصادر الطاقة المتجددة المتاحة في هذه المنطقة. رغم فعالية هذا الحل إلا أن الإحصاءات تشير إلى أن سعة التحلية المعتمدة على الطاقات المتجددة عالمياً تصل إلى 1% فقط من مجمل تقنيات التحلية المعتمدة على الوقود التقليدي.

تعتمد التحلية من مصادر الطاقة المتجددة غالباً على عملية التناضح العكسي بنسبة 62% تليها عمليات المعالجة الحرارية مثل التقطير الوميضي متعدد المراحل والتقطير متعدد التأثير. إن مصدر الطاقة المتجددة السائد لعمليات التحلية هو الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والتي تستخدم في حوالي 43٪ من التطبيقات الحالية[13] ، تليها الطاقة الشمسية الحرارية وطاقة الرياح. إن الدمج المناسب بين مصدر الطاقة المتجددة وتقنية تحلية المياه أساسيٌ لتلبية الطلب على الطاقة والمياه بشكل اقتصادي وفعال وبطريقة صديقة للبيئة . يتطلب تقييم الجدوى الفنية وفعالية التكلفة لمحطات تحلية المياه المتجددة تحليلاً مفصلاً، بما في ذلك مجموعة متنوعة من العوامل، مثل الموقع والجودة (الملوحة) لمدخلات

[11] Shahzad, Muhammad W. / Burhan, Muhammad / Ybyraiymkul, Doskhan / Choon Ng, Kim 2019: Desalination Processes' Efficiency and Future Roadmap, Entropy 2019, 21, 84, 18 Jan 2019, in: https://doi.org/10.3390/e21010084.

[12] IEA-ETSAP and IRENA, Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/IRENA-ETSAP-Tech-Brief-I12-Water-Desalination.pdf

مياه التغذية ومخرجات المياه العذبة، ومصدر الطاقة المتجددة المتاح، وقدرة المحطة وحجمها، ومدى توفر شبكة الكهرباء، والعديد من العوامل الأخرى.

يبين الجدول أدناه طرق الدمج المحتملة بين الطاقة المتجددة وتقنيات تحلية المياه.

الجدول 3 طرق الدمج المحتملة بين الطاقة المتجددة وتقنيات تحلية المياه

تقنيات المعالجة الحرارية	تقنيات المعالجة بالأغشية				
	MSF	MED	VC	RO	ED
تقنيات الطاقة المتجددة					
الطاقة الشمسية الحرارية					
الطاقة الشمسية الكهروضوئية					
طاقة الرياح					
الطاقة الجيوحرارية					

6 استخدام تحلية المياه في المنطقة العربية

تعتمد المنطقة العربية حالياً بشكل كبير على تكنولوجيا تحلية المياه لتوفير إمدادات مياه مستدامة، حيث سيتطلب قطاع تحلية المياه آلاف الأشخاص الفنيين على جميع مستويات الخبرة.

حتى الآن، كانت تحلية المياه رائدة في الدول العربية، تحلية المياه هي مثال على الاختراع الذي أحدثته الضرورة لأن الدول العربية لديها أيضًا صعوبات للوصول إلى المياه الجوفية أو مصادر المياه العذبة، هذه الدول هي من بين 1٪ من دول العالم التي يتم الآن تلبية احتياجاتها من المياه عن طريق تحلية المياه، ومع ذلك، تتوقع الأمم المتحدة أنه بحلول عام 2025، سيتم تلبية 14٪ من الطلب على المياه في العالم عن طريق تحلية المياه (Werft، 2016)[13] .

تلعب تحلية المياه دوراً أكبر في حل مشكلة المياه في المنطقة العربية، وتستخدم تحلية المياه من قبل العديد من بلدان الدول العربية التي تعاني من الشح المائي لزيادة إمدادات المياه من أجل مواكبة التوسع السكاني، والأنشطة الصناعية، والسياحية، والزراعية. ولم يعد يُنظر إلى المياه المحلاة على أنها مورد محدود بسبب حقيقة أن بعض الدول، مثل قطر والكويت، تعتمد كلياً عليها للأغراض المنزلية والصناعية، مقارنة بالمملكة العربية السعودية التي لا يتجاوز اعتمادها 60٪. (غفور، 2009)[14].

تطمح الجزائر بدورها لرفع نسبة مساهمة المياه المحلاة في الاستهلاك الداخلي من 18٪ سنة 2020 إلى 60٪ سنة 2030 عبر رفع الإنتاج إلى مليار و أربعمائة مليون متر مكعب سنوياً و زيادة عدد محطات التحلية إلى 25 محطة كبرى.

التطورات التكنولوجية التي خفضت تكلفة تحلية المياه هي المسؤولة عن القدرة الإنتاجية الهائلة للمنطقة، وتهيمن المملكة العربية السعودية حالياً على السوق العالمية، حيث تنتج 15،378،543 متر مكعب / يوم في المجموع، تليها الولايات المتحدة التي تنتج 11،815،772 متر مكعب / يوم، والإمارات العربية المتحدة، التي تنتج 10،721،554 متر مكعب / يوم (GWI، 2018)[15].

تعافى سوق تحلية المياه في عام 2019 ففي النصف الأول فقط من عام 2019، تم التعاقد على سعة إضافية قدرها 4 ملايين متر مكعب / اليوم، أربعة مشاريع مياه مستقلة فقط (IWPs) - الكبيرة (909.000 متر مكعب / يوم) وأم القيوين (680.000 متر

[13] Werft, Megan 2016: Is Desalination the Answer to Water Shortages?, Global Citizen, 1 Sep 2016, in: https://www.globalcitizen.org/en/content/is-desalination-the-answer-to-water-shortages.

[14] Ghaffour, Noreddine 2009: The challenge of capacity-building strategies and perspectives for desalination for sustainable water use in MENA, Desalination and Water Treatment 5, May 2009, pp. 48 – 53.

[15] GWI 2018: IDA Desalination Yearbook 2018.

مكعب / يوم) في الإمارات العربية المتحدة، رابغ 3 (600.000 متر مكعب / يوم) والشقيق 3 (380.000 متر مكعب / يوم) في السعودية وشكلت شبه الجزيرة العربية - أكثر من 60٪ من إجمالي هذا المستوى الأعلى من الإنتاجية، والذي كان مدفوعاً في الغالب بمحفزات كبيرة جدًا في دول مجلس التعاون الخليجي.

بعد عام 2018 الصعب، بدأت الدول العربية (خارج الخليج) في التعافي أيضاً، وتمثل طاقتها الإجمالية المتعاقد عليها والتي تبلغ 226 ألف متر مكعب في اليوم في النصف الأول من عام 2019 زيادة بنسبة 32٪ عن إجمالي سعتها بنهاية العام 2018 (GWI، 2019)[16].

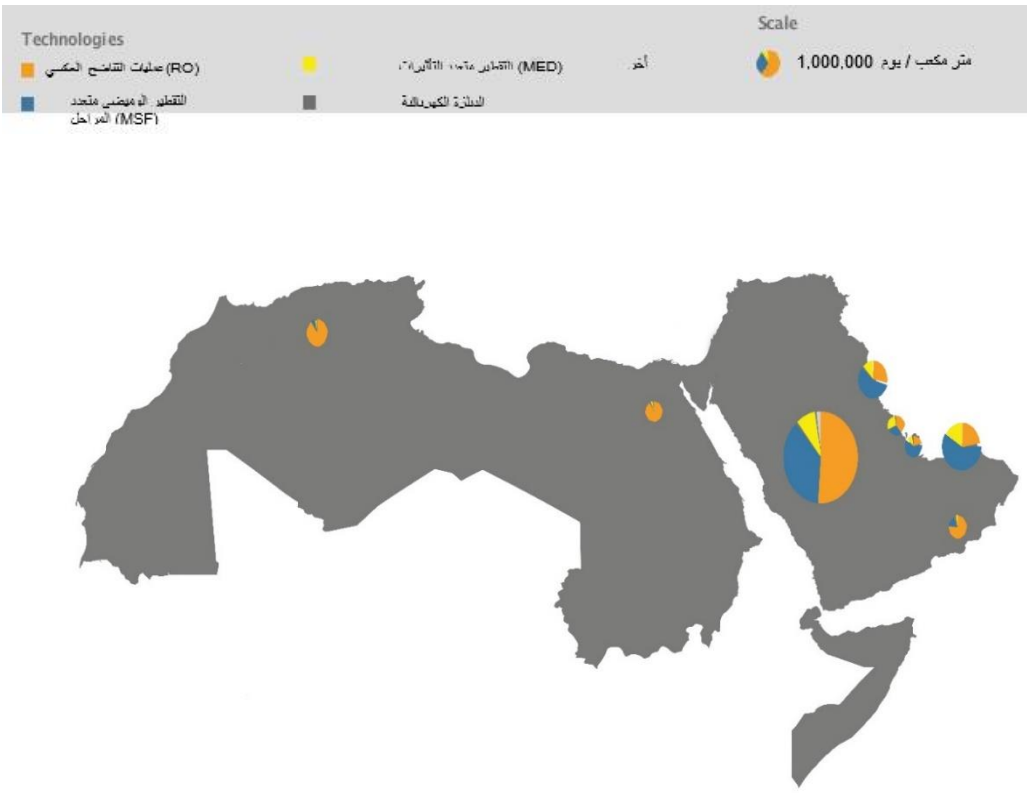
تمثل الدول العربية التي تبلغ طاقتها الإجمالية التراكمية المتعاقد عليها 48،972،069 متر مكعب / يوم، وقدرة تعاقدية عالمية تراكمية 100،949،442 متر مكعب / اليوم، ما يقرب من نصف جميع أنشطة تحلية المياه في عام 2017. وبالنظر إلى الكميات الهائلة من المياه العذبة المنتجة يومياً، فإن تحلية المياه لذلك هي مصدر ضروري وحتمي للمياه العذبة في المنطقة.

وفقًا لبيانات التحلية (GWI، 2018)، تنتج تحلية الأغشية أكثر من 90٪ من المياه المحلاة في الدول العربية (التناضح العكسي). علاوةً على ذلك، فإن هذه التكنولوجيا ضرورية للغاية لمنشآت تحلية المياه في دول مثل سوريا، والمغرب، وجمهورية جيبوتي وفلسطين، ويتم حساب أقل من 10٪ من الإنتاج في الدول العربية من خلال تقنيات أخرى بما في ذلك تحلية MSF و MED.

بالنسبة لبعض الدول سيطرت فيها طرق تحلية المياه الغشائية على الطرق الحرارية، وتعد محطة التقطير متعدد التأثيرات (MED) التي تبلغ سعتها 62500 متر مكعب في اليوم والتي قدمتها شركة Veolia لشركة بترول أبو ظبي الوطنية إحدى المحطات الحرارية النادرة. وتم إيقاف 2٪ من قدرة التحلية الحرارية التشغيلية في العالم مع إيقاف تشغيل 90،840 متر مكعب / يوم من قدرة MSF في جدة 3 (بتكليف 1979)، 191،000 متر مكعب / يوم في الغبرة، سلطنة عمان، و 227،100 متر مكعب / يوم في جدة 4 في عام 2019.

ونظراً لأن وزارة الطاقة في الإمارات العربية المتحدة تهدف إلى إنشاء مرافق كبيرة لتحل محل مرافق طاقة الإنتاج الحراري، فمن المحتمل أن تنضم إليها وحدات حرارية في أبوظبي (GWI، 2019)[17].

[16] GWI 2019: IDA water security handbook 2019 – 2020.
[17] GWI 2019: IDA water security handbook 2019 – 2020.



الشكل 6 خريطة رمزية لقدرات تحلية المياه في الدول العربية والتكنولوجيا المستخدمة[18]

بغض النظر عن التكنولوجيا المستخدمة، فإن الدول العربية مسؤولة عن جزء كبير من أنشطة تحلية المياه في جميع أنحاء العالم، ولا يزال هناك توزيع غير عادل لهذه الأنشطة في جميع أنحاء الدول، حيث لوحظ تباين كبير بين قدرة اليمن والأردن وقدرات غالبية دول الخليج، هذا التفاوت ناتج بشكل أساسي عن النفقات المالية الكبيرة اللازمة لبناء مرافق تحلية المياه بالإضافة إلى تكاليف التشغيل والصيانة المستمرة.

تم جرد أكبر مرافق تحلية للمياه في الدول العربية ومعلومات عن قدراتها ونوع التكنولوجيا ونوع المياه المغذية ويوم التشغيل، والتكلفة لكل متر مكعب أو تكلفة المشروع المتوقعة، حيث أن أكبر المرافق شيدت في الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية. وتعتبر محطة المقطع الجزائري ومحطة الشعيبة 3 في المملكة العربية السعودية أقل تكلفة للمتر المكعب عند 0.56 دولار أمريكي و0.57 دولار أمريكي على التوالي. تستخدم جميع المحطات الحديثة تقنية التناضح العكسي، كما هو مذكور في الجدول 2.

[18] Regional Study: "Desalination as an alternative to alleviate water scarcity and a climate change adaptation option in the MENA region", MEDRC, KAS – REMENA

الجدول 4 أكبر محطات التحلية في الدول العربية

التكلفة (بالدولار الأمريكي)	سنة	تغذية المياه	عملية	السعة (م) 3	موقع
متر مكعب / 0.827	2007	مياه البحر	حراري (ميد)	800000	الجبيل ، السعودية
م 3 / 0.57	2009	مياه البحر	الحرارية (MSF)	880.000	الشعيبة 3 ، السعودية
دولار أمريكي :EPC تكلفة مليار 1.07	2013	مياه البحر	الحرارية (MSF)	636440	محطة جبل علي إم ، الإمارات العربية المتحدة
م 3 / 0.56	2014	مياه البحر	RO	500000	مقطعة ، الجزائر
-	2016	غير متاح	RO	1،025،000	رأس الخير ، السعودية
دولار أمريكي :EPC تكلفة مليار 4.2	2016	مياه البحر	الحرارية (MSF)	728000	رأس الخير ، السعودية
مليار دولار 1 :EPC تكلفة أمريكي	2017	مياه البحر	الحرارية (MSF)	550.000	ينبع 3 ، السعودية
مليون دولار 250 :EPC تكلفة أمريكي	2020	مياه البحر	RO	681.900	الإمارات العربية ، IWP أم القيوين المتحدة
-	2021	مياه البحر	RO	600000	رابغ 3 أي دبليو بي ، السعودية
مليون دولار 650 :EPC تكلفة أمريكي	2021	مياه البحر	RO	600000	المملكة ، SWRO استبدال خُبر 2 العربية السعودية
مليون 840.5 :EPC تكلفة دولار أمريكي	2022	مياه البحر	RO	909200	الإمارات العربية المتحدة ، IWP الطويلة
-	2022	مياه البحر	RO	600000	رابغ ، السعودية
دولار أمريكي: 3 :EPC تكلفة مليار	2022	مياه البحر	RO	600000	الجبيل 3 ب آي دبليو بي ، المملكة العربية السعودية
دولار أمريكي: 3 :EPC تكلفة مليار	2022	مياه البحر	RO	600000	المملكة العربية ، IWP الجبيل 3 أ السعودية
-	2029	مياه البحر	RO	600000	المملكة العربية ، IWP الشعيبة 6
-	مخطط	مياه البحر	RO	545.520	الإمارات العربية ، SWRO حسيان المتحدة
-	مخطط	المياه قليلة الملوحة أو المياه الداخلية	RO	800000	المملكة العربية ، BWRO حرض السعودية

ومع ذلك، فقد قدرت الوكالة الدولية للطاقة (IEA) أن تحلية المياه في الدول العربية ستتطلب متطلبات طاقة تتراوح من 2.4٪ في الجزائر إلى 23.9٪ في الإمارات العربية المتحدة أو ربما 30٪ في البحرين من إجمالي استخدام الطاقة، وتحتاج تحلية المياه وإنتاج الطاقة وحدهما حالياً إلى حرق حوالي 1.5 مليون برميل من المكافئ البترولي يومياً في المملكة العربية السعودية، أكبر مصدر للنفط في العالم. الاتجاه هو نفسه في دول مجلس التعاون الخليجي الأخرى، حيث تمثل تحلية المياه جزءاً كبيراً من إمكانات إمدادات المياه الخاصة بها (Asaba، 2019)[19].

وفي فلسطين، تعد تحلية مياه البحر أحد الخيارات الإستراتيجية التي اختارتها سلطة المياه الفلسطينية للمساعدة في تزويد مليوني فلسطيني في القطاع الساحلي بمياه الشرب الآمنة.

في قطاع غزة، تم إنشاء محطة تحلية مياه بحر بتكلفة 10 مليون دولار، والذي سيقوم بإنتاج حوالي 6000 متر مكعب من المياه الصالحة للشرب في اليوم لإرواء ما يزيد عن 75000 من المقيمين في قطاع غزة الجنوبي، 35000 في خان يونس و 40000

[19] Asaba, Baset 2019: Dubai Turns To Renewable Energy For Water Production, Middle East Utilities, 15 Apr 2019, in: https://www.utilities-me.com/news/12597-dubai-turns-to-renewable-energy-for-waterproduction.

شخصاً في رفح. يتم حاليًا تلبية حوالي 12% من احتياجات الطاقة القصوى للمحطة عن طريق الألواح الشمسية. وهناك خطط لتسخير إمكانات الطاقة المتجددة لزيادة هذه النسبة.[20]

منطقة الخليج العربي (GCC)

في دول مجلس التعاون الخليجي، تواصل تقنيات MSF السيطرة على السوق في الإمارات العربية المتحدة وقطر والكويت بينما بدأت تقنية التناضح العكسي في السيطرة على المملكة العربية السعودية وسلطنة عمان والبحرين. كما تم إغلاق العديد من المحطات الحرارية لصالح مرافق التناضح العكسي (مثل محطة الغبرة في مسقط، عمان في 2018). بالنظر إلى أن غالبية محطات التحلية المخطط لها هي أساساً تناضح عكسي، فمن المحتمل أن يعزز هذا الاتجاه تفوق التناضح العكسي في دول مجلس التعاون الخليجي.

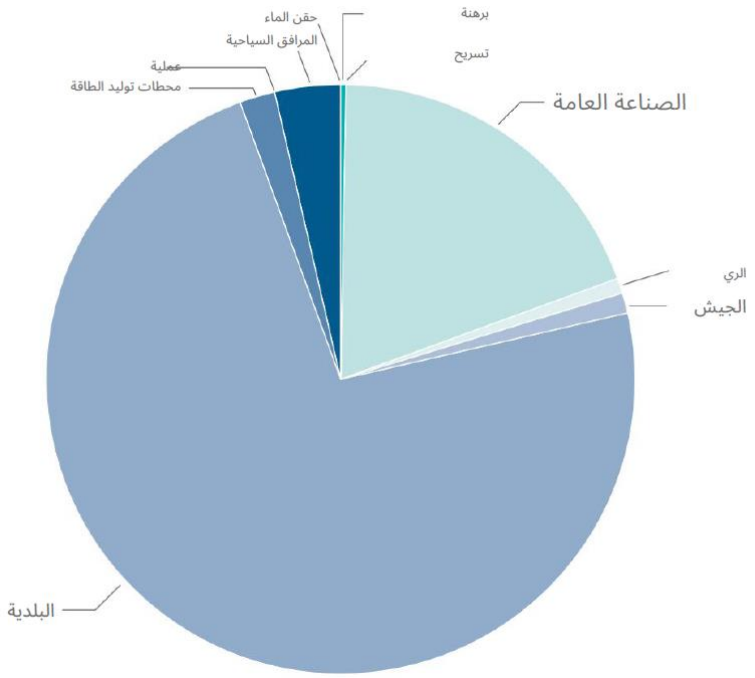
دول شمال افريقيا

تسود تقنية التناضح العكسي في دول شمال أفريقيا، باستثناء ليبيا، حيث لا تزال تقنية MED هي التكنولوجيا المهيمنة، تليها تقنيات MSF و RO. مصر هي ثاني أكبر سعة بعد الجزائر.

استخدام المياه المحلاة

تحلية المياه هي حل لندرة المياه في الدول العربية، حيث تتيح إنتاج كميات كافية من المياه العذبة لتلبية الطلب المتزايد على المياه. التطبيق الأساسي محلي، بشكل أساسي في دول مجلس التعاون الخليجي، حيث المياه المحلاة هي الخيار الوحيد المتاح، مدن مثل مسقط والدوحة ودبي هي أمثلة على تلك المدن التي تعتمد بالكامل على المياه المحلاة، ويوضح الشكل 7 القدرة الإجمالية لتحلية المياه في الدول العربية حسب نوع القطاع. ما يقرب من ثلاثة أرباع الكميات تستخدم للأغراض السكنية، والباقي يذهب في المقام الأول إلى الصناعة، تليها السياحة، ومحطات الطاقة، والجيش، والزراعة، وتُستخدم غالبية المياه المحلاة كمياه للشرب في المدن في كل مكان تقريباً، تليها الشركات ومحطات الطاقة.

[20] UNICEF, State of Palestine: https://www.unicef.org/sop/reports/sea-water-desalination-plant#:~:text=Seawater%20desalination%20is%20energy%20intensive,operates%20using%20emergency%20diesel%20generators.

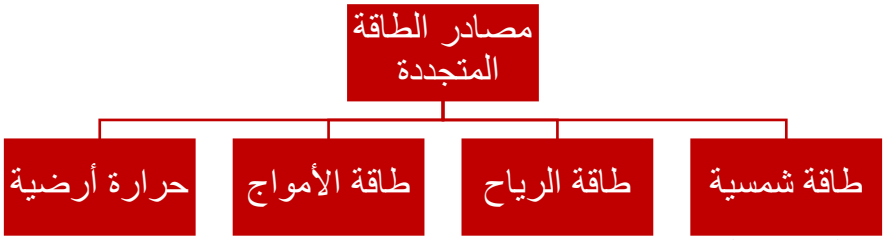


الشكل 7 السعة الإجمالية حسب نوع القطاع في الدول العربية[21]

7 التكنولوجيات المستخدمة في تحلية المياه من الطاقة المتجددة في العالم وفي المنطقة العربية

ستعمل أنظمة تحلية المياه المستقبلية بشكل متزايد على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى، مع مراعاة أهداف حماية المناخ والاعتبارات البيئية، نظراً لأنه من المتوقع أن ترتفع تكاليف الطاقة التقليدية على المدى القصير وانخفاض توافر المياه نتيجة لتأثيرات تغير المناخ، فإن مستقبل تحلية المياه بالطاقة المتجددة واعد للغاية لأسباب بيئية واقتصادية. في الواقع، إنه بالفعل بديل تنافسي حيث تكون تكاليف المياه مرتفعة للغاية، لذلك أصبحت تقنيات الطاقة المتجددة جذابة بشكل متزايد لتشغيل تحلية المياه، وهي قضية حاسمة للعديد من البلدان في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، بما في ذلك المنطقة العربية.

[21] Regional Study: "Desalination as an alternative to alleviate water scarcity and a climate change adaptation option in the MENA region", MEDRC, KAS – REMENA



7.1 التحلية بالطاقة الشمسية

نظراً لوفرة الإشعاع الشمسي في المنطقة العربية، تعد تحلية المياه بالطاقة الشمسية أحد أكثر خيارات الطاقة المتجددة نجاحاً وحلاً طويل الأمد لتلبية احتياجات المياه، ويتم تحديد مدى توافق كل عملية تحلية مع تقنية الطاقة الشمسية حسب نوع الطاقة المطلوبة، وكذلك مدى توفرها، تتيح مجموعة متنوعة من الأساليب استخدام موارد الطاقة المتجددة.

مع التقدم الكبير في تكنولوجيا الطاقة الشمسية، الكهروضوئية والحرارية الشمسية، هناك اهتمام متزايد بدمج الطاقة الشمسية مع تحلية المياه، مع التركيز على تحسين كفاءة الطاقة، تنقسم طرق تحلية المياه بالطاقة الشمسية الى طرق مباشرة وطرق غير مباشرة.

7.1.1 الطرق المباشرة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية:

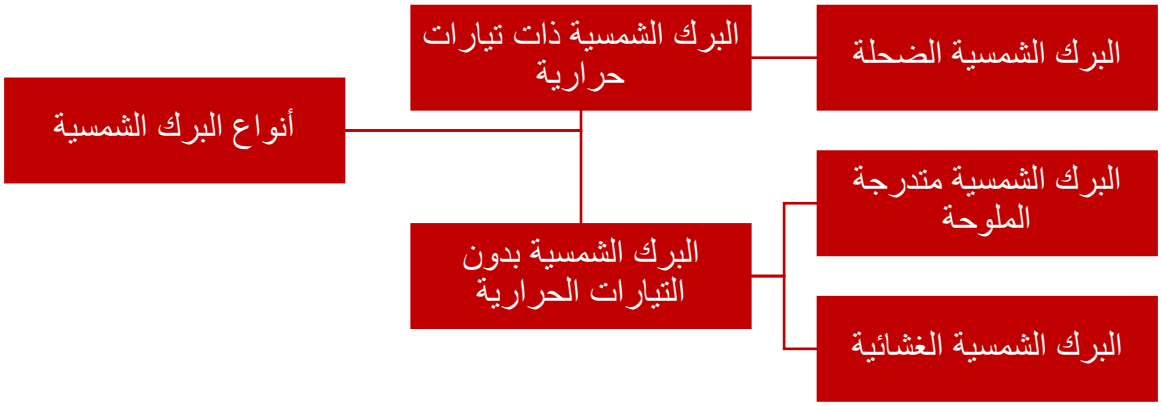
1. البرك الشمسية

تحلية البرك الشمسية هي عملية تحلية تستخدم الطاقة الشمسية لتبخير المياه المالحة وتكثيفها إلى مياه عذبة، البرك الشمسية هي بركة مبطنة الجوانب والقاع بمادة قاتمة اللون مصممة لتجميع وتخزين الطاقة الشمسية على شكل حرارة، تنقسم الأحواض إلى ثلاث طبقات مختلفة:

الطبقة السفلية هي طبقة المياه المالحة، والطبقة الوسطى هي الطبقة الانتقالية، والطبقة العليا هي طبقة المياه العذبة.

طبقة المياه المالحة هي أعمق طبقة في البركة وتمتلئ بالمياه المالحة، تمتص هذه الطبقة الطاقة الشمسية وتخزنها على شكل حرارة، عندما تسخن الشمس المياه المالحة، يتبخر الماء ويرتفع إلى الطبقة الانتقالية، الطبقة الانتقالية هي الطبقة الوسطى من البركة وتمتلئ بمزيج من المياه المالحة والمياه العذبة، وعندما يتبخر الماء المالح، يزداد تركيز الملح في الطبقة الانتقالية ويصبح الماء أكثر كثافة، يؤدي هذا إلى غرق الماء إلى الطبقة السفلية، بينما ترتفع المياه العذبة إلى الطبقة العليا.

الطبقة العليا من البركة هي طبقة المياه العذبة، تمتلئ هذه الطبقة بالمياه العذبة ويتم فصلها عن طبقة المياه المالحة بواسطة غشاء شبه نافذ، عندما ترتفع المياه العذبة إلى الطبقة العليا، يتم جمعها وتخزينها للاستخدام.



أنواع البرك الشمسية

- البرك الشمسية متدرجة الملوحة

هذا الشكل، الذي يحدث بشكل طبيعي، يعتمد على تركيز الأملاح في البركة ويخزن الطاقة الحرارية عن طريق الحد من التيارات الحرارية، يتم استخدام الحرارة المخزنة لتوليد الكهرباء أو للاستخدامات الصناعية مثل تحلية مياه البحر في أماكن بعيدة حيث توجد ندرة في مياه الشرب، إنها طريقة غير مكلفة لالتقاط وتخزين الطاقة الشمسية في درجات حرارة منخفضة.

تتكون البركة بشكل أساسي من ثلاث طبقات من الماء في تسلسل تنازلي للملوحة:

1. المنطقة الحرارية السفلى:

هي طبقة متجانسة عالية الملوحة (20%) ودرجة الحرارة، تخزن هذه المنطقة الحرارة، والتي يمكن تبادلها داخل أو خارج البركة. مع نمو عمق الطبقة، تزداد وحدة تخزين الحرارة وتغير درجة الحرارة، تتكون طبقة التدرج اللوني من طبقات فرعية متعددة، كل منها أثقل.

2. الطبقة غير الحرارية:

عندما تأخذ هذه الطبقة الحرارة من الإشعاع الشمسي، فإنها تخلق فرقاً في درجة الحرارة بين الجزء العلوي والسفلي من البركة، والذي يُعرف باسم تدرج الملح، المناطق غير الحرارية هي مناطق البركة حيث يكون تدرج الملح مستقراً ولا يوجد تدفق للحمل الحراري، هذه المناطق مهمة حيث يمكن استخدامها لتخزين الطاقة وزيادة كفاءة البركة.

3. الطبقة الحرارية العليا:

تحتوي هذه الطبقة على أقل نسبة ملوحة وأقرب درجة حرارة لدرجة الحرارة المحيطة، يبلغ سمك هذه المنطقة عادة 0.3 متر، ويجب أن تظل رفيعة قدر الإمكان، هذه الطبقة ضرورية لحماية الطبقات السفلية من التبخر وتأثيرات الرياح وإسقاط الملوثات.

- البرك الشمسية الغشائية

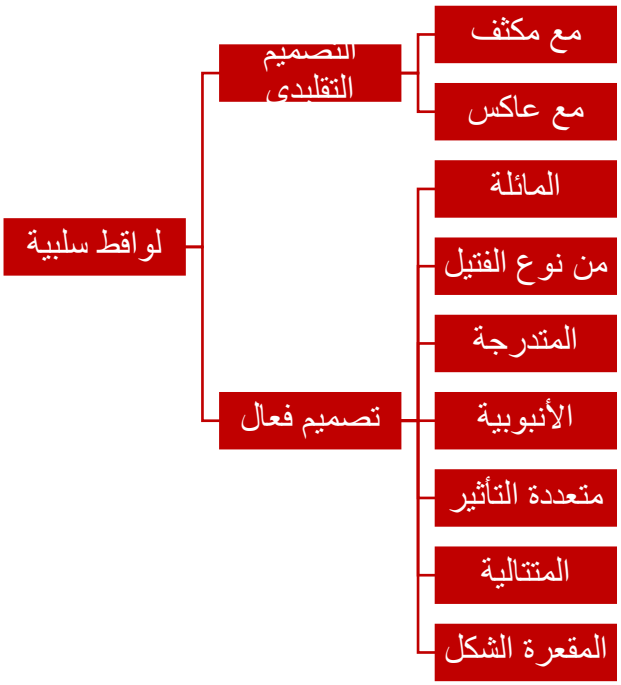
أحواض الطاقة الشمسية هي طريقة مبتكرة وفعالة من حيث التكلفة لتسخير طاقة الشمس لتوفير الطاقة الحرارية لعمليات تحلية المياه، مما يجعلها خياراً جاذباً لأولئك الذين يتطلعون إلى تقليل اعتمادهم على مصادر الطاقة التقليدية.

2. اللواقط الشمسية

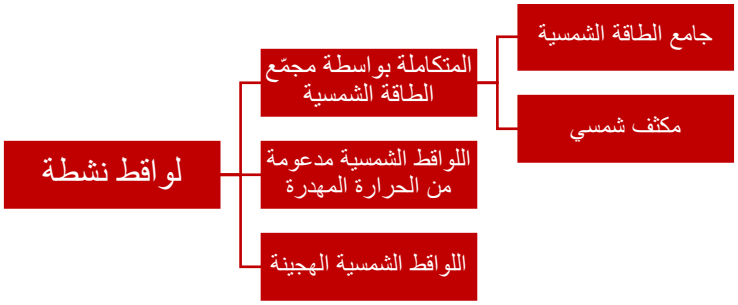
اللواقط الشمسية هو جهاز يقوم بتقطير الماء الذي يحتوي على مركّبات مذابة باستخدام حرارة الشمس لتبخير الماء، مما يسمح بتبريده وتجميعه وتنقيته، يتم استخدامها في الأماكن التي تندر فيها مياه الشرب للحصول على مياه نظيفة من المياه غير النظيفة أو النباتات عن طريق تعريضها لأشعة الشمس.

تصنيف اللواقط الشمسية:

1. **لواقط سلبية:** اللواقط الشمسية السلبية هي نوع من أنظمة تنقية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية فقط، وغير مزودة بطاقة إضافية لتقطير المياه



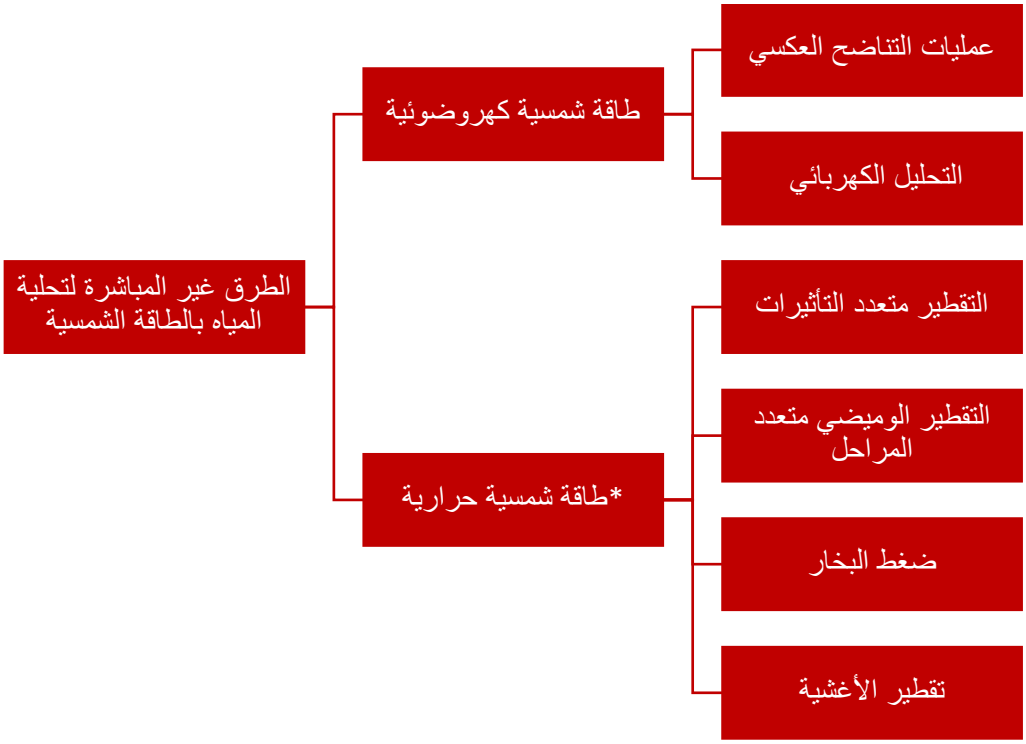
2. **لواقط نشطة:** اللواقط الشمسية النشطة هي نوع من أنظمة تنقية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية وتكون مزودة بطاقة إضافية من أجل رفع درجة حرارة الماء في الحوض، مما يزيد من معدل التبخر لتقطير المياه. يمكن توفير هذه الحرارة من مجمعات الطاقة الشمسية أو المكثفات الشمسية أو يمكن توفيرها عن طريق استخدام الحرارة المهدرة.



لا تزال الطاقة الشمسية إحدى أكثر الطرق التي تم فحصها لتحلية المياه، وتم إجراء العديد من التغييرات لزيادة أدائها، يتضمن ذلك إضافة مجمعات الطاقة الشمسية، والجمع بين مجموعة متنوعة من التأثيرات لاستعادة الحرارة الكامنة للتكثيف، وتحسين

التخطيطات وأنماط التدفق لزيادة معدلات نقل الحرارة، واستخدام مواد بناء أقل تكلفة لخفض التكاليف، وتتمتع الطاقة الشمسية بالعديد من المزايا، مثل انخفاض تكاليف المياه وسهولة الاستخدام والموثوقية.

7.1.2 الطرق غير المباشرة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية



*من الممكن أيضاً استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في توليد الكهرباء لتغذية محطات التحلية مثل التناضح العكسي.

اقتران خيارات الطاقة الشمسية بعمليات التحلية المختلفة

الطاقة الشمسية المركزة

يمكن استخدام الطاقة الشمسية المركزة لتحلية المياه عن طريق توجيه الإشعاع الشمسي إلى جهاز استقبال يلتقط الطاقة الشمسية كحرارة، يمكن بعد ذلك استخدام هذه الحرارة لتحلية المياه عن طريق تبخير الماء النقي من مصدر مالح، تركز العدسات أو المرايا ضوء الشمس على الخلايا الشمسية فائقة الكفاءة، والتي تحول الضوء إلى كهرباء في نظام شمسي مركّز، الهدف هو توفير المال باستخدام عدد أقل من مواد الخلايا الشمسية شبه الموصلة.

الجدول 5 عمليات التحلية التقليدية وتكنولوجيا الطاقة الشمسية

تكنولوجيا الطاقة الشمسية		عمليات التحلية التقليدية				
	التقطير الوميضي متعدد المراحل	التقطير متعدد التأثيرات	ضغط البخار	الترطيب وإزالة الرطوبة	عمليات التناضح العكسي	التحليل الكهربائي
مركزات الطاقة الشمسية						
مجمعات الطاقة الشمسية (لوحة مسطحة / أنبوب مفرغ)						
البرك الشمسية متدرجة الملوحة						
الطاقة الشمسية الضوئية						

7.2 التحلية بطاقة الرياح

طاقة الرياح مصدر وفير ومتجدد للطاقة ولا تنبعث منه الغازات الدفيئة أثناء التشغيل، اعتماداً على حجم المحطة ونوع الأبراج المستخدمة، هناك حاجة إلى أماكن مختلفة، تمتلك مواقع سرعة الرياح العالية مساحة إنتاج، ومع ذلك، فإن ذروة الإنتاج لا تتوافق دائمًا مع ذروة الاستهلاك، تشكل المئات من توربينات الرياح مزارع رياح كبيرة، طاقة الرياح البرية هي مورد تنافسي منخفض التكلفة وأقل تكلفة من منشآت الوقود الأحفوري، تعتبر الرياح البحرية أكثر اتساقاً وقوة من الرياح البرية، ومع ذلك فإن إنشاء مزارع الرياح البحرية وصيانتها أكثر تكلفة من المزارع البرية.

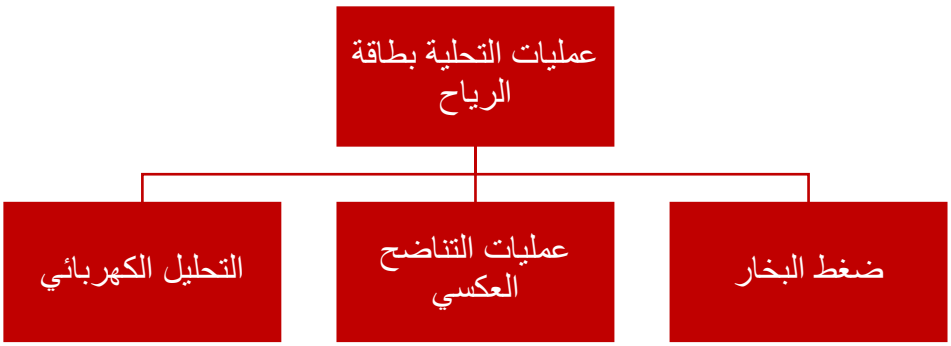
ترتبط طاقة الرياح وتحلية المياه على مستوى النظام الفرعي، حيث يتم توفير الطاقة المولدة من طاقة الرياح إلى محطة تحلية المياه، تُستخدم طاقة الرياح حالياً لتشغيل محطات تحلية المياه بشكل مباشر أو غير مباشر عبر أربعة أنواع مختلفة من وسائط الطاقة (إمكانات الجاذبية):

- الكهرباء
- الطاقة الحرارية
- الطاقة الكامنة للجاذبية
- الطاقة الحركية

كحلقة وصل بين طاقة الرياح وعملية تحلية المياه، فإن الكهرباء هي أكثر أنواع الطاقة استخداماً، نظراً لأن طاقة الرياح متقطعة، يتم عادةً دمج المرافق في نظام لتخزين أو تصدير نسخة احتياطية (دولاب الموازنة) مثل البطارية وخزان المياه ونظام دولاب الموازنة عندما تتجاوز سرعة الرياح أو لا تلبي القيمة المطلوبة.

لمطابقة طاقة الإدخال من عدم القدرة على التنبؤ بطاقة الرياح إلى حمل تحلية المياه، فإن آليات التحكم المناسبة ضرورية، تتطلب مطابقة الطاقة استخدام آلية تبديد أو تخزين الطاقة، نتيجة لذلك قد يتم تضمين أحمال التفريغ أو تخزين البطارية في نظام التحكم في الطاقة، بالنسبة لأنظمة التناضح العكسي وضغط البخار، فإن مصدر طاقة التيار المتردد (AC) ضروري ويتطلب الغسيل الكهربائي تيارًا مباشراً (DC).

تعد محطات التناضح العكسي التي تعمل بالرياح واحدة من أكثر الآفاق الواعدة لتحلية المياه بالطاقة المتجددة، لأن التناضح العكسي هو عملية تحلية مياه منخفضة الطاقة والمناطق الساحلية لديها موارد طاقة الرياح.



8 أمثلة ونماذج عن مشاريع التحلية بالطاقة المتجددة في المنطقة العربية

8.1 أمثلة ونماذج في المنطقة العربية

8.1.1 مصر

تم انشاء وحدة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بدون بطاريات في وادي حوضين في محافظة البحر الأحمر بطاقة 12000 لتر في اليوم كمحطة تجريبية من خلال مركز تطوير المشروعات وتكنولوجيا الأبحاث العلمية، ومن ثم تم تطبيق المشروع في منطقة غرب المنيا في مشروع المليون ونصف فدان بطاقة 25000 لتر في اليوم وفي محافظة قنا بطاقة 4000 لتر في اليوم.

من الجدير بالذكر، أنه قامت وزارة الإسكان لشئون البنية الأساسية بالإعلان عن الخطة الاستراتيجية لعام 2050 والتي تطمح لزيادة تحلية المياه بمقدار 9 أضعاف عن طريق إنشاء 44 محطة تحلية بطاقة إجمالية تصل إلى 8.85 مليون م3/ يوم في 11 محافظة ساحلية تعتمد اعتماداً تاماً على الطاقة المتجددة.

8.1.2 الجزائر

في سنة 1994 بادرت الجزائر من خلال مركز تنمية الطاقات المتجددة إلى إنشاء أول محطة لتحلية المياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية من أجل تزويد 850 ساكن بالمياه العذبة، المحطة التي تم إنجازها في منطقة صحراوية في الجنوب الغربي للجزائر وتبعد عن العاصمة ب 1200 كم، تتكون من جهاز للتناضح العكسي ينتج 850 لتر في الساعة وهو حجم كاف لسد حاجيات السكان من المياه الموجهة للشرب، تم تزويد محطة التحلية بمحطة شمسية تتكون من 72 لوح شمسي حسب ما تبينه الصورة التالية:

(أ) نظام التناضح العكسي المستخدم

(ب) المحطة الشمسية المستعملة لتشغيل محطة التحلية

الصورة 1 أول محطة لتحلية مياه البحر بالطاقة الشمسية بالجزائر

في نفس المسار، وفي سنة 2019 قامت وحدة تنمية الأجهزة الشمسية udes.cder.dz الواقعة بمدينة بواسماعيل بتركيب محطة لتحلية مياه البحر، بدرجة ملوحة تصل 35 غرام في اللتر، لإنتاج 2400 لتر في اليوم من أجل توفير حاجيات المركز من المياه الصالحة للشرب، تم ربط المحطة بنظام شمسي مكون من 18 لوح كهروضوئي بقدرة إجمالية تقدر بـ 3 كيلو واط ومزودة بمجموعة من البطاريات مما يسمح للمحطة بالعمل المتواصل طيلة اليوم حتى في غياب أشعة الشمس.

الصورة 2 محطة مصغرة لتحلية مياه البحر بالطاقة الشمسية لوحدة تنمية الأجهزة الشمسية/ الجزائر.

8.1.3 الإمارات العربية المتحدة

تم مؤخراً تحديث استراتيجية الإمارات للطاقة 2050 والتي حددت أهدافًا طموحة لعام 2030، بما في ذلك مضاعفة مساهمة الطاقة المتجددة والنظيفة في مزيج الطاقة ثلاث أضعاف، وزيادة كفاءة استخدام الطاقة للأفراد والشركات حتى 45٪، ورفع مساهمة الطاقة النظيفة إلى 32٪ من مزيج الطاقة، وتحقيق معدل انبعاثات الشبكة بمقدار 0.27 كجم ثاني أكسيد الكربون/ كيلوواط ساعة بحلول 2030، وهي نسبة تقل عن المعدل العالمي .

من المتوقع أن تصبح تحلية المياه بالتناضح العكسي التي تعمل بالطاقة الشمسية الاتجاه الجديد في دبي لإنتاج المياه مع تلبية متطلبات الطاقة المتجددة، وبطاقة إنتاجية للمياه تبلغ 2.14 مليون متر مكعب / يوم، تعتمد دولة الإمارات على تحلية مياه الشرب. ومع ذلك، تعمل هيئة كهرباء ومياه دبي (DEWA) حالياً على تشميس محطات تحلية المياه من أجل توليد 1.15 مليون متر مكعب في اليوم بحلول عام 2030. وفقاً لهيئة كهرباء ومياه دبي، من خلال استخدام طاقة متجددة منخفضة التكلفة لتشغيل مرافق تحلية المياه، وهي مرفق دبي الأساسي، سيوفر ذلك 13 مليار دولار أمريكي من الآن وحتى عام 2030.

بينما تسعى هيئة كهرباء ومياه دبي جاهدة لتحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة بنسبة 100٪ في دبي، ستصبح PV-RO الاتجاه الجديد، وهذا يساهم في الجهود لزيادة إنتاج المياه في دولة الإمارات العربية المتحدة.

تبلغ سعة تحلية المياه لمنشأة تعمل بالطاقة الشمسية والمتوسطة الحجم تم إنشاؤها في أم النار، أبوظبي، 120 متر مكعب / يوم. توفر المجمعات الحرارية الشمسية الطاقة الحرارية اللازمة لـ MED.

تم دمج نظام التناضح العكسي مع الأنظمة الحرارية MSF وMED في محطة Layyah في الشارقة (الإمارات العربية المتحدة) (الملا، 2005)[22].

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى دراسة حالة غنتوت، أطلقت السويس محطتها التجريبية لتحلية المياه 100 متر مكعب / اليوم بالتناضح العكسي في غنتوت ، أبو ظبي ، في عام 2016 لعرض خيارات أحدث لتحسين الطاقة في كل مرحلة من مراحل عملية

[22] Almulla Asam / Hamad Ahmad / Gadalla, Mohamed 2005: Integrating hybrid systems with existing thermal desalination plants, Desalination, Apr 2005, 174:2, pp. 171 – 192.

تحلية المياه، كان من المفترض أن تمهد التقنيات الجديدة الطريق لتطوير محطات تحلية مياه مالحة فعالة من حيث التكلفة على نطاق واسع مدفوعة بالطاقة المتجددة في الإمارات العربية المتحدة وأماكن أخرى.

8.1.4 الأردن

ويعمل الأردن حاليا على تنفيذ مشروع كبير لتحلية مياه البحر الأحمر بقدرة 130 مليون متر مكعب من المياه سنويا في المرحلة الأولى من المشروع، وذلك باستخدام الطاقة المتجددة لتغطية استهلاك المشروع مع بقدرة 300 ميغاواط، لضخ هذه المياه من البحر الأحمر إلى مناطق الاستهلاك حتى عمان حيث تم الإعلان عن ذلك. وسيتم ضخ هذه المياه من البحر الأحمر إلى مناطق الاستهلاك حتى العاصمة حيث تم الإعلان عن ذلك. حول هذه المبادرة والشركات المؤهلة لها في عام 2020، وجاري العمل حالياً على الانتهاء من وضعها موضع التنفيذ.

8.1.5 المغرب

مشروع ADIRA (2003-2007): مفاهيم نظام التحلية الذاتي لمياه البحر والمياه المالحة (BW) في المناطق الريفية مع مصادر الطاقة المتجددة: بعد ذلك، تم تركيب أربعة أنظمة PV-RO في أربع مناطق في المغرب، مع مياه التغذية بمياه معتدلة الملوحة (BW)) من الآبار الداخلية (الملوحة 2.5 - 8.7 جرام / لتر). تولد هذه الأنظمة 5 متر مكعب / يوم (قدرة الكهروضوئية: 8 كيلوواط)، وهو ما يكفي لاحتياجات 100 شخص من الغذاء والصرف الصحي.

8.1.6 تونس

تم تأكيد إنشاء محطة 1000 متر مكعب في اليوم مع شركة المياه التونسية SONEDE ، مع ماسكارا في مواجهة 50٪ من تكلفة المشروع البالغة 1.3 مليون دولار أمريكي وتأمل أن يدفع الشريك مصدر نسبة الـ 50٪ المتبقية، سيتبع هذا المشروع نهجاً هجيناً، حيث يتم ترشيح المياه بواسطة الألواح الشمسية أثناء النهار والطاقة الشبكية في الليل، في غضون ذلك، يتم نقل وحدة التناضح العكسي منفصلة تعمل بالطاقة الشمسية إلى جزيرة بورا بورا، وهي جزيرة صغيرة في جنوب المحيط الهادئ. سيكون هذا مشروعاً تجريبياً متواضعاً تبلغ إنتاجيته 80 متراً مكعباً في اليوم ويهدف إلى اختبار النظام في موقع بعيد دون الوصول إلى الشبكة.

وحدة PV-RO المستقلة في تونس (منذ عام 2006): قرية Ksar Ghilene هي أول موقع أفريقي مع نظام PV-RO عمره عامين، استهدف هذا المشروع 300 شخص ليس لديهم إمكانية الوصول إلى شبكة الكهرباء (أقربها 150 كيلومتر) أو المياه النظيفة، قام النظام بتحلية المياه الخام بدرجة ملوحة 3.5 جم / لتر وأنتج 6000 متر مكعب من مياه الشرب في 27 شهراً بعد التشغيل لأكثر من 3100 ساعة.

BWRO تعمل بالطاقة الشمسية بن قردان في تونس: قدرة 1800 متر مكعب / يوم ، قيد التشغيل منذ عام 2013.

8.1.7 المملكة العربية السعودية

مبادرة الملك عبد الله لتحلية المياه بالطاقة الشمسية: يهدف البرنامج بالتعاون مع شركة أي بي إم إلى خفض تكاليف إنتاج المياه المحلاة من 0.67 - 1.47 دولار أمريكي / متر مكعب إلى 0.27 - 0.40 دولار أمريكي / متر مكعب في المملكة العربية السعودية، وتم في 2018 أنشاء أول محطة تحلية مياه على نطاق واسع في العالم تعمل بالطاقة الشمسية في مدينة الخفجي بقدرة 15 ميجاوات وبطاقة 60000 متر مكعب في اليوم.

8.1.8 جيبوتي

قامت مجموعة إيفاج الفرنسية بأنشاء محطة لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي من خلال طاقة الرياح في مدينة دوراليه في 2021 بسعة 22500 متر مكعب في اليوم مع تخطيط لتوسيع السعة الي 45000 متر مكعب في اليوم.

8.1.9 جنوب افريقيا

تم إنشاء محطة OSMOSUNلتحلية بالتناضح العكسي لمياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية في 2018 من خلال شركة Turnkey Water Solutions (TWS) وشركة Mascaraالفرنسية بسعة إنتاجية 150 ألف لتر في اليوم و باستخدام مجموعة شمسية بقدرة 70 كيلو وات.

9 تحلية المياه في القطاع الزراعي

تظل تحلية المياه خياراً فنياً ممتاز لضمان توافر المياه العذبة في كل من المناطق الساحلية ذات الموارد المحدودة وفي المناطق التي تتوفر فيها المياه قليلة الملوحة، ومياه الصرف الصحي ومياه الصرف الصحي المعالجة، انتشر مؤخراً بين المزارعين المعنيين بالزراعة في الصوبات والزراعة المائية في استخدام التناضح العكسي لتحلية وتنقية مياه الري (إن مستوى البكتيريا والديدان الخطية في المياه المعالجة بالتناضح العكسي تكون ذي مستويات أقل عن المياه العادية، مما يساعد أيضاً في السيطرة على أمراض النباتات).

حسب الأبحاث والدراسات المعدّة في المناطق الساحلية في الدول العربية، إن من أبرز صفات المياه الجوفية هي أنها ذات ملوحة عالية بسبب تسرب مياه البحر إليها وأنها ذات منسوب منخفض بسبب ترسب مياه البحر والاستغلال المفرط للمياه الجوفية. هذا ما دفع بعض الدول مثل عُمان إلى استخدام تحلية المياه قليلة الملوحة في ري محاصيلهم، إذ أن ارتفاع مستوى تملح المياه والتربة على طول ساحل منطقة الباطنة، جعل عددا كبيرا من المزارعين يستخدم وحدات تحلية صغيرة القياس لإنتاج مياه الري. وتم تركيب محطات صغيرة للتناضح العكسي في المناطق الريفية حيث لا يوجد خيار آخر لإمداد المياه، ويقوم عدد متزايد من المزارعين العمانيين بتغيير إمدادات مياه الري من مصدر قناة مياه سطحية ملوثة إلى مصدر للمياه الجوفية قليلة الملوحة ومحلاة بالتناضح العكسي.

في دول الخليج، تستخدم الكويت 13% من المياه المحلاة في الزراعة، وتستخدم المملكة العربية السعودية 0.5% فقط من قدرتها على تحلية المياه للأغراض الزراعية، ثم البحرين بنسبة 0.4% وقطر بنسبة 0.1%.

اعتماداً على جودة المياه المرغوبة في الزراعة والناتجة عن التحلية، يمكن التحكم في نفقة الكيماويات والأغشية المستعملة في عملية التحلية، كما أنه عادة ما يتم في عمليات التحلية في المزارع استخدام مياه ذات نسبة ملوحة منخفضيه نسبياً (حوالي 10,000 مج/لتر) والتي هي أقل بكثير من نسبة ملوحة مياه البحر، وهذا يؤدي إلى انخفاض تكلفة التحلية ككل.

مع ذلك، لا زالت تقنية تحلية المياه خياراً مكلفاً للاستخدامات الزراعية، فضلاً عن التحديات البيئية الآنفة الذكر من طلب الطاقة ونوعية المياه ووسائل التخلص من المياه المرتجعة والتي تنتهي في كثير من الحالات بالصرف إلى التربة وتلويث المياه الجوفية وزيادة ملوحتها، مع ذلك، إن التحلية خيار مستدام إذا تم استخدامها في قيودها المحددة.

فيما يلي سيتم طرح مقارنة بين اسبانيا من دول شمال المتوسط وسلطنة عمان من الدول العربية، من حيث استخدامات تحلية المياه في الزراعة.

تمتلك إسبانيا أكثر من 300 محطة تحلية مياه بحرية (حوالي 40٪ من إجمالي عدد المحطات القائمة) ويستخدم 22.4٪ من إجمالي المياه المحلاة للزراعة، تعالج معظم هذه المصانع المياه قليلة الملوحة (10٪ فقط من إجمالي المياه المحلاة للزراعة تتبع من مياه البحر) وتقع في المناطق الساحلية أو على بعد 60 كيلومتر من البحر (منظمة الأغذية والزراعة، 2004)[23].

تعد محطات تحلية المياه قليلة الملوحة صغيرة ومتوسطة الحجم، بسعة أقل من 1000 متر مكعب في اليوم الأكثر شيوعاً لأنها تتكيف بشكل أفضل مع متطلبات المزارعين الفردية والهياكل الهيدروليكية القائمة.

لا يوجد استخدام حصري للمياه المحلاة لأغراض الري، إذ يخلط المزارعون الإسبان المياه السطحية والجوفية منخفضة الجودة في محاولة لتقليل تكلفة تحلية المياه، يمتلك المزارعون محطات تحلية المياه ويمارسون نشاطهم في مزارعهم ضمن مجتمعاتهم المنظمة لتتنافس مع الأسواق المحلية والدولية.

[23] FAO 2004: Water Desalination for agricultural applications, Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications, 26 – 27 April 2004, Rome.

لدى الحكومة الإسبانية إطار مؤسسي واضح يحدد استخدام تحلية المياه في الزراعة ويقدر المزارعون على تعظيم صافي العائدات من خلال خطط تسويق محددة جيداً.

من ناحية أخرى، يستخدم المزارعون في سلطنة عمان وحدات تحلية صغيرة الحجم للحفاظ على المحاصيل الحقلية ذات القيمة المنخفضة، معظم محطات التحلية الداخلية (80٪) هي من نوع التناضح العكسي ذات السعات الصغيرة (أقل من 10,000 متر مكعب/يوم). أكثر من 50٪ من هذه المحطات تعمل على تحلية المياه قليلة الملوحة أو المياه الداخلية - L / mg 3،000 TDS) (GWI) (L / mg 20،000>، 2018).

استكمالا لبرنامجها البحثي والتطويري حول متلازمة الطاقة و الماء و الغذاء، قامت وحدة تنمية الأجهزة الشمسية بالجزائر في سنة 2023 بإنجاز محطة أخرى لتحلية المياه قليلة الملوحة موجهة لسقي المحاصيل الزراعية بحجم قدره 3000 لتر في الساعة. هذه المحطة تم ربطها كذلك بمنظومة للألواح الشمسية الكهروضوئية لتزويدها بالطاقة الكهربائية الضرورية.

يمتلك جزء من المزارعين العمانيين صوبات زراعية تزرع فيها المحاصيل "التقليدية"، مثل الخيار والطماطم، تعتبر هذه المحاصيل الحقلية ذات قيمة منخفضة، مما يشير إلى أنها ليست موجهة للأعمال التجارية وأن معظم المزارع تهدف إلى الحفاظ على الممارسات الزراعية الحالية من بين أغراض أخرى، عند تأمين مصدر جديد للمياه العذبة، يُقدم المزارعون على إضافة المزيد من المرافق إلى مزارعهم، بشكل أساسي المباني السكنية (المنتجعات الصغيرة و / أو أحواض السباحة) أو مرافق تربية الحيوانات.

إن تكلفة تحلية المياه من هذه الوحدات الصغيرة في عُمان (بدون دعم للكهرباء = 0.65 دولار أمريكي / متر مكعب) أعلى بنسبة 63٪ مما يدفعه المزارعون في إسبانيا (0.40 دولار أمريكي / متر مكعب). علاوة على ذلك، يتحمل المزارعون في السلطنة تكاليف أعلى من أجل "فاتورة" المياه حيث أن متطلبات المحاصيل من المياه أعلى من تلك الخاصة بإسبانيا بالنسبة للمحاصيل التي تم مسحها (22000 مقابل 5600 متر مكعب / هكتار في السنة). بينما يخلط جميع المزارعين في إسبانيا المياه المحلاة بمصادر أخرى للمياه منخفضة الجودة، يستخدم 78٪ من المزارعين في عُمان الذين شملهم الاستطلاع سنة 2019 المياه المحلاة تمامًا لري المحاصيل ذات القيمة المنخفضة، تساهم كل هذه العوامل في جعل الزراعة باستخدام المياه المحلاة أقل ربحية بكثير مما هي عليه في إسبانيا.

أيضاً، تستخدم إسبانيا محطة تحلية مركزية متوسطة الحجم ذات معدلات استرداد عالية مقارنة بالمعدلات المنخفضة من الوحدات الصغيرة المستخدمة في عُمان، وإن "اقتصاديات الحجم" ومعدلات الاسترداد المرتفعة تقلل إلى حد كبير من تكلفة تحلية المياه. يوضح التحليل الاقتصادي، اعتماداً على حجم الوحدة، أن تكلفة تحلية المياه تتراوح بين 0.46 دولار أمريكي - 1.32 دولار أمريكي / متر مكعب بمتوسط 0.55 دولار أمريكي / متر مكعب.

وعليه يتمثل أحد خيارات تقليل تكاليف تحلية المياه المستخدمة لأغراض زراعية في خلط المياه المحلاة بمياه جوفية منخفضة الجودة واتباع مخططات معينة لعجز الري لري المحاصيل عالية القيمة.

10 التكلفة الطاقية لتحلية المياه والبصمة الكربونية

10.1 تكلفة تحلية المياه

انخفضت نفقات تحلية المياه بأكثر من النصف في الـ 25 سنة الماضية مع تحسن التكنولوجيا وكفاءة الطاقة، وتتراوح التكلفة الحالية لإنتاج 1 متر مكعب من المياه المعالجة بين 0.5 دولار أمريكي و0.9 دولار أمريكي، تعد المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة من بين أرخص المناطق لتحلية المياه بسبب انخفاض أسعار الطاقة واقتصاديات الحجم في مصانعهما الكبيرة. يمكن أن تؤدي زيادة استخدام الطاقات المتجددة لتشغيل عملية تحلية المياه إلى خفض التكاليف بشكل أكبر، في الواقع، توقعت شركة كهرباء ومياه دبي أن تبلغ تكلفة المياه 0.306 دولار / متر مكعب مقابل 545000 متر مكعب / يوم من محطة حسيان للمياه العذبة عندما يتم تشغيلها في عام 2023، حتى الآن، هذه هي أدنى تعريفة لتحلية المياه في العالم.

10.1.1 التكلفة الموحدة للمياه:

يمكن تقسيم التكلفة الإجمالية لتحلية المياه إلى الاتي:

1. الاستثمار أو تكلفة رأس المال (CAPEX): تكلفة الأرض والهياكل والمعدات، النقل والتأمين والبناء والرسوم القانونية ودراسات الجدوى والاعمال الهندسية.
2. تكلفة التشغيل والصيانة (OPEX): تكلفة التشغيل والصيانة والإصلاح والموظفين / الموظفين وقطع الغيار وإعادة الإعمار
3. تكلفة الطاقة (EC): الطاقة المتجددة، الشبكة

التكلفة الموحدة للمياه = (تكلفة رأس المال + تكلفة تشغيل والصيانة + تكلفة الطاقة + عامل استرداد رأس المال) / إجمالي إنتاج المياه في السنة

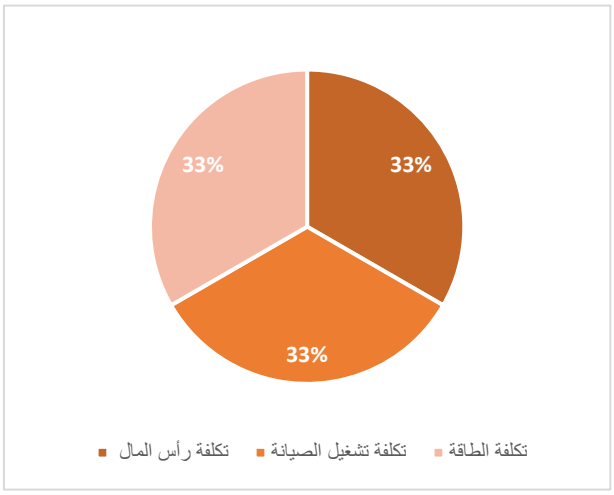
يعتبر إجمالي الاستثمار وتكاليف المياه المتولدة، ونوع عقد المشروع، والخصائص الأخرى مثل الحوافز أو الإعانات المحلية من الاعتبارات الهامة التي تؤثر على صانعي السياسات / القرار لاختيار التكنولوجيا المناسبة، يمكن أن يكون للعديد من العوامل، بما في ذلك سعة ونوع محطة تحلية المياه ومياه التغذية والعمالة والموقع ونوع الطاقة المستخدمة، سواء كانت تقليدية أو متجددة، تأثير كبير على أسعار المياه المحلاة لكل متر مكعب، نظراً للكميات الهائلة من الوقود اللازم لتبخير المياه المالحة، فإن عمليات تحلية المياه بتغيير الطور التي تستخدم الوقود التقليدي ومصادر الطاقة غالباً ما تتمتع بقدرات إنتاجية كبيرة وتكون باهظة الثمن نسبيًا مقارنة بالمصانع ذات الأغشية.

10.1.2 التأثيرات على تكلفة تحلية المياه:

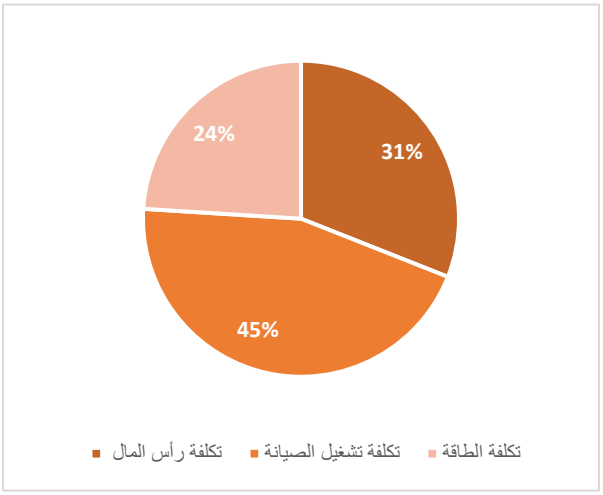
للتكنولوجيا تأثير مباشر وكبير على تكلفة تحلية المياه، لكن هذه ليست قائمة شاملة. تحلية المياه، ونوعية المياه الخام، والمنتج، ونوع السحب والتفريغ، وموقع المحطة أو المشروع، ونوع استعادة الطاقة. أسعار الكهرباء المستغلة، ومتطلبات ما بعد المعالجة، وتكاليف التخزين والتوزيع، بالإضافة إلى نفقات البنية التحتية المحلية واللوائح البيئية.

وتقتصر مبادرات تحلية المياه الكبيرة المعتمدة على الطاقة المتجددة في المقام الأول على طاقة الرياح، على الرغم من أن المملكة العربية السعودية رائدة في مجال تحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في محطة الخفجي. ويجري حاليًا تطوير العديد من مبادرات تحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة. تعتبر الطاقة الحرارية الأرضية مناسبة. يمكن أن توفر الطاقة الشمسية المركزة فوائد بيئية كبيرة لتحلية المياه لأنها تقلل من الانبعاثات، ويمكن أن تساعد، جنبًا إلى جنب مع التطورات التكنولوجية الأخرى، في تقليل ملوحة إنتاج المياه. وبالمقارنة بمصادر وتقنيات الطاقة التقليدية، فإن الطاقة الشمسية المركزة ليست قادرة على المنافسة اقتصاديًا.

الاعتماد الواسع النطاق للطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية تقليل هذه النفقات بمقدار كبير. بشكل عام، تكاليف تحلية المياه بالطاقة الشمسية مرتفعة حاليًا، لكن التطورات التكنولوجية ستجعل مكثفات الطاقة الشمسية وتقنيات الطاقة المتجددة الأخرى تنافسية من حيث التكلفة.



الشكل 8 توزيع التكاليف في عمليات تحلية المياه بواسطة الأغشية



الشكل 9 توزيع التكاليف في عمليات التحلية الحرارية

جدول 6 التكلفة النموذجية لأنظمة تحلية المياه بالطاقة المتجددة

تكنولوجيا تحلية المياه	طاقة شمسية حرارية			طاقة شمسية كهروضوئية		طاقة الرياح		
	تقطير متعدد التأثير	الترطيب – وإزالة الرطوبة	تحلية مياه البحر	التحليل الكهربى	التناضح العكسي	ضغط بخار ميكانيكي	التناضح العكسي	التناضح العكسي
السعة (متر مربع /يوم)	>5000	>100	>1	>100	>100	>100	>50	>1000
التكلفة النموذجية (دولار/متر مربع)	2.5 – 3	2.8 – 7	1.4 – 12	11.2 – 12.6	12.5 – 16.8	5.6 – 8.4	7 – 9.8	2.1 – 5.6

توزيع التكاليف في عمليات التحلية:

لمقارنة تكاليف الحلول المختلفة، يمكن افتراض أن القيمة المرجعية لتكلفة إنتاج المياه في حالة التحلية التقليدية هي 1 دولار أمريكي / متر مكعب لعمليات تحلية المياه متوسطة إلى صغيرة الحجم المتصلة بالشبكة، نظام التحلية النموذجي المستقل هو عملية تناضح عكسي مقترنة بمولد يعمل بالديزل، بسبب المصاريف الإضافية للنقل وتخزين الوقود، يمكن أن تصل تكلفة إنتاج المياه إلى 1.5 دولار أمريكي / متر مكعب، في حين أن تكلفة إنتاج المياه من الطاقة الشمسية (PV) المقترنة بالتناضح العكسي هي 2 دولار أمريكي / متر مكعب، فإن تكلفة إنتاج المياه لـ MED / SGSP (التبخر متعدد التأثيرات الذي يعمل بالطاقة الشمسية / التحلية الحرارية بواسطة الأحواض الشمسية ذات التدرج الملحي) هي 1.5 دولار أمريكي / متر مكعب.

سيؤدي استمرار الابتكار إلى خفض تكاليف تحلية المياه MED و RO. في حين أن تحلية المياه هي سوق متواضع للطاقة الشمسية المركزة، إلا أنها يمكن أن تلبي طلباً كبيراً ومتزايداً على الطاقة، من المتوقع أن تنخفض تكاليف تحلية المياه بالطاقة الشمسية نتيجة للتقدم التكنولوجي والمواد الجديدة ومكاسب الكفاءة، تماماً كما حدث عند إطلاق التناضح العكسي في الأصل.

الطاقة الشمسية المركزة CSP ليست مجدية اقتصادياً لتحلية MSF (فلاش متعدد المراحل) بسبب النفقات المالية المرتفعة لكل من تقنيات الطاقة وتحلية المياه، وتجدر الإشارة إلى أن تكاليف أنظمة الطاقة الشمسية المركزة تشمل سعة تخزين حرارية تصل إلى 6 ساعات، ينتج عن هذا مصاريف رأسمالية تبلغ 6،300 دولار أمريكي / كيلوواط كهربائي للحوض المكافئ CSP و5،700 دولار أمريكي / كيلوواط لبرج CSP، على التوالي.

10.2 متطلبات الطاقة وانبعاثات الكربون

يشير التخفيف من آثار التغيرات المناخية إلى تدابير للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، بينما يشير التكيف إلى استراتيجيات للتعامل مع آثار تغير المناخ، وتدعو مشاريع التكيف والتخفيف إلى بدائل مستدامة لتحلية المياه تنبعث منها القليل من ثاني أكسيد الكربون أو لا تنبعث منها على الإطلاق من أجل تجنب ظروف تغير المناخ، ومع ذلك، نظراً لأن تحلية المياه لا تزال أكثر طرق معالجة المياه كثافة في استخدام الطاقة، ولا تزال معظم البلدان تشغّل مرافق تحلية المياه بالوقود الأحفوري، فهي مثال على التناقض بين استراتيجيات التخفيف والتكيف، تختلف كمية الطاقة المطلوبة لتحلية المياه وفقاً للتقنية المستخدمة وخصائص النظام وملوحة المياه التي يتم تحليتها.

تعد تحلية المياه خياراً جاذباً للتكيف نظراً لإمكانية توفير إمدادات مياه موثوقة ومقاومة للجفاف للعديد من المناطق الساحلية في الدول العربية ومجلس التعاون الخليجي، تحلية المياه لديها القدرة على توفير جودة مياه أفضل من المصادر الحالية، في بعض الدول العربية، مثل ليبيا، تعد تحلية المياه خياراً أفضل للإمداد من نقل المياه، على الأقل من حيث التكلفة. نظراً لأن استيراد المياه من الواحة الجنوبية يتطلب قدراً كبيراً من الطاقة، فإن تقليل الكمية الإجمالية للمياه المستوردة إلى المنطقة يمكن أن يقلل من كمية الطاقة المستخدمة لإمدادات المياه، مما يؤدي إلى انخفاض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

ومع ذلك، فإن استبدال عمليات نقل المياه (خاصة عمليات النقل لمسافات طويلة) لا يضمن خفض انبعاثات غازات الدفيئة لأن محطات تحلية المياه تتطلب بالمثل الطاقة، علاوة على ذلك، تزعم بعض مرافق التحلية أنه ليس مطلوباً منها تقليل الانبعاثات المرتبطة باستخدامها للطاقة لأنها لا تطلق غازات الدفيئة مباشرة.

يمثل توليد الكهرباء والحرارة حوالي 25٪ من إجمالي الانبعاثات العالمية، تشمل فرص التخفيف استبدال الإمدادات الكهربائية القائمة على الوقود الأحفوري بمصادر متجددة، فضلاً عن تقليل الطلب من المستخدمين النهائيين في قطاعات النقل والصناعة والبناء، فضلاً عن محطات تحلية المياه.

إن البصمة الكربونية المقدرة لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي (0.4 - 6.7 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م 3) أكبر عموماً من تحلية المياه المالحة بالتناضح العكسي (0.4 - 2.5 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م 3) وأنظمة إعادة استخدام المياه (0.1 - 2.4 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / م 3). يُعزى الاختلاف في هذه الأرقام إلى العوامل التالية: الموقع، والتكنولوجيا، ومراحل دورة الحياة، والمعلمات التي تم تقييمها، ومنهجيات التقدير، والتي تمت الإشارة إليها جميعاً على أنها عقبات رئيسية أمام إنشاء مقارنات موثوقة.

يتم تحديد البصمة الكربونية المباشرة لمحطة تحلية المياه من خلال مصدر الطاقة المستخدم، فضلاً عن كفاءة المنشأة، محطات تحلية المياه، مثل معظم الشركات، تنبعث منها غازات الدفيئة غير المباشرة (GHG). محطات التحلية التي تعمل بالوقود الأحفوري لها آثار بيئية بسبب انبعاثات غازات الدفيئة أو الملوثات الأخرى المرتبطة بتوليد الكهرباء، والتي تساهم في ارتفاع درجات الحرارة بسبب تأثير الاحتباس الحراري.

البصمة الكربونية لوحدة التحلية هي كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في الغلاف الجوي من مصادر توليد الطاقة التي توفر الكهرباء اللازمة لتشغيل المحطة، غالباً ما تقاس البصمة الكربونية بأطنان من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، يتم تحديد إجمالي البصمة الكربونية لمحطات التحلية من خلال عاملين أساسيين: كمية الكهرباء التي تستهلكها المحطات للتشغيل وعامل الانبعاث لمحطات الطاقة المحددة التي تزود الكهرباء لمحطات التحلية.

من جهة أخرى، فإن تحلية المياه هي مساهم ثانوي في استهلاك الطاقة في جميع أنحاء العالم وانبعاثات الغازات الدفيئة، حيث استحوذت على أقل من 0.2٪ من الاستهلاك العالمي للطاقة في عام 2013، وينتج التناضح العكسي ما بين 2.1 - 3.6 كجم من ثاني أكسيد الكربون لكل متر مكعب من المياه العذبة، اعتماداً على الوقود المستخدم لتوليد الطاقة.

نحن بحاجة إلى ابتكارات لتقليل التأثير الضار للغازات الدفيئة، وتشمل بعض البدائل الجمع بين محطات تحلية المياه ومصادر طاقة خالية من الكربون أو منخفضة الكربون مثل محطات الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح أو الطاقة النووية، والتي يمكن أن تسمح بفوائد المياه النظيفة دون أن يكون لها تأثير سلبي على البيئة.

ومع ذلك، فإن بعض هذه المصادر المتجددة لا توفر طاقة مستمرة، وتواجه الأشكال الأخرى لتقنية تحلية المياه، مثل التناضح العكسي تحديات عندما لا يكون تشغيلها متسقاً.

تم تصنيف أربع فئات بمستوى عالي للجاهزية التكنولوجية (TRL)، وهي ذات تأثير كبير من حيث تأثير غازات الدفيئة مقابل مستوى الجاهزية التكنولوجية (TRL) للعديد من أنظمة تحلية المياه منخفضة الكربون.

1. التناضح العكسي الكهروضوئي
2. التناضح العكسي بطاقة الرياح
3. هجن التحلية الحرارية بالطاقة الشمسية المركزة
4. تحسين التوليد المشترك للطاقة والمياه.

يُعتقد أن الإعدادات المقترنة بشكل غير مباشر، مثل التناضح العكسي الكهروضوئي والتناضح العكسي بطاقة الرياح، تحتوي على TRL أكبر من الترتيبات المقترنة مباشرة، عندما يتعلق الأمر بإمدادات المياه في مثل هذه المنطقة المائية الثمينة، فمن الواضح أننا بحاجة إلى تعديل عملياتنا الآن أكثر من أي وقت مضى للاستعداد لتغير المناخ، وتقليل آثارها عن طريق خفض انبعاثات الاحتباس الحراري، وتوليد المزيد من الطاقة المتجددة، في الواقع، يجب أن نستعد لتقليل هطول الأمطار من خلال استخدام مصادر المياه البديلة مثل تحلية المياه ومياه العواصف والمياه المعاد تدويرها، بالإضافة إلى إجراء عمليات حرائق محوكمة لحماية متجمعات إمدادات المياه من حرائق الغابات.

نظراً لأن المياه قليلة الملوحة تحتوي على نسبة ملح أقل من مياه البحر، فإن تحلية المياه قليلة الملوحة، والتي تستخدم بشكل شائع في الزراعة في بعض الدول العربية، تستهلك طاقة أقل وبالتالي تنتج انبعاثات غازات دفيئة أقل من تحلية مياه البحر، يمكن استخدامه أيضاً لإعادة شحن طبقات المياه الجوفية باستخدام المياه المعاد تدويرها.

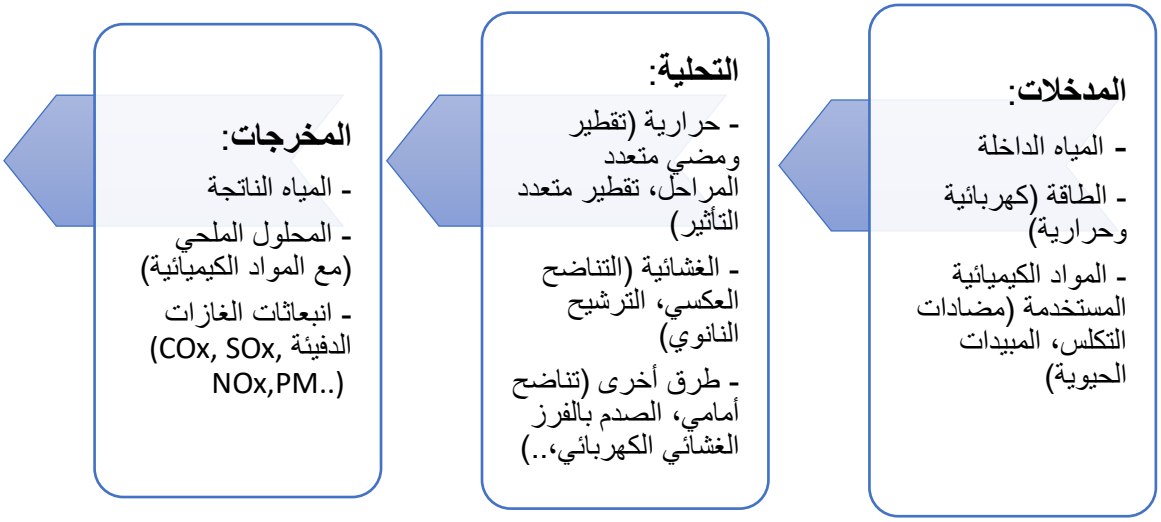
يوصى بأن يتم إنشاء قائمة جرد للغازات الدفيئة لجميع مكونات أنظمة إمدادات المياه الحالية والمتوقعة في المنطقة العربية، بما في ذلك أكبر قدر ممكن من البيانات الدقيقة والكمية بقدر ما يسمح به الوقت والمعرفة والموارد المالية، وقد ينتج عن مثل هذا الجرد مجموعة من الإرشادات التي تحدد أنظمة توصيل المياه التي تعتبر بدائل منخفضة الانبعاثات وأيها يجب أن يكون ذو أولوية، كما يجب أن يشجع هذا على المزيد من تحلية المياه المتجددة.

11 الأثر البيئي لتحلية المياه وطرق إدارته

رغم أهمية تحلية المياه وضرورتها في المناطق الجافة نسبياً والتي لا تتوفر فيها الموارد المائية اللازمة، إلا أن لعملية تحلية المياه العديد من التأثيرات البيئية التي تعتبر مهمة وخصوصاً في النواتج ويجب رصدها وتخفيفها.

يجب أن تشمل المراحل الأولية في بناء محطات التحلية الآثار البيئية ومعالجتها أياً كانت، ولذلك يتوجب القيام بعدد من الدراسات الضرورية حسب سعة وحجم المحطة وموقعها، إذ لا بد من دراسة تحليل الأثر البيئي والاجتماعي والاقتصادي، وتحليل دورة الحياة، ومراعاة أفضل التقنيات المتاحة .(Best Available Technology).

من الممكن اختصار عملية التحلية ومخرجاتها على الشكل التالي:



الشكل 10 الملوثات الناتجة عن عمليات التحلية

11.1 تأثير المحلول الملحي

إن المحلول الملحي هو من المخلفات الناتجة عن عملية التحلية ويحتوي على مركبات ذائبة موجودة في المحيط كالمعادن ومواد عضوية تم رفضها من أغشية التناضح العكسي أو الطرق الحرارية ويؤدي هذا المحلول للتلوث البحري أو تلوث التربة إذا ما تم صرفه بدون رقابة إذ أنه يحتوي على سموم من الكلورين والنحاس، كما أن نسبة الملح فيه 5% بينما نسبة الملح في مياه البحر 3.5%.

إن إنتاج 1 متر مكعب من المياه المحلاة ينتج عنه محلول ملحي بمقدار 1.5 متر مكعب تقريباً، قد يتم التخلص من المحلول الملحي برميه إلى المجمعات المائية القريبة من مصانع التحلية، مما يضر بالحياة في هذه الموائل، إذ أنه يقلل من كمية الأوكسجين المنحلة في المياه.[24]

خلال عملية التحلية، من الملوثات أيضاً هي ناتج صرف محطة التحلية الذي يحتوي بالإضافة إلى المحلول الملحي، على مياه الغسيل العكسي للمرشحات، ومياه شطف الأغشية ومياه تنظيف الأغشية التي تحتوي على منظفات كيميائية بالإضافة إلى المياه الناتجة غير المطابقة للمواصفات.

إن تقنيات الأغشية التي تستخدم الكهرباء كمصدر للطاقة، مثل التناضح العكسي، هي أكثر الطرق المنتشرة عالمياً في التحلية، إلا أن الدول العربية استثناء، حيث إن التكلفة المنخفضة للوقود الأحفوري في المنطقة العربية وانتشار منشآت التوليد المشترك للطاقة والمياه جعل الاعتماد على التحلية الحرارية كبيراً وخصوصاً تقنيات التقطير الومضي متعدد المراحل أو التقطير متعدد التأثير.

[24] https://www.weforum.org/agenda/2022/12/desalination-process-freshwater-negative-environmental-cost/

تستخدم المنطقة العربية 90% من المياه المحلاة حرارياً عالمياً بقيادة الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية، إلا أن استخدام تقنيات التناضح العكسي في ازدياد إذ تمثل 60% من التقنيات المستخدمة في سلطنة عُمان وحوالي النصف في المملكة العربية السعودية.[25]

لذلك، يجب الأخذ بعين الاعتبار الحمل الحراري العالي لتصريف محطات التحلية الحرارية، بينما درجة حرارة صرف التحلية الغشائية تماثل درجة حرارة مياه البحر المستخدمة.

إدارة التخلص من المحلول الملحي:

إن المحلول الملحي من الملوثات الهامة بسبب ملوحته العالية[26] وإمكانية احتوائه على سموم كيماوية وبذلك يجب أخذ العديد من العوامل بعين الاعتبار عند التخلص منه، منها:

1- تصريف المياه السطحية: لا يوصى أن يتم التخلص من المحلول الناتج في أنظمة المياه العذبة ولا مياه الأنهار والمحيطات ومصباتها.
2- التخلص المغمور: قد يتم نقل المحلول المركز عبر أنابيب تحت الماء إلى مصبات الأنهار والمحيطات وهذا يؤثر على الكائنات البحرية التي تعيش في القاع.
3- حقن الآبار العميقة: حقن المحلول الناتج في طبقات المياه الجوفية العميقة غير الصالحة للشرب بأعماق تتراوح من 320 م إلى 2570 م. وقد لا تكون هذه الطريقة آمنة أو ممكنة بسبب الظروف الجيولوجية الخاصة بالمنطقة أو لأسباب قانونية.
4- برك التبخير: كما تم استخدام هذه البرك تاريخياً لإنتاج الملح من المياه المالحة، يمكن استخدام أحواض التبخير تبخر المحلول الملحي وتراكم الملح في القاع، من المفيد اعتبار هذه الطريقة في الدول ذات المناخ الدافئ إذ أن معدل التبخر يكون مرتفعاً، عموماً إن لهذه الطريقة العديد من الاعتبارات التقنية التي يجب دراستها ودراسة كلفتها مع الانتباه أنها تستهلك مساحات شاسعة من الأراضي وهذا ما قد يسبب عائقاً مهماً أمام تبنّيها.
5- الاستخدام في الأرض: من الممكن أن يستخدم المحلول الملحي في ري بعض المحاصيل والعشبيات المحدودة المتحملة للأملاح.
6- التخلص المتكامل مع محطة معالجة مياه الصرف الصحي: من الممكن استخدام نواتج عملية التحلية في المدخلات أو المخرجات وذلك بدمجها مع مياه الصرف المراد معالجتها، عموماً، إن تصميم محطات معالجة مياه الصرف مصممة على المعالجة البيولوجية وهذا قد لا يكون ناجعاً في معالجة المحاليل الملحية مما يستوجب إنشاء خط معالجة خاص.

11.2 التأثير على الهواء

تستهلك تقنية التحلية عموماً حوالي 4 كيلو وات ساعة من الطاقة لإنتاج متر مكعب واحد من المياه المحلاة، وهذا ضعف الطاقة المستخدمة في إعادة استخدام المياه العادمة، يختلف هذا الرقم اختلافاً بسيطاً حسب التقنية.
يعرض الجدول التالي الملوثات الهوائية الناتجة عن طرق تحلية المياه باستخدام الوقود التقليدي، ويتبيّن أن انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون الناتجة من محطات التحلية الحرارية أعلى مما هي في محطات التحلية القائمة على تقنية الأغشية.

الجدول 6 نسب الملوثات الهوائية الناتجة حسب طريقة التحلية

الملوث	الواحدة	طريقة التحلية			
		التناضح العكسي (RO)	التقطير متعدد التاثير (MED)		التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF)
		وقود أحفوري	استرجاع حراري	وقود أحفوري	استرجاع حراري	وقود أحفوري
CO2	Kg	1.8	1.1	18	2	24

[25] https://www.iea.org/commentaries/desalinated-water-affects-the-energy-equation-in-the-middle-east
[26] تقاس الملوحة بتركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) وعادة ما تنتج محطات التناضح العكسي مركزات ذات ملوحة TDS أعلى من 65 جرام / لتر بينما في محطات MSF تكون حوالي 50 جرام/لتر.

NOx	g	3.9	2.4	21	4.1	28
Sox	g	1.1	16	26	15	28
Dust	g	2	1	1	2	2
NMVOC	g	1.1	0.6	5.9	1.2	7.9

*NMVOC (Non-methane volatile organic compounds) المركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية

إن بعض الانبعاثات السابقة تكون مباشرة خلال عملية التحلية، كحرق الوقود الاحفوري في عمليات التحلية الحرارية، وتعتمد انبعاثات الغازات الدفيئة وملوثات الهواء بشكل عام على: نوع الوقود الأحفوري وكفاءة محطة توليد الكهرباء ومعدات تجميع الملوثات في مخرجات المحطة.
إن حساب كمية الغازات التي تساهم في تغير المناخ والتي تنبعث من عملية احتراق الوقود الأحفوري تنسب إلى غاز ثنائي أوكسيد الكربون، أي يتم حساب الكمية المكافئة لغاز ثنائي أوكسيد الكربون التي يكون لها نفس التأثير على الاحتباس الحراري (CO_2-e).
بعض هذه الغازات هي: ثاني أوكسيد الكربون CO_2، الميثان CH_4 ، أوكسيد النيتروز N_2O ، سادس فلوريد الكبيريت SF_6 ، مركبات الكربون الفلورية Fluorocarbons ..).

من الضروري وجود لوائح بيئية عملية وصارمة لتدير عمل مصانع تحلية المياه، إلى جانب ذلك، من الضروري تخفيف والحد من الآثار البيئية خصوصاً فيما يتعلق بما يلي:

- اعتماد منطقة عازلة عن التجمعات السكنية.
- إنشاء شبكة تحتية لسحب مياه التغذية إلى المحطة، وإلى موقع التصريف.
- عدم صرف المياه العادمة إلى المسطحات المائية المجاورة.
- إن عدم اعتماد الطاقة المتجددة في التشغيل فإن هذا يزيد الاعتماد على الوقود الأحفوري وبالتالي زيادة انبعاثات الغازات الدفيئة وتفاقم مشكلة تغير المناخ.
- تهديد مآخذ المياه السطحية لتحلية المياه للحياة المائية في المسطحات

11.3 التأثير على الحياة البحرية

عند سحب مياه البحر، تصطدم العديد من الكائنات البحرية بشاشة السحب، أو يتم سحب كائنات صغيرة وبيوض الأسماك وقتلها.

من التدابير الاحترازية لتجنب وقوع الاصطدام، هو أن يتم الحسب من قاع البحر وليس من على سطحه إذ تشكل الرمال مرشحاً طبيعياً يقلل من إمكانية سحب الكائنات الأخرى وبالتالي تيسير عملية التحلية أيضاً. لكن هذا ليس ممكنا دائما، إذ أنه مرتبط بجيولوجيا المنطقة.

من الحلول الفعالة أيضاً، هو تكييف فتحات شاشة السحب لدمج شبكة أصغر وأقل مساحة لتفادي دخول الكائنات الكبيرة نسبياً للدخول، ويمكن أيضاً تخفيض سرعة سحب المياه، وإتاحة الفرصة للسرطانات والأسماك بالتحرك بعيداً عنها، وقد حددت وكالة حماية البيئة أن السرعة الفعالة لمعالجة التأثيرات البحرية هي التي تكون أقل أو تساوي 0.15 متراً في الثانية.

إعادة تدوير مخلفات التحلية

كما ذكر سابقاً، تشكل هذه الكمية من المحلول الملحي والتلوث الكيميائي الناتجة عن التحلية مخاطر كبيرة على حياة المحيطات والنظم الإيكولوجية البحرية، تتراكم المواد الكيميائية السامة في الأسماك وتعاني مخلوقات قاع البحر من انخفاض الأكسجين وارتفاع مستويات الملح بالقرب من محطات تحلية المياه، وكلها تؤثر على السلسلة الغذائية بأكملها.

يجب النظر إلى المشكلات والفرص و تحويلها إلى منفعة بيئية واقتصادية وعلمية، وقد ركزت الأمم المتحدة على عدد من الفرص ودعت المجتمع العلمي إلى تطوير تقنيات استخراج المعادن والملح من المياه الناتجة، على سبيل المثال، لقد تم استخدام المحلول الملحي العادم في الزراعة المائية لزراعة المكمل الغذائي سبايرولينا وري شجيرات ومحاصيل العلف، من الممكن النظر إلى هذا

الاستخدام كفرصة في عالمنا العربي رغم حداثة إنتاج السبايرولينا محلياً في الدول العربية إلا أنها من أكثر الأسواق التي من المتوقع ازدهارها مستقبلاً.

وقد نشر معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا دراسة تفصيلية حول عملية تحويل المحلول الملحي إلى مركبات كيميائية، منها ما يمكن إعادة استخدامه في عملية التحلية ذاتها، من هذه المركبات: هيدروكسيد الصوديوم أو الصودا الكاوية وهو مركب قلوي متعدد الاستعمالات و يدخل في المعالجة المسبقة لمياه البحر قبل تحليتها إذ أن الصودا الكاوية تغير من حموضة مياه البحر التي تدخل محطات التحلية وخصوصاً التناضح العكسي، وبالتالي تساعد على حماية أغشية الترشيح من التلوث، وأيضاً، ممكن صنع حمض الهيدروكلوريك من المحلول الملحي الذي يستخدم في تنظيف المياه المعالجة في محطات التحلية، وأيضاً يعد مصدراً لإنتاج الهيدروجين.

12 الإطار التشريعي والممارسات الفضلى في مشاريع التحلية

إن أهم الانتقادات الموجهة لعملية التحلية هي فيما يتعلق بالتخلص من المحلول الملحي بعد عملية التحلية، إذ أنه يرفع ملوحة الوسط المائي المحيط ويشكّل خطراً على البيئة المائية، لذلك، بالإضافة إلى تنظيم عملية التخلص في مصانع التحلية، يجب على السلطات استخدام منهجيات التصريح والامتياز لدعم المقترحات التشريعية التي تحفّز إعادة استخدام المحلول الملحي، بمعنى آخر، إن إدراك السلطات لأهمية التقنية والابتكار في عملية التحلية يسمح بالإبداع والإسراع في حل المشكلة.

كما أن عملية تحلية المياه عملية مستهلكة للطاقة، وفي حال الاعتماد على الوقود الأحفوري، فإن الغازات الدفيئة المنبعثة تكون ذو أثر كبير على الاحتباس الحراري وهذا ما يثير مخاوف السلطات على أثرها على المناخ العالمي واستخدام موارد الطاقة بشكل عام، وهناك العديد من الأمثلة في جميع أنحاء العالم، حيث تقوم مشاريع تحلية المياه بتعويض الطاقة التي تستهلكها من خلال تنفيذ مشاريع طاقة بديلة، فالمملكة العربية السعودية استثمرت في منشأة بحرية لتحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة.

إن العلاقة بين الطاقة والماء أصبحت مترابطة بحيث العديد من البلدان حول العالم توجه شركات إمداد المياه للحياد الطاقيّ، بتوليد كمية من الطاقة من مياه الصرف تساوي كمية الطاقة المستهلكة في خلال العملية.

تُظهر اللوائح في منطقة الدول العربية بشكل عام اتجاهين بما يتعلق بتنظيم محطات تحلية المياه، الأول، تعزيز التدخل الحكومي المعتبَر في تصميم وإنشاء المحطة، والثاني، يقترح دعم مشاريع التحلية ذات الاستهلاك الطاقي الأقل، وبالتالي أقل ضرراً على البيئة.

تستطيع الحكومات إبداء تفضيلاتها لهذا الأنواع من مشاريع تحلية المياه عند مرحلة الموافقات الحكومية اللازمة لبناء وتشغيل المحطة، كما يمكن للحكومات دعم التشغيل المستقبلي لهذه المصانع بمنح عقود إدارية امتيازية وميسرة لتوفير حاجة السكان من المياه.

في حال دعم أي دولة لمشاريع محطات التحلية، فيجب أن تلتفت الجهات المعنية إلى أمرين أساسيين بخصوص هذه المنشآت: الأول هو الاستدامة الاقتصادية (توفير الطاقة) والثاني هو الاستدامة البيئية (حماية الحياة البحرية).

كما تم ذكره في فقرة الأثر البيئي لتحلية المياه، لا يمكن التغاضي عن آثار مصانع التحلية بأنواعها على تلوث الهواء في حال استخدامها للوقود التقليدي، وعلى الحياة البحرية ومصادر المياه السطحية والجوفية في حال تم التخلص من المحلول الملحي الناتج مع المكونات الكيميائية بشكل غير مدروس، لذلك، يجب على الحكومة والهيئات التشريعية إدراج القوائم واللوائح والقوانين التي تعمل على الحد والتخفيف من هذه الآثار البيئية على المستوى المحلي والوطني.

فيما يلي قائمة بأهم القضايا التي تستوجب تنظيمها باللوائح والتشريعات:

مرحلة البناء: المنطقة الساحلية، بيئة قاع البحر، موائل الطيور والثدييات، التآكل، التلوث غير المركزي.

من ناحية الطاقة: مصدر الوقود، نقل الوقود، تصريف مياه التبريد، الانبعاثات الهوائية من محطات توليد الكهرباء واحتراق الوقود.

من ناحية جودة الهواء: كل ما له علاقة بناحية الطاقة.

الحياة البحرية: مكونات تصريف النفايات، الآثار الحرارية، عملية تغذية المياه، آثار المبيدات الحيوية في مياه الصرف، المعادن السامة، مستويات الأوكسجين، العكارة، الملوحة، مناطق الخلط، أثر الصيد التجاري، وغيرها.

المياه الجوفية: التسرب من برك التجفيف غير المبطنة التي تسبب زيادة الملوحة وتسريب المعادن السامة إلى باطن الأرض.

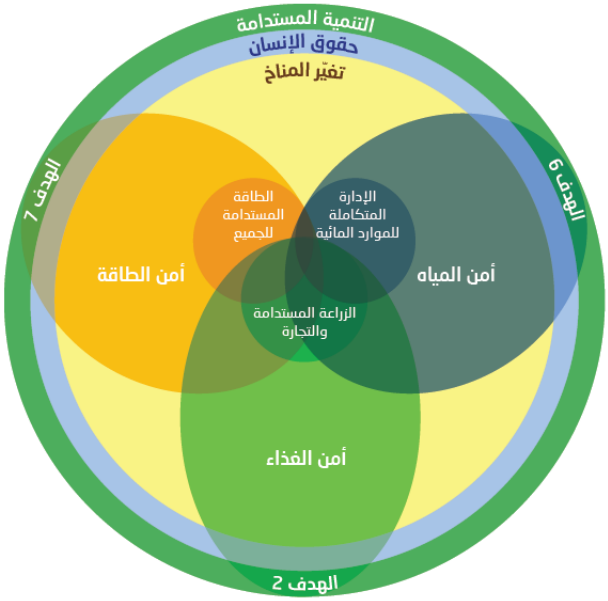
13 إمكانات تحلية المياه بالطاقة المتجددة وتحقيق الاستدامة وترابط المياه والطاقة والغذاء

13.1 ترابط المياه والطاقة والغذاء

على مدى السنوات القليلة الماضية، تم إجراء المزيد من الأبحاث حول "العلاقة بين المياه والطاقة والغذاء"، وهو المصطلح المستخدم لوصف الروابط بين قطاعات المياه والطاقة والغذاء على مستوى العالم، حقيقة أن العلاقة بين المياه والطاقة والغذاء هي حالياً في طليعة السياسات العالمية، والتنمية، والأجندات البحثية دليل على الدور الحاسم الذي يجب أن يلعبه نهج الترابط من أجل تلبية الطلب المتزايد بسرعة في العالم على المياه والطاقة والغذاء في عصر الموارد المتضائلة، يمكن اعتبارها استراتيجية مركزية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، مثلها مثل أساليب الاقتصاد الدائري.

تضع منظمة الفاو المناقشة حول التنمية المستدامة، التي تقر وتحاول إيجاد توازن بين مختلف الأهداف والمصالح ومتطلبات الناس والبيئة، في سياق العلاقة بين الماء والطاقة والغذاء، وتتحدث على وجه التحديد عن التفاعلات المعقدة وردود الفعل بين النظم الطبيعية والبشرية، يشير مصطلح "قاعدة الموارد" إلى كل من الموارد الطبيعية والاجتماعية والاقتصادية التي نعتمد عليها لتحقيق أهدافنا واهتماماتنا المختلفة فيما يتعلق بالغذاء والطاقة والمياه.

تصف تفاعلات الترابطات (التي تعتمد على بعضها البعض)، والقيود (فرض قيود أو المقايضات)، وأوجه التآزر فيما يتعلق بكيفية استخدامنا وإدارة أنظمة الموارد (التعزيز المتبادل أو تقاسم المنافع). في سياق القوى ذات الأهمية الدولية، مثل التحولات السكانية، والتحضر، والتصنيع، والتحديث الزراعي، والتجارة العالمية والإقليمية، والأسواق والأسعار، والاختراقات التقنية، والتنويع والتغيرات الغذائية ، وتغير المناخ ، تحدث التفاعلات.



الشكل 11 الترابط في أمن المياه والطاقة والغذاء[27]

يمكن أن تتأثر الدرجة التي يمكن عندها تحقيق ثلاثة أهداف رئيسية للسياسة - المياه والطاقة والأمن الغذائي - بالترابطات الهامة للقطاعات، بسبب الروابط يعتمد تحقيق الأمن في منطقة ما على التقدم في مجالات أخرى ذات الصلة، نتيجة لذلك، من الضروري أن تنسق القطاعات الثلاثة عمليات صنع السياسات وكذلك جهودها للتخفيف من تغير المناخ والتكيف معه، وبالتالي فإن الاستراتيجية التي تقلل من المفاضلات وتعزز التآزر القطاعي يجب أن تحل محل السياسات التقليدية وصنع القرار في "الصوامع". يتطلب اعتماد نهج مترابط لإدارة القطاع فهماً أعمق للمفاضلات والمخاطر الموجودة عبر القطاعات المترابطة، فضلاً عن تحليل التفاعلات عبر القطاعات لدعم التخطيط المتكامل واتخاذ القرار.

- **الأمن المائي** أمر بالغ الأهمية في العالم العربي، الذي يعد أحد أكثر أجزاء العالم تضرراً من ندرة المياه، يهدف نهج Nexus إلى تسهيل تحقيق الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، والذي يدعو إلى حصول الجميع على المياه النظيفة والصرف الصحي، وتتناول أهداف التنمية المستدامة الأخرى أيضًا مسألة المياه (مثل 3 و11 و12 و15)، وتتيح الرابطة الأمنية للمنتدى الاقتصادي العالمي التنفيذ الذي يركز على وضع مبادئ وتقنيات الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM) لاستخدامها وتوسيع المعرفة المكتسبة منها.
- **أمن الطاقة** يختلف بشكل كبير بين الدول العربية، سيكون من الممكن دمج المبادرات الإقليمية لدعم مبادرة الطاقة المستدامة للجميع (SEA4ALL) كوسيلة لتعزيز أمن الطاقة وتحقيق الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة، والذي يهدف إلى ضمان حصول الجميع على طاقة حديثة يمكن الاعتماد عليها وبأسعار معقولة، وذلك بفضل نهج الترابط.
- **الأمن الغذائي** يرتبط ارتباطاً مباشراً بتوافر وإمدادات المياه والطاقة في المنطقة العربية، بالنسبة للهدف 2 من أهداف التنمية المستدامة المتمثلة في القضاء على الجوع، فإن تحقيق الأمن الغذائي، وتحسين التغذية، وتعزيز الزراعة المستدامة، تعتبر التجارة التي يمكن الاعتماد عليها والزراعة المستدامة أدوات أساسية.

13.2 الترابط بين الماء والطاقة

الطاقة والمياه من المدخلات الأساسية للتوسع الاقتصادي، من المعروف أن التوسع الاقتصادي والطلب على الطاقة مترابطان (موجز السياسة 2). لكن الماء ضروري لتلبية احتياجات الطاقة، الماء عنصر حاسم في غالبية عمليات إنتاج الطاقة. على سبيل

[27] The Water, Energy and Food Security Nexus in the Arab Region, Economic and Social Commission for Western Asia , UN ESCWA.

المثال، يتطلب إنتاج الوقود الأحفوري المياه للاستخراج والنقل والمعالجة، يتطلب إنتاج الطاقة الكهرو حرارية باستخدام الطاقة النووية أو الوقود الأحفوري أو الطاقة الشمسية المركزة (CSP) المياه للتبريد، يعتمد إنتاج الطاقة الكهرومائية على توافر المياه في الأنهار أو الخزانات، وإنتاج الطاقة من مصادر متجددة مثل الطاقة الشمسية يحتاج إلى المياه لتبريد وتنظيف الألواح أو المجمعات لزيادة الكفاءة، يحدد نوع التكنولوجيا وإمدادات المياه والوقود المستخدم كيف تؤثر الطاقة على جودة وكمية وسحب الموارد المائية، من المتوقع أن تؤثر وعود الطاقة النظيفة التي قُطعت في اجتماع باريس لتغير المناخ في عام 2015 على مسار جديد للنمو في العالم العربي، بالإضافة إلى ذلك، سيقدم صندوق المناخ، الذي من المتوقع أن يخصص 100 مليار دولار أمريكي سنوياً بدءاً من عام 2020 ويستمر في السنوات اللاحقة، حوافز لاستخدام الطاقة المستدامة.

في المقابل، تستقبل شبكة إمدادات المياه مدخلات من عدة مصادر للطاقة، تتطلب عملية استخراج المياه الجوفية وتزويد محطات التحلية بمياهها البحرية / معتدلة الملوحة من أجل إنتاج المياه العذبة وضخ ونقل وتوزيع المياه العذبة وجمع مياه الصرف الصحي ومعالجتها وإعادة استخدامها كلها طاقة، بمعنى آخر، لا يمكن أن يتواجد الماء، وأنظمة التوصيل، ورفاهية الإنسان بدون طاقة، وبشكل أساسي في شكل كهرباء، يُعتقد أن دورة المياه تستهلك 15٪ على الأقل من إجمالي الكهرباء في البلاد في غالبية الدول العربية، وهذه النسبة في ارتفاع مستمر.

الشكل 12 ترابط المياه والطاقة

من المتوقع أن يزداد استخدام التقنيات كثيفة الاستهلاك للطاقة، مثل تحلية المياه أو مضخات المياه الجوفية الأكثر فعالية، بسرعة مع استنفاد موارد المياه العذبة المتاحة بسهولة، تقع غالبية طاقة تحلية المياه في العالم في المنطقة العربية، وبحلول عام 2030، من المتوقع أن تتضاعف هذه القدرة أكثر من خمسة أضعاف، وبحلول عام 2030 من المتوقع أن ينتج عن ذلك زيادة بمقدار ثلاثة أضعاف في إجمالي احتياجات المنطقة من الكهرباء لتحلية المياه، هناك العديد من المخاطر والآثار التي يتعرض لها كل من قطاع الطاقة والمياه على أمن كل منهما، نظراً للدور المهم الذي يلعبه قطاع الطاقة في سلسلة قيمة المياه، فإنهم يميلون أكثر نحو الوضع الأخير في العالم العربي.

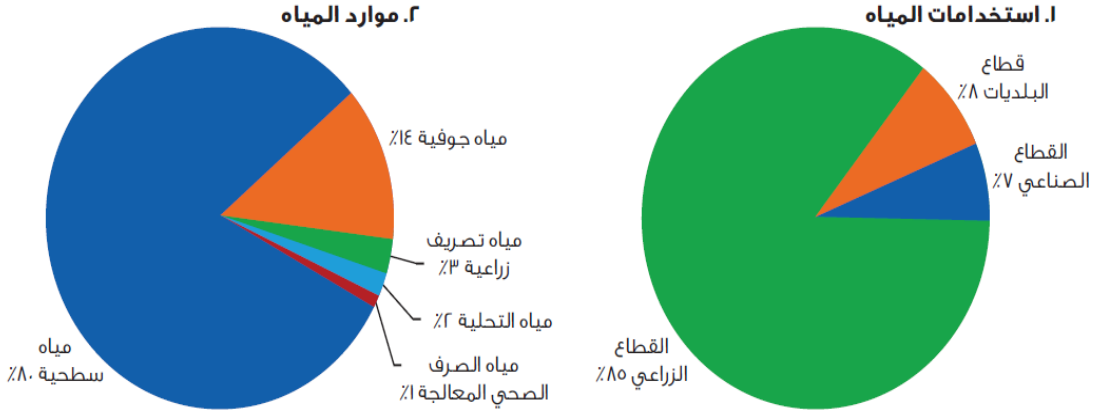
سيكون لتكلفة مدخلات الطاقة في إنتاج المياه التأثير الأكبر على الدول العربية، حيث تلعب تحلية المياه دوراً متزايد الأهمية، لا سيما في دول مجلس التعاون الخليجي، تمثل تكاليف الطاقة جزءاً كبيراً من تكلفة تحلية المياه، حيث تمثل أكثر من 50٪ من التكلفة الاقتصادية لمنشآت تحلية المياه.

لقد حظي الانتقال نحو تقنيات الطاقة المتجددة لتحلية المياه في المنطقة ببعض الدراسة والاعتبار، يبدو أن أحد أفضل الاحتمالات هو إنتاج الكهرباء وتحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية المركزة، تتمتع المنطقة بإمكانيات هائلة للطاقة المتجددة، والتي يجب استخدامها للمساعدة في معالجة مشكلة المياه الحالية.

13.3 عوامل الربط بين الماء والغذاء والطاقة في المنطقة العربية

تؤثر العديد من العناصر البيئية والديموغرافية والاجتماعية والاقتصادية على الترابط بين الماء والطاقة والغذاء في المنطقة العربية، الأمر الذي لا يزيد من تكثيف الترابط بينها فحسب، بل يزيد أيضاً من مخاطرها.

- **التركيبة السكانية وأنماط الاستهلاك**: لا يزال الوقود الأحفوري هو المصدر الرئيسي للطاقة في المنطقة، للوصول إلى الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة، الذي يدعو إلى تحسين كفاءة الطاقة، تعهدت 195 دولة بتبني اقتصاد منخفض الكربون مع آثار بيئية أقل وذلك في قمة المناخ بباريس خلال COP21 في ديسمبر 2015. ونتيجة لذلك، يجب أن يتغير هذا الاتجاه، كما تعتبر الاقتصادات العربية من بين أقل الاقتصادات كفاءة على مستوى العالم عند مقارنتها بناءً على الاتجاهات والأنماط الحالية لاستهلاك الطاقة، على عكس العديد من الدول الأوروبية، لم يشهد العالم العربي فصلًا بين النمو الاقتصادي والطلب على الطاقة خلال السنوات العشر الماضية، على مدى السنوات العشر الماضية، زاد استهلاك الطاقة بسرعة أكبر من الاقتصاد. شهدت جميع الدول العربية زيادة حادة في الطلب على المياه على مدى العقود الثلاثة الماضية نتيجة لزيادة عدد السكان والتحضر، وارتفاع مستويات المعيشة، والتنمية الصناعية، ومبادرات تعزيز الاكتفاء الذاتي الغذائي، بين منتصف التسعينيات وعام 2010، ارتفع إجمالي الطلب على المياه في المنطقة العربية في جميع القطاعات بشكل كبير، من حوالي 190 مليار متر مكعب إلى حوالي 255 مليار متر مكعب. 85٪ من موارد المنطقة المائية تستخدم للزراعة، في حين يستخدم قطاعي البلديات والصناعة 8٪ و7٪ من إجمالي إمدادات المياه، على التوالي.



الشكل 13 الموارد المائية واستخدامات المياه في المنطقة العربية (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي ، 2013)

- **عوامل اقتصادية**: الطاقة والغذاء والماء مترابطة في شبكة معقدة، سياسات الدعم في أحد القطاعات لها تأثير كبير على القطاعين الآخرين بسبب الترابط الوثيق بينهما، على سبيل المثال، يتأثر استخدام المياه للإنتاج الزراعي بسياسة الطاقة والإعانات، عادة ما يتم دعم القطاعات الثلاثة وهي المياه والكهرباء والغذاء بشكل كبير في العالم العربي، بالإضافة إلى ذلك، تتبنى العديد من الدول العربية نظام دعم شامل، يُعرف أيضاً باسم الإعانات الشاملة المشتركة، والتي تفيد الأثرياء على حساب الفقراء ولا تشجع على الحفاظ على الموارد (موجز السياسة 4). يعد تصميم السياسات المناصرة للفقراء و "التعامل مع غير المتكافئين" من أهم إصلاحات السياسة التي يجب أخذها في الاعتبار.
- **تغير المناخ وتقلبه**: من المتوقع أن تؤدي تأثيرات تغير المناخ إلى زيادة صعوبة تلبية الطلب المتزايد على الغذاء والطاقة والمياه، من المتوقع أن يكون للطقس المتقلب وأنماط هطول الأمطار المتغيرة، وارتفاع درجات الحرارة، وارتفاع مستوى سطح البحر، والعديد من مظاهر تغير المناخ الأخرى تأثير على إنتاج الغذاء، والقدرة على تجديد المياه واستهلاكها، وإنتاج الطاقة واستهلاكها (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007؛ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ، 2014). يمكن أن تعاني القطاعات الثلاثة من ضغوط شديدة من آثار تغير المناخ من حيث توافر الموارد، وتقديم الخدمات، وتوثيق الروابط، نتيجة لذلك، إذا لم يتم تنسيق تدابير التكيف بشكل صحيح في نهج الترابط وتنفيذها من قبل المؤسسات المرتبطة بشكل مناسب، فقد يكون لسياسات المناخ تأثير على أمن المياه والطاقة والغذاء، وبالتالي، فإن السياق الثلاثي للطاقة والغذاء والأمن المائي يدعمه تغير المناخ.
- **الابتكار التكنولوجي:** نظراً لنقص المياه والكهرباء والغذاء بالإضافة إلى المنافسة، ساعدت الحلول التكنولوجية في معالجة العديد من المخاوف المرتبطة بالمنتدى الاقتصادي العالمي، في قطاعات المياه والطاقة والغذاء، يمكن أن يؤدي

اعتماد تقنيات جديدة ومناسبة إلى زيادة كفاءة الموارد ودعم أمنها واستدامتها، تتضمن بعض الأمثلة على هذه القوى الدافعة بين المكونات الثلاثة المترابطة والتكنولوجيا إدخال الطاقة المتجددة وزيادة كفاءة الطاقة والزراعة الحديثة والدقيقة وإعادة تدوير المياه وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي.

13.4 الاحتياجات البشرية وأهداف التنمية المستدامة

تم تحديد العناصر الثلاثة للرابطة الأمنية للمنتدى الاقتصادي العالمي بوضوح في أهداف التنمية المستدامة (SDGs)، التي تم الاتفاق عليها في سبتمبر 2015 من قبل 193 دولة عضو في الأمم المتحدة، بما في ذلك جميع الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية.

أهداف التنمية المستدامة الثلاثة هذه هي الهدف الثاني بشأن الأمن الغذائي، والهدف السادس بشأن المياه والصرف الصحي، والهدف السابع بشأن الطاقة، بمعنى آخر، يعتبر الوصول إلى الموارد مثل الماء والكهرباء والغذاء حقاً أساسياً من حقوق الإنسان. بالإضافة إلى ذلك، يجب التعامل مع أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر "كحزمة واحدة" وليس بشكل منفصل، يوضح هذا كيف تم استيعاب طريقة WEF-Nexus، التي تمنع تحقيق أمن واحد على حساب الآخرين، (موجز السياسة 4).

وهذا يؤكد على أهمية استراتيجية رابطة المنتدى الاقتصادي العالمي ومنظورها والدور الحاسم الذي قد يلعبه في صياغة السياسات لإعمال حقوق الإنسان والتنمية المستدامة في نهاية المطاف، يتم تحقيق أهداف التنمية المستدامة بشكل أكثر نجاحاً من خلال استراتيجية متكاملة من خلال فهم الروابط بين العناصر البيئية والاجتماعية والاقتصادية للتنمية المستدامة، نهج الأنظمة الشاملة لمفهوم الرابطة الأمنية للمنتدى الاقتصادي العالمي هو حجر الزاوية في أهداف التنمية المستدامة، يمكن أن تساعد في هذا الاتجاه من خلال توفير الإطار الأساسي لتثقيف (وتغيير) السياسات وعمليات صنع القرار حول التآزر المحتمل وسيناريوهات المكاسب المشتركة لتحقيق التنمية المستدامة.

13.5 مجالات الفرص المترابطة بين الماء والغذاء والطاقة

نظراً لأن خيارات الكفاءة التي يمكن الوصول إليها لها تكلفة وحدة أقل من زيادة العرض، وقد تؤدي إلى مستوى من الفوائد يتجاوز التكلفة اللازمة لإجراء هذه الخيارات، فإن تحسين الكفاءة والإنتاجية يكون أكثر فعالية من حيث التكلفة من زيادة القدرة على التوريد، على سبيل المثال ، في دول مجلس التعاون الخليجي ، حيث تحلية المياه هي الطريقة الأساسية المستخدمة لإمدادات المياه البلدية، وتقليل إنتاج محطات تحلية المياه أو تأجيل توسيع طاقتها من خلال سن تدابير كفاءة المياه، مثل تقليل تسرب شبكة التوزيع أو تركيب توفير المياه، كل هذا من شأنه أن يؤدي إلى انخفاض مباشر في الأصول المستخدمة لإنتاج موارد الطاقة الطبيعية (النفط والغاز).

تشمل هذه المجالات المحتملة:

- تحسين تماسك السياسات من خلال السياسات المتكاملة والتعاون عبر القطاعات والتفكير غير المنعزل.
- زيادة الوصول إلى الضروريات بما في ذلك المياه الأساسية والغذاء والكهرباء مع مراعاة المعايير القائمة على حقوق الإنسان.
- زيادة الإنتاجية وتكثيف الجهود بشكل مستدام لخلق المزيد بموارد أقل.
- القضاء على الهدر وتقليل الخسائر: لتحقيق وفورات بيئية كبيرة، وتقليل النفايات عبر سلاسل التوريد.
- قيمة البنية التحتية الطبيعية: الاستثمار في الوظائف المتعددة للنظم البيئية.
- زيادة تأثير المستهلك من خلال إشراك المستهلكين بنشاط لتغيير سلوكهم والتأثير على كيفية إدارة الشركة.

13.6 دراسات الحالة

13.6.1 برنامج مصدر للطاقة المتجددة لتحلية المياه، الإمارات العربية المتحدة

في المناطق الجافة مثل الإمارات العربية المتحدة، لطالما كانت تحلية المياه المصدر الرئيسي لمياه الشرب (الإمارات العربية المتحدة). لما يقرب من 50 عاماً، على سبيل المثال، كانت تحلية المياه مصدراً موثوقاً للمياه العذبة للتوسع السكاني والاقتصاد في منطقة الخليج، بدون التطوير والتطبيق المتزامن لتحلية المياه، لم يكن من الممكن تصور أي تنمية اجتماعية أو صناعية كبيرة

في هذا المجال، لا شك أن اقتصاد منطقة الخليج وأسلوب العيش يعتمدان على تحلية المياه، يعادل إجمالي السعة المركبة في هذه المنطقة حوالي 40٪ من قدرة المياه المحلاة في العالم، وتعتمد بعض البلدان في المنطقة على تحلية المياه لإنتاج 90٪ أو أكثر من مياه الشرب الخاصة بها.

تُستخدم تحلية المياه الآن لحل مشكلات المياه في مناطق أخرى غير المناطق الجافة التقليدية في الدول العربية، تولي صناعة تحلية المياه أيضاً اهتماماً متزايدًا لتقليل استهلاك الطاقة وتعزيز المسؤولية البيئية في ممارساتها منذ أن أصبحت تحلية المياه طريقة شائعة في إدارة موارد المياه في العديد من مناطق العالم.

كانت هذه الجهود ناجحة، حيث انخفض استهلاك الطاقة بالكامل لتحلية المياه بنسبة تقارب 50٪ خلال العقدين الماضيين، ومع ذلك، لا يزال يتعين القيام بعمل كبير من أجل جني الفوائد الهائلة، تتجه تقنية تحلية المياه نحو خيارات أكثر فاعلية وصديقة للبيئة وكذلك نحو تحسين الطاقة بسبب التحول البطيء، ولكن المستمر في المنظور والوعي البيئي.

من أجل زيادة الأمن المائي، وتقليل الآثار السلبية لعملية تحلية المياه على البيئة، وخفض سعر المياه المنتجة، التزمت أبوظبي ومصدر بتقليل كثافة الطاقة في تحلية المياه وتشغيل تقنيات تحلية المياه بالموارد المتجددة الوفيرة في المنطقة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية.

في يناير 2013، بدأت "مصدر" برنامج تحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة ("البرنامج") بعد الحصول على موافقة حكومة أبو ظبي، من أجل توفير الأمن المائي وخفض استهلاك الطاقة في هذا القطاع من أجل تحقيق أهداف خفض الطاقة في دولة الإمارات العربية المتحدة، وجه هذا التفكير المستقبلي مصدر لتطوير وعرض تقنيات حديثة ومبتكرة لتحلية المياه، ستؤثر عدة متغيرات على كيفية استخدام الطاقة المتجددة لتحلية المياه في المنطقة، وتشمل هذه القدرة على بناء قاعدة صلبة من الدعم من الباحثين والمستثمرين والحكومات وكذلك إنجاز وضع السياسات التي تعزز بشكل كبير هذا التطبيق على أساس مستمر، في هذا الصدد، يهدف برنامج مصدر إلى تحويل صناعة تحلية المياه إلى نموذج أكثر استدامة من خلال تسهيل تجريب الابتكارات الجديدة في هذا المجال، بما في ذلك تلك التي تعتمد على التقنيات الحالية وتلك التي تنفذ مفاهيم جديدة بالكامل ويحتمل أن تكون ثورية.

يتكون البرنامج من مرحلتين:

- المرحلة الأولى (2013-2016): تطوير وإيضاح أنظمة تحلية المياه على نطاق صغير وموفرة للطاقة، سيتم إنشاء أربعة مصانع تجريبية وتشغيلها في غنتوت، أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة. لإثبات الأداء الموثوق للتكنولوجيات المطورة، يجب تشغيل المحطات التجريبية بشكل مستمر لمدة 18 شهراً على الأقل.
- المرحلة الثانية (بعد عام 2017): تركيب تقنية تحلية المياه المطورة الموفرة للطاقة في منشآت كبيرة لتحلية المياه المالحة مدعومة بالكامل بمصادر طاقة متجددة.

الفوائد الرئيسية للبرنامج لدولة الإمارات العربية المتحدة هي:

- زيادة كفاءة الطاقة في محطات التحلية القادمة.
- تنويع مصادر الطاقة وزيادة أمن الطاقة.
- انخفاض أسعار المياه المحلاة.
- انخفاض الأثر البيئي لتحلية المياه.
- دعم مبادرة دولة الإمارات العربية المتحدة لتعزيز مكانتها كرائدة في التنمية المستدامة.

13.6.2 مبادرة الملك عبد الله لتحلية المياه بالطاقة الشمسية، المملكة العربية السعودية

الشكل 14 الخفجي لتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي باستخدام الطاقة الشمسية[28]

إن استخدام مصادر الطاقة التقليدية لتحلية المياه له تكلفة فرصة، يمكن أن يساعد WEF Nexus في الحفاظ على الطاقة لاستخدامات أخرى، يتم تخزين 18٪ من سعة المياه المحلاة في العالم في المملكة العربية السعودية، تدير المملكة العربية السعودية منشآت تحلية باستخدام ما يعادل 300000 برميل من النفط يومياً، وتنتج 3.3 مليون متر مكعب من المياه من المحطات التي تديرها المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة (SWCC).

لا يشمل هذا الرقم استخراج المياه الجوفية أو الزيت المستخدم في محطات تحلية المياه التي لا تديرها الدولة، بسبب التوسع السكاني السريع، من المتوقع أن يرتفع استهلاك النفط، سيؤدي ذلك إلى انخفاض صادرات النفط وبالتالي انخفاض الأرباح، مما يمثل خسارة في الإمكانات، نتيجة لذلك، حددت المملكة العربية السعودية هدفاً وطنياً لتوليد نصف الطاقة في البلاد من مصادر متجددة بحلول عام 2020. ولجعل الطاقة المتجددة قابلة للحياة في سوق الطاقة المفتوحة، يتم دعم التحول إلى الطاقة المتجددة من خلال الحوافز المالية والإعانات.

وقد أطلق الملك عبد الله مبادرة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية، خلال السنوات من 2010 إلى 2019، كان هدف الدولة هو استخدام الطاقة الشمسية لتحلية المياه، ومن المتوقع أن يؤدي هذا الجهد إلى خفض تكاليف إنتاج المياه المحلاة.

ستحصل مدينة الخفجي في شمال شرق المملكة العربية السعودية على 60 ألف متر مكعب / يوم من مياه الشرب من المنشأة، مما يضمن إمدادات مياه موثوقة طوال العام. هذا المشروع هو الأول عالمياً لأنه يشتمل على منشأة بها مجموعة شمسية بقدرة 15 ميجاوات مصنوعة من الخلايا الشمسية متعددة الكريستالات التي صممها KASCT، وستكون المنشأة قادرة على توفير الطاقة

[28] Water technology net: http://www.water-technology.net/projects/al-khafji-solar-saline -water-reverse-osmosis-solar-swro-desalination-plant/

اللازمة لعملية تحلية المياه بالتناضح العكسي، وبالتالي خفض نفقات التشغيل وانبعاثات غازات الدفيئة، مع هذا المشروع هناك فرص كبيرة للحفاظ على الوقود الأحفوري، وخفض انبعاثات الكربون، وتوفير إمدادات مياه موثوقة.

توضح دراسات الحالة التي تم تقديمها أن المشاريع التجريبية المتعلقة بالعلاقة بين الماء والغذاء والطاقة في المنطقة العربية يمكن توسيع نطاقها وتكرارها بنجاح، ويجب أن تساعد هذه الحالات في إعلام السياسة العامة وتغييرها من حيث الحوافز المالية، والمبلغ المستثمر في العلاقة، والمعلومات الجديدة من أجل الاستدامة. بالإضافة إلى ذلك، تقدم دراسات الحالة هذه دليلاً على أهمية ارتباط العلم والسياسة.

14 دور بناء القدرات في تحلية المياه بالطاقة المتجددة

على مدى العقد الماضي، عبر مجتمع تحلية المياه عن الحاجة إلى برامج أقوى لبناء القدرات في المنطقة، أو على الأقل على المستويات الوطنية، حيث كان هناك حملات ضخمة في دول مجلس التعاون الخليجي، لتوطين القدرات والتقنيات وجعل صناعة تحلية المياه بإدارة السكان المحليين. ترتبط هذه الاحتياجات المعلنة، بدورها، بالاحتياجات المتزايدة لسوق المياه. يمثل نقص العمالة المؤهلة مصدر قلق خطير في المنطقة العربية. تفتقر غالبية هذه البلدان إلى مرافق التدريب أو البرامج المنظمة لتدريب الموظفين اللازمين. يوفر منشئو المصانع التدريب في المقام الأول في الموقع أو لفترة وجيزة في الخارج.

تبنت بعض الجامعات بعض البرامج الأكاديمية وقدمت دورات قصيرة وورش عمل في تحلية المياه. كما قامت مؤسسات أخرى بإنتاج تدريب على شبكة الإنترنت لمجتمع تحلية المياه. ومع ذلك، لا يمكن لهذه المبادرات أن تعوض عن الحاجة إلى تدريب مؤسسي حقيقي وتعليمي. بناء القدرات مطلوب بشكل حاسم على جميع المستويات، بما في ذلك المشغلين، والمعلمين، والأكاديميين، والإدارة. سيتطلب الوصول إلى هذا الهدف مبادرات تدريبية أكثر تركيزًا في تقنيات تحلية المياه، بما في ذلك المفاهيم والممارسات والتشغيل والصيانة والتصميم وإدارة الموارد البشرية والبحث والتطوير. برنامج مثل هذا مطلوب ليس فقط لإدارة وتعزيز المصانع الحالية، ولكن أيضًا لتطوير تقنيات مستدامة جديدة.

يساهم نهج مركز الشرق الأوسط لأبحاث تحلية المياه (MEDRC) في تعزيز الموارد البشرية والخبرات في المنطقة من خلال التدريب والتعليم الأكاديمي والبحث والتطوير بشكل كبير في الجهود الوطنية في عمان وكذلك الجهود الإقليمية، في المقام الأول في فلسطين والأردن.[29] MEDRC هي منظمة دولية مكلفة بإيجاد حلول لمشكلة ندرة المياه العذبة. تأسست في عام 1996 وتقوم بإجراء البحوث والتدريب والتعاون الإنمائي ومبادرات المياه العابرة للحدود. يقع مقر MEDRC في مسقط، سلطنة عمان، حيث يدير مركز أبحاث متطور يتضمن مرافق تحلية المياه والمختبرات وقاعات المحاضرات والمكاتب الإدارية. يعتزم MEDRC أن يصبح أداة قابلة للتطبيق وقابلة للتحويل للحكومات التي ترغب في حل المخاوف البيئية الإقليمية أو العابرة للحدود في تنفيذ الغرض منها.

يوفر برنامج التدريب في MEDRC تدريبًا متخصصًا عالي الجودة للمهندسين والموظفين المحترفين الذين يقومون أو سيعملون على تشغيل مرافق تحلية المياه أو محطات معالجة مياه الصرف الصحي. الخبرة التكنولوجية مطلوبة للتشغيل الفعال لمحطات تحلية المياه. يتم الجمع بين تعليم الفصول الدراسية في الجوانب الأكاديمية للتقنيات مع التدريب العملي على معالجة المياه. يتم تنظيم المناهج الدراسية إلى مستويات، حيث يستهدف كل مستوى وظائف الموظفين التي تتراوح من مستوى الدخول (الوافدون الجدد والطلاب) إلى المستوى الثالث (المهندسين والمصممين). يمكن تصميم التدريب ليلائم احتياجات الشركات التي تدير مرافق تحلية المياه في عمان وأماكن أخرى في المنطقة العربية.

في عام 2016، طور MEDRC برنامج "تحلية"، وهو برنامج تدريب مهني ناجح لتحلية المياه يهدف إلى تدريب الشباب العماني على تحلية المياه بالتناضح العكسي تحت رعاية شركة BP. يسعى برنامج "تحلية" إلى تطوير مجموعة من العمالة المؤهلة القابلة للتوظيف للمساعدة في تلبية احتياجات القوى العاملة في قطاع تحلية المياه المزدهر في البلاد. يتم استخدام استراتيجية تنموية

[29] www.medrc.org

ثلاثية المستويات لتزويد الطلاب بتعليم أكاديمي وعملي قوي مع تعريفهم أيضًا بمرافق وعمليات تحلية المياه في العالم الحقيقي. وضع MEDRC هدفا طموحا للبرنامج: لمساعدة عمان في تشغيل جميع مرافق تحلية المياه من قبل العمانيين في ثلاث سنوات.

الشكل 15 مقر MEDRC في مسقط ، سلطنة عمان

يعد وجود موظفين مؤهلين جيدًا وذوي خبرة في هذا المجال شرطًا أساسيًا ضروريًا لأعمال تحلية المياه الراسخة. والتوصية الأكثر أهمية في هذا الصدد هي إنشاء مراكز تدريب وتعليم أو تدريب موظفي القطاع في المؤسسات الأكاديمية. يجب أن تغطي برامج التعليم المثالية جميع تقنيات تحلية المياه والموضوعات ذات الصلة، مع التركيز على بعض التقنيات المحددة التي تختلف وفقًا لاحتياجات الدولة وخصائصها. يجب أن تكون قابلة للتكيف وديناميكية، مما يسمح بالتقدم التكنولوجي والتعديلات المستقبلية. يجب تقديم البرنامج بطريقة مفهومة ويلبي احتياجات عدد كبير من السكان.

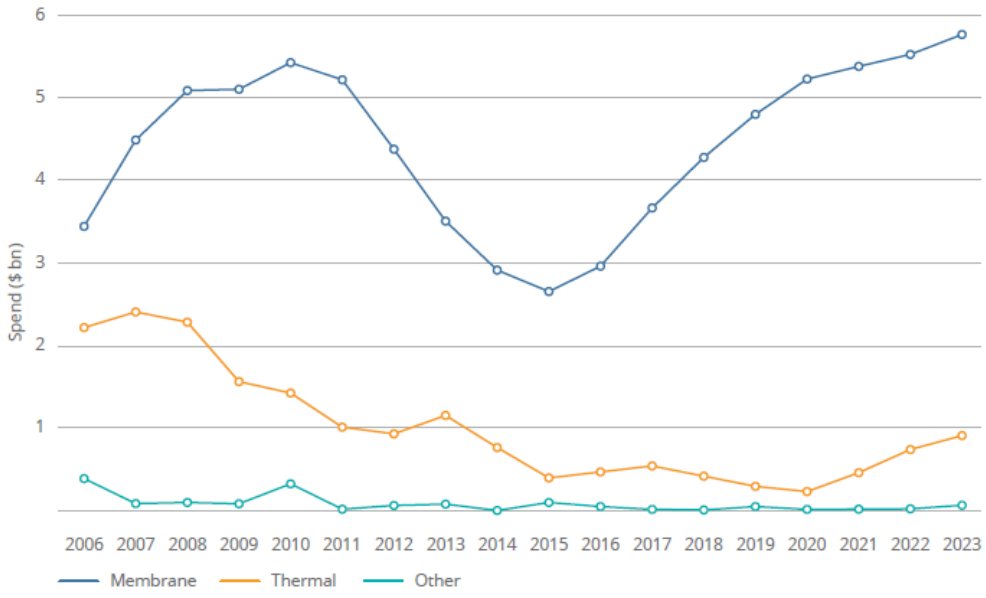
15 دور الابتكار وتوطين التكنولوجيا

أدى التقدم في التكنولوجيا ومكونات أنظمة تحلية المياه إلى تقليل حوالي 80 ٪ من الطاقة المستخدمة لإنتاج المياه العذبة على مدار العشرين عامًا الماضية. فيما يتعلق بالتقدم في تقنية تحلية المياه، نقترب من حدود الديناميكا الحرارية، وأصبحت أغشية SWRO الآن أصغر بكثير وأكثر إنتاجية وأكثر انتقائية وأرخص من النماذج الأولية الوظيفية. لم تحقق تقنيات المعالجة التقليدية، مثل المعالجة المسبقة للترسيب والترشيح، سوى تقدم طفيف منذ إدخالها في معالجة المياه منذ عدة قرون؛ ومع ذلك، يتم إدخال أغشية جديدة وأكثر كفاءة لتحلية المياه وأغشية حرارية مبتكرة أو تقنيات تحلية هجينة وتحسينات للمعدات كل بضع سنوات.

من المرجح أن يؤدي الانخفاض المستمر في تكاليف الإنتاج، إلى جانب ارتفاع تكاليف معالجة المياه نتيجة المتطلبات التنظيمية الأكثر صرامة، إلى تسريع الاتجاه الحالي المتمثل في زيادة الاعتماد على المحيط كمصدر للمياه. سيؤدي ذلك إلى ترسيخ تحلية مياه المحيطات كخيار يمكن الاعتماد عليه ومقاوم للجفاف للعديد من المدن الساحلية في جميع أنحاء العالم. من المتوقع أن تكون المياه المحلاة أرخص بنسبة 20٪ في السنوات القليلة القادمة، وأرخص بنسبة تصل إلى 60٪ في السنوات العشرين التالية، مما يجعلها منافسًا فعالًا من حيث التكلفة لإنتاج مياه الشرب.

من المتوقع أن يكون للتحسينات في الأغشية، مثل أغشية الجرافين والمواد النانوية الأخرى، تأثيراً على أعمال تحلية المياه. ومع ذلك، لم يتم تحسين التقنيات الحالية للاستخدام الكامل للانتقائية والنفاذية الفائقة للجرافين. لجني الفوائد الكاملة من الجرافين، على سبيل المثال، هناك حاجة إلى تقنيات جديدة لتحلية المياه. قد تستغرق هذه العملية أكثر من بضع سنوات.

ومع ذلك، ستستمر تقنيات الأغشية بلا شك في السيطرة على الصناعة في السنوات القادمة (الشكل 16). يمكننا أن نرى بوضوح كيف تجاوزت تقنيات الأغشية التقنيات الحرارية، ومن غير المرجح أن ينعكس هذا الاتجاه في السنوات القادمة.



الشكل 16 النفقات المالية حسب نوع التحلية من 2006 إلى 2023[30]

[30] GWI 2018: IDA Desalination Yearbook 2018.

16 خاتمة وتوصيات

تعد تحلية مياه البحر أمرًا حيويًا للدول العربية، ومن المتوقع أن ينمو اعتمادها على هذا المصدر بشكل متسارع في العقد القادم. لن يكون هذا النمو ممكنًا إلا من خلال الاستمرار في تحسين استدامة التقنيات ذات الصلة. ولا يمكن اعتبار تحلية المياه بشكل معقول استراتيجية تكيف جديرة بالاهتمام إلا إذا تأكدنا من التصميم المناسب وتقليل الآثار البيئية وتوليد الكهرباء من مصادر الوقود غير الأحفوري.

تحتاج الدول العربية إلى توطين المعرفة والتكنولوجيا في مجال تحلية المياه بالطاقات المتجددة. حاليًا، ليس هناك عدد كافٍ من الموظفين المؤهلين لتشغيل وصيانة وإدارة محطات تحلية المياه الحديثة ، بما في ذلك محطات تحلية المياه بالطاقة الشمسية. هذا يحتم أهمية الاستثمار في التدريب ونقل المعرفة وبناء القدرات.

من خلال تصميم الحوافز المناسبة ، يمكن للحكومات جذب الاستثمارات المحلية لتصنيع المكونات الحيوية وتوطين الابتكارات المحلية لتحقيق الاستدامة الاقتصادية. ومع ذلك ، يجب ألا تستمر الشركات الحكومية في بناء وتشغيل محطات تحلية المياه كما كان من قبل ؛ يجب اتخاذ خطوات لجذب المستثمرين المحليين باستخدام أهداف محددة للمنتجات المنتجة محليًا والقوى العاملة ولإدارة هذه الأصول لتقليل تكلفة دورة حياة المياه والأثر البيئي.

مثل الشركات الخاصة ، يجب على المؤسسات الحكومية أن تقدر الطاقة بأسعار السوق العالمية وأن تقدم حوافز لإدارات البحث والتطوير الداخلية لتعزيز الابتكارات في التكنولوجيا والتشغيل. لذلك يوصى بإنشاء مرصد إقليمي عربي بهدف زيادة التعاون وتبادل المعرفة بين الدول العربية في مجال تقنيات تحلية المياه لتبني أفضل تقنيات تحلية المياه وأكثرها استدامة لتلبية الطلب المتزايد على المياه. يمكن أن نقتصر على الأهداف المحددة: تعزيز توطين تحلية المياه ، خاصة تحلية المياه المتجددة والمستدامة ؛ تنظيم منتدى سنوي لأصحاب المصلحة يمكنه تحديد الأولويات وتسهيل تبادل المعرفة وأنشطة بناء القدرات ؛ > تقديم مشورة علمية مستقلة لحكومات منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بشأن أفضل الخيارات للتكنولوجيات والأصول المالية ومشروعات تحلية المياه الخاصة بها ؛ > مساعدة صانعي القرار الرئيسيين في تخطيط مشاريع تحلية المياه. > تقييم إمكانات تحلية المياه بما في ذلك التكلفة الاقتصادية والبيئية والاجتماعية ؛ توفير الخبرة والمساعدة عند الحاجة وتعزيز أفضل الممارسات ؛ > تعزيز الابتكار ونقل المعرفة بين الدول العربية ؛ ،تقديم الدعم الاستشاري والمساهمة في السياسات الوطنية والإقليمية لتحلية المياه. ،مساعدة دول المنطقة على تأمين إمدادات المياه. وستلعب دورًا استباقيًا في مساعدة صانعي القرار في الدول العربية بشأن تحلية المياه والحكومات والخبراء على البقاء في الطليعة ، وبناء الخبرات وإظهار الريادة في مجال معالجة المياه والأثر البيئي. > دعم مراكز التكنولوجيا والمجمعات العلمية الموجودة في الدول العربية ؛ > توسيع ودعم برامج التدريب الفني والمهني في مجال تحلية المياه والطاقات المتجددة ؛ ،إنشاء تخصصات تعليمية واسعة وشراكات اجتماعية في تحلية ومعالجة المياه باستخدام الطاقات المتجددة. زيادة التعاون الإقليمي في مجال البحث والتطوير لضمان أن تصبح المنطقة العربية مركزًا للابتكار في تكنولوجيا تحلية المياه بالطاقات المتجددة.

على الرغم من كونها تقنية كثيفة الاستخدام للطاقة ، فإن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تصنف تحلية المياه على أنها "خيار تكيف" وهو أمر مهم بشكل خاص للدول العربية وخاصة في البلدان ذات الناتج المحلي الإجمالي المرتفع والتي يمكن أن يبرر فيها الأمن المائي الاستثمارات في تقنيات تحلية المياه بالطاقات المتجددة.

لا يكمن ابتكار تحلية المياه في المكون التكنولوجي فحسب ، بل في إمكانية استخدامها كجسر بين الدول. مع استمرار تغير المناخ والنمو السكاني في الضغط على موارد المياه المحدودة للأرض ، نأمل أن نحقق خطوات كبيرة في تحلية المياه وتقنيات المياه الأخرى لتلبية الطلب العالمي المتزايد على المياه في دولنا العربية.

من شأن الاهتمام المتزايد في الدول العربية بالتحول المستقبلي نحو اقتصاد الهيدروجين الأخضر، وتسريع مسار الانتقال الطاقي أن يعزز الاهتمام والاستثمار في تحلية المياه بالطاقات المتجددة. فلإنتاج كيلوغرام واحد من الهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقات المتجددة تلزمنا 9 لترات من المياه النقية، وبالتالي من المتوقع تضاعف اللجوء لتحلية المياه كحل لتوفير المياه الضرورية لتشغيل المحللات الكهربائية. ومن ثم ضرورة وضع استراتيجية عربية بخصوص الهيدروجين الأخضر تضع في حسبانها تقنيات تحلية المياه باستخدام الطاقات المتجددة.

17 المراجع

- Abouelnaga, Mahmoud 2019: Why the MENA region needs to better prepare for climate change, Atlantic Council, 7 May 2019, in: https://www.atlanticcouncil.org/blogs/menasource/why-the-mena-region-needs-to-better-prepare-for-climate-change.
- United Nations Department of Public Information 2011: Security Council, in Statement, Say 'Contextual Information' on Possible Security Implications of Climate Change Important When Climate Impacts Drive Conflict, 20 Jul 2011, in: https://www.un.org/press/en/2011/sc10332.doc.htm.
- United Nations University 2013: Water Security and the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief, Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH), in: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:2651/Water-Security-and-the-Global-Water-Agenda.pdf.
- Arab Future Energy Index (AFEX) 2022 | Renewable Energy
- Kalogirou, Soteris A. 2005: Seawater desalination using renewable energy sources. Desalination
- Stanley, Bruce 2019: Why Making Seawater Drinkable Doesn't Thrill Everyone, Bloomberg, 7 Mar 2019, in: https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-07/why-making-seawater-drinkable-doesn-t-thrill-everyone-quicktake.
- Ghaffour, Noreddine / Missimer, Thomas M. / Amy, Gary L. 2013: Technical review and eva¬luation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability, Desalination 309, Jan 2013, pp. 197 – 207.
- Regional Study: "Desalination as an alternative to alleviate water scarcity and a climate change adaptation option in the MENA region", MEDRC, KAS – REMENA
- Shahzad, Muhammad W. / Burhan, Muhammad / Ybyraiymkul, Doskhan / Choon Ng, Kim 2019: Desalination Processes' Efficiency and Future Roadmap, Entropy 2019, 21, 84, 18 Jan 2019, in: https://doi.org/10.3390/e21010084.
- IEA-ETSAP and IRENA, Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/IRENA-ETSAP-Tech-Brief-I12-Water-Desalination.pdf
- Water desalination technologies powered by conventional and renewable energy sources, Kamilia Youssef Mohamed, 2022.
- Werft, Megan 2016: Is Desalination the Answer to Water Shortages?, Global Citizen, 1 Sep 2016, in: https://www.globalcitizen.org/en/content/is-desalination-the-answer-to-water-shortages.
- Ghaffour, Noreddine 2009: The challenge of capacity-building strategies and perspectives for desalination for sustainable water use in MENA, Desalination and Water Treatment 5, May 2009, pp. 48 – 53.
- GWI 2018: IDA Desalination Yearbook 2018.
- GWI 2019: IDA water security handbook 2019 – 2020.
- Asaba, Baset 2019: Dubai Turns To Renewable Energy For Water Production, Middle East Utilities, 15 Apr 2019, in: https://www.utilities-me.com/news/12597-dubai-turns-to-renewable-energy-for-waterproduction.

- UNICEF, State of Palestine: https://www.unicef.org/sop/reports/sea-water-desalination-plant#:~:text=Seawater%20desalination%20is%20energy%20intensive,operates%20using%20emergency%20diesel%20generators.
- Almulla Asam / Hamad Ahmad / Gadalla, Mohamed 2005: Integrating hybrid systems with existing thermal desalination plants, Desalination, Apr 2005, 174:2, pp. 171 – 192.
- FAO 2004: Water Desalination for agricultural applications, Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications, 26 – 27 April 2004, Rome.
- https://www.weforum.org/agenda/2022/12/desalination-process-freshwater-negative-environmental-cost/
- https://www.iea.org/commentaries/desalinated-water-affects-the-energy-equation-in-the-middle-east
- The Water, Energy and Food Security Nexus in the Arab Region, Economic and Social Commission for Western Asia , UN ESCWA.
- Water technology net: http://www.water-technology.net/projects/al-khafji-solar-saline -water-reverse-osmosis-solar-swro-desalination-plant/
- www.medrc.org
- https://u.ae/ar-ae/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-and-energy/uae-energy-strategy-2050