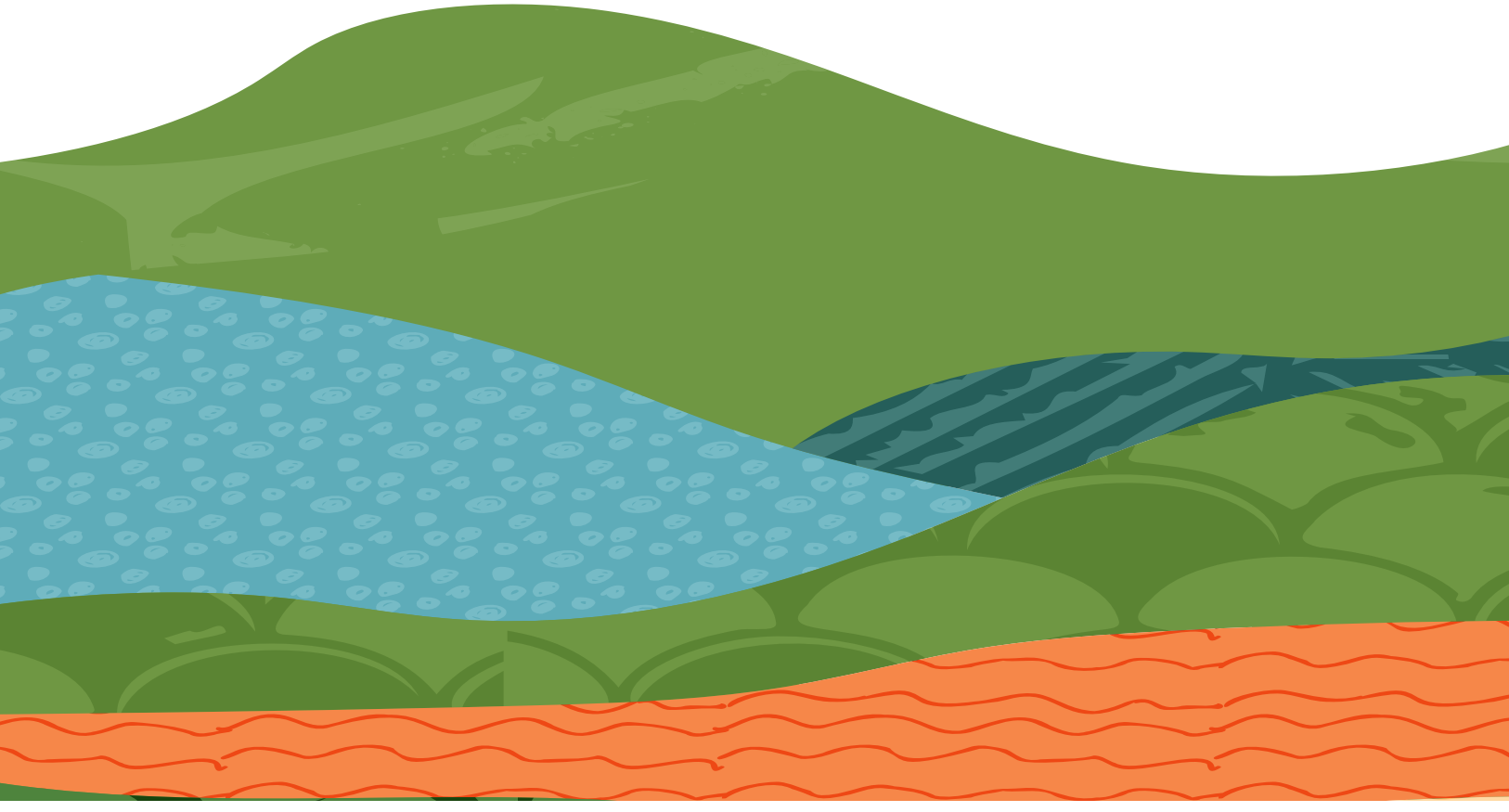
المجلس الوزاري العربي المشترك للمياه والزراعة

وضع المياه قليلة الملوحة في المنطقة العربية وطرق معالجتها واستخداماتها

مسودة للنقاش



منظمة
الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

المحتويات

الاختصارات 6
ملخص تنفيذي 8
1. مقدمة 11
1.1 الوضع المائي الحالي في المنطقة العربية 11
1.2 المياه قليلة الملوحة في الدول العربية 12
1.3 ادارة المياه 13
1.4 تحديات استخدام المياه قليلة الملوحة 13
2. تقنيات تحلية المياه المالحة 16
2.1 تقنيات تحلية المياه المستخدمة في الدول العربية 16
2.2 قدرات تحلية المياه الحالية في الدول العربية والتوقعات المستقبلية 18
2.3 معايير اختيار تكنولوجيا تحلية المياه 19
3. التقنيات الناشئة في تحلية المياه المالحة 23
3.1 التقطير الغشائي 23
3.2 التناضح الأمامي 24
4. الاستخدام الحالي للمياه قليلة الملوحة في الزراعة 26
4.1 الاستخدام المباشر للمياه قليلة الملوحة دون معالجة في الزراعة في المنطقة العربية 26
4.2 واقع تحلية المياه قليلة الملوحة في المنطقة العربية 27
5. تأثير استخدام المياه قليلة الملوحة 30
6. مقترحات بناء القدرات وتوطين التكنولوجيا 31
6.1 بناء القدرات 31
6.2 دور البحث والتطوير وتوطين التكنولوجيا 32
7. الاستنتاجات والاتجاهات المستقبلية 34
7.1 الاستنتاجات 34
7.2 الاتجاهات المستقبلية 34
8. مراجع 36

قائمة جداول

جدول1:تصنيف عمليات تحلية المياه. 17
جدول2: تفاصيل تكلفة محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي النموذجية في المنطقة العربية 19
جدول3: قائمة معايير التقييم لمحطة تحلية المياه المالحة 21

قائمة الأشكال

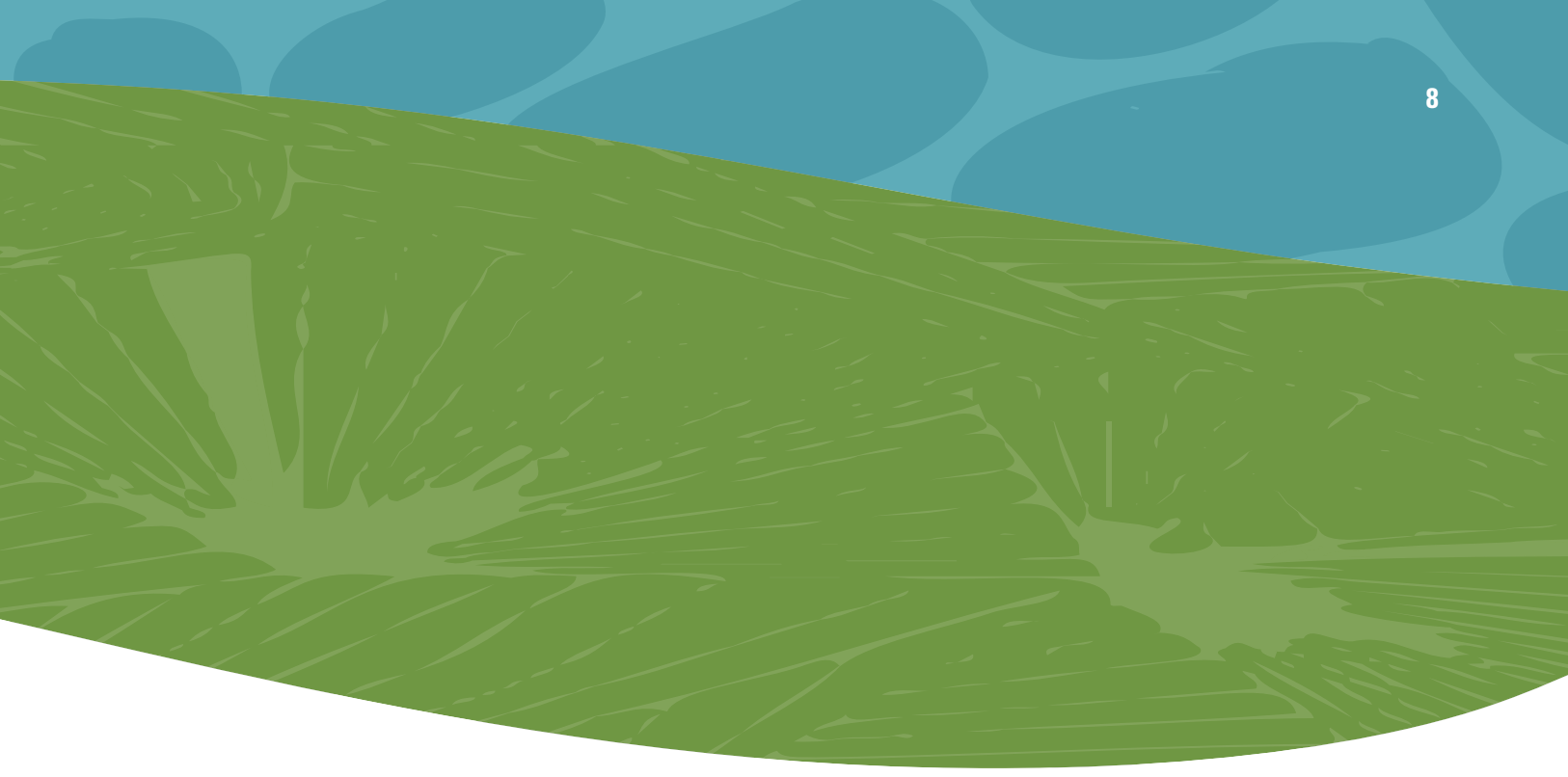
شكل1: ندرة المياه العالمية 11
شكل2: توزيع قدرات التحلية على مستوى العالم في عام 2007 15
شكل3: الطاقة التعاقدية لمحطات التحلية منذ عام 1944 بالمتر المكعب/اليوم 15
شكل4:فئات تقنيات التحلية التجارية الحالية في المنطقة العربية 16
شكل5: تقنيات تحلية المياه المتعاقد عليها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا منذ عام 1944 17
شكل6: المياه المحلاة المتراكمة في دول عربية مختارة في عامي 2010 و 2016 18
شكل7: مفهوم تحلية المياه المالحة 20
شكل8: مفهوم تحلية المياه المالحة 20
شكل9: معايير التقييم 21
شكل 10: تكنولوجيا التقطير الغشائي 24
شكل 11: إعداد FDFO النموذجي 24
شكل 12: مقارنة متوسط متطلبات الطاقة لتقنيات تحلية المياه المختلفة 25
شكل 13: تكاليف مياه الري كنسبة مئوية من إجمالي التكاليف بدلالة سعر المياه 28
شكل14: تخفيض تكلفة وحدة محطات التحلية الوميضية متعددة المراحل، 1955-2003 29
شكل15: تكاليف تشغيل عمليات التحلية في محطات التوليد المشترك للطاقة 29

تنويه

تم اعداد ومراجعة التقرير حول "وضع المياه قليلة الملوحة في المنطقة العربية وطرق معالجتها واستخداماتها" من قبل المكتب الاقليمي للشرق الادنى وشمال افريقيا لمنظمة الامم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) في اطار دعم الامانة الفنية المشتركة للمجلس الوزاري المشترك للمياه والزراعة (المكونة من الامانة الفنية للمجلس العربي للمياه والمنظمة العربية للتنمية الزراعية) لتنفيذ توصية اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة في اجتماعها المنعقد بتاريخ 18 اكتوبر 2022 والمتعلقة بالبند الثاني الخاص باستخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة.

الاختصارات

UN	الأمم المتحدة.
FAO	منظمة الأغذية والزراعة (الفاو).
USGS	المسح الجوليجي الولايات المتحدة.
MCM	مليون متر مكعب.
BGW	المياه الجوفية المالحة.
RO	التناضح العكسي.
MSF	التقطير الوميضي متعدد المراحل.
MED	التقطير متعدد التأثير.
GCC	دول التعاون الخليجي.
FO	التناضح الأمامي.
FDFO	الأسمدة المسحوبة إلى الأمام التناضح.
CP	استقطاب التركيز.
DS	المحلول المركزبالأملاح الناتج من عملية التحلية.
EDR	عملية تحلية المياه يتم فيها توصيل الكهرباء إلى الأقطاب الكهربائية لسحب الأملاح الذائبة الموجودة بشكل طبيعي من خلال غشاء التبادل الأيوني لفصل الماء عن الأملاح.
MD	التقطير الغشائي.
DCMD	التقطير بغشاء الاتصال المباشر.
AGMD	التقطير الغشائي بفجوة الهواء.



ملخص تنفيذي

تقع الدول العربية في واحدة من أكثر المناطق القاحلة في العالم مع ندرة شديدة لموارد المياه العذبة. في معظم المناطق القاحلة في البلدان العربية، لا تتوفر المياه ذات النوعية الجيدة أو أنها محدودة للغاية. يتم توفير غالبية إجمالي إمدادات المياه في المنطقة العربية من موارد غير تقليدية؛ المياه قليلة الملوحة ومياه البحر، ومعظمها مالحة، وبالتالي فهي تتطلب تحلية لمعالجة ندرة المياه وتلبية الطلب المتزايد على المياه وخاصة لتلبية الاحتياجات الزراعية.

إن الارتباط المباشر بين الغذاء (الزراعة) والمياه يحد من قدرة البلدان العربية التي تعاني من ضغوط مائية على تعزيز إنتاج الغذاء. ومع ذلك، ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار احتمالات استخدام الموارد غير التقليدية للري، مثل تحلية المياه، كخيار مستدام محتمل لإنتاج الغذاء.

إن التكلفة العالية لتحلية المياه للمحاصيل الزراعية المروية هي السبب الرئيسي لندرة استخدامها. ومن الضروري تحليل كل عامل (مثل الأجزاء والمواد الكيميائية والعمالة والأغشية والطاقة) الذي يؤثر على تكاليف تحلية المياه.

إن مفهوم الاستدامة بأركانه الثلاثة: الاقتصادية والبيئية والاجتماعية يجب أن يكون في مقدمة التخطيط لأي مبادرة لإنتاج الغذاء باستخدام المياه المحلاة.

ومع ذلك، هناك العديد من الآثار السلبية المرتبطة بعملية تحلية المياه، وبالتالي يتم تنفيذ العديد من التقنيات للحد من آثارها البيئية. ويوصى باستخدام الطاقة المتجددة في قطاع تحلية المياه كفكرة رائعة للحد من الآثار البيئية وتكاليف الطاقة الضخمة المرتبطة بها.

ويمكن للاستثمارات في البنية التحتية والبحث والتطوير في التقنيات المبتكرة والطاقات المتجددة أن تخفض تكاليف تحلية المياه وتجعلها أكثر استدامة في المستقبل. في حين أن تحلية المياه يمكن أن تساعد في تقليل الضغط على موارد المياه التقليدية، إلا أن لها آثار بيئية سلبية.

إن تخطيط وتطوير مفهوم تحلية المياه قليلة الملوحة في المنطقة العربية يجب أن يأخذ بعين الاعتبار الجوانب التالية:

- التكامل مع البنية التحتية الحالية للطاقة والأنابيب.
- ملائمة مرافق الاستخراج لتوفير جودة وكمية ثابتة لمصدرالماء.
- المعالجة المسبقة وكذلك المعالجة اللاحقة.
- تدابير لمراقبة العملية والصيانة.
- منع التآكل والتلوث وفق تكنولوجيا التحلية.
- إدارة الأملاح الناتجة (التخلص منها/استخدامها في استعادة المعادن).
- الاهتمامات البيئية والإدارة البيئية.
- الصحة والسلامة (العامة والمهنية).
- الإدارة المالية والعقود الكافية.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي أوجه القصور في التخطيط إلى وثائق مناقصة غير محددة مما يؤدي إلى زيادة التكاليف بسبب المطالبات الإضافية للشركة المصنعة للمصنع والتأخير الزمني.

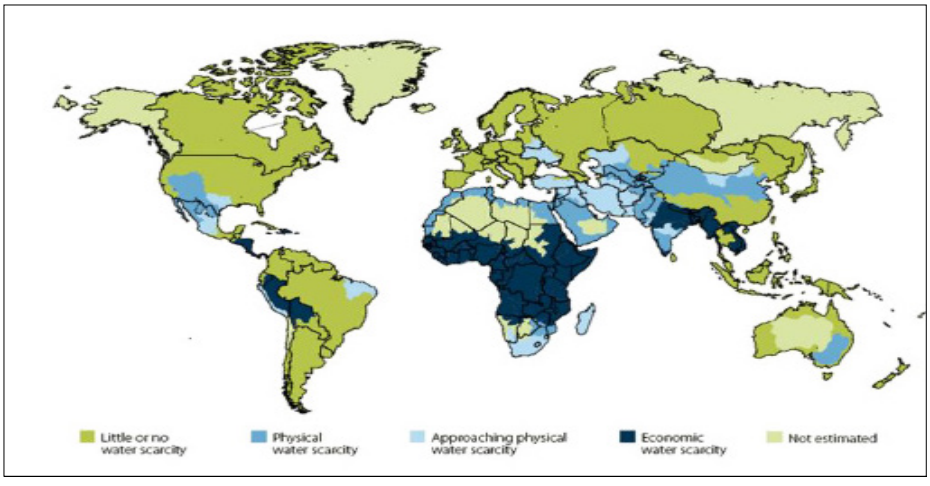
يناقش هذا التقرير باستفاضة تحلية المياه المالحة كخيار قابل للتطبيق لتوفير المياه العذبة للاحتياجات الزراعية في المنطقة العربية، ويقدم تحقيق شامل للوضع الحالي لتحلية المياه المالحة واستخداماتها في المنطقة العربية مع الاتجاهات المستقبلية للاستفادة الناشئة عن تقنيات تحلية المياه الجديدة. ويناقش التقرير أيضًا الأثر الاجتماعي والاقتصادي لتحلية المياه قليلة الملوحة. علاوة على ذلك، فهو يقدم مبادئ توجيهية مقترحة للشراكة بين المنظمات الحكومية والقطاع الخاص ولجميع الأطراف ذات الاهتمام.

1. مقدمة

1.1 الوضع المائي الحالي في المنطقة العربية

يمتد العالم العربي على مساحة تزيد على 12.9 مليون كيلومتر مربع، بما في ذلك شمال أفريقيا وأجزاء من غرب آسيا. تتميز هذه المنطقة بأعلى مستويات ندرة المياه وبالمناخ الجاف، حيث يتراوح معدل هطول الأمطار السنوي بين 100 ملم إلى 400 ملم. ويتفاوت إجمالي موارد المياه المتجددة السنوية بشكل كبير بين مختلف الدول العربية، حيث يتراوح بين 0.1 مليار م3 سنوياً بالنسبة لقطر و75 مليار م3 سنوياً بالنسبة للعراق. ويبلغ إجمالي عدد السكان الحالي حوالي 325 مليون نسمة ومعدل نمو مرتفع للغاية يبلغ 2.7%؛ انخفض نصيب الفرد من إجمالي موارد المياه المتجددة السنوية إلى أقل بكثير من عتبة الأمم المتحدة للفقر المائي (1000 متر مكعب سنويًا) مع وصول معظم دول الخليج العربي إلى نصيب الفرد من إجمالي موارد المياه المتجددة السنوية أقل من 200 متر مكعب سنويًا (المصدر:El-Nashar وآخرون، 2007). علاوة على ذلك، تعاني المنطقة العربية من ندرة المياه فعلياً (الشكل 1). ومن الخيارات الواعدة لغاية استكشاف إمكانية استخدام المياه قليلة الملوحة ومياه البحر من خلال تقنيات مثل الزراعة الحيوية المالحة. كما تعد المياه الجوفية المالحة موردا غير متجدد، ولكنها أقل قيمة من المياه الجوفية العذبة، وأكثر محدودية في استخداماتها المحتملة. والخيار الآخر القابل للتطبيق هو تحلية موارد المياه قليلة الملوحة، سواء كانت مياه سطحية أو جوفية.

شكل1: ندرة المياه العالمية.



(المصدر: Sewilam وآخرون.2015)

2.1 المياه قليلة الملوحة في الدول العربية

المياه قليلة الملوحة هي المياه الموجودة في بيئة طبيعية تحتوي على المزيدمن الملوحة من المياه العذبة، ولكن ليس بقدرمياه البحر. يمكن تصنيف المياه قليلة الملوحة إلى فئتين؛ المياه المالحة السطحية والمياه قليلة الملوحة الأرضية. قد تنجم المياه قليلة الملوحة السطحية عن خلط مياه البحر (المياه المالحة) والمياه العذبة معًا، كما هو الحال في مصبات الأنهار، أو قد تحدث في طبقات المياه الجوفية قليلة الملوحة، كما هو الحال في المياه الجوفية قليلة الملوحة. وفي المنطقة العربية، من الأمثلة على المياه المالحة السطحية مصبات الأنهار مثل شط العرب في العراق ودلتا النيل في مصر، ومستنقعات أشجار المانغروف، والتي توجد في الغالب بالقرب من المناطق الساحلية في شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية.

ومن ناحية أخرى، فإن موارد المياه الجوفية المتجددة في المنطقة العربية محدودة للغاية، حيث تقدر بحوالي 45 مليار متر مكعب سنويا، معظمها على شكل طبقات مياه جوفية ضحلة يتم إعادة تغذيتها من الأمطار وأنشطة المياه السطحية المختلفة المحيطة (منظمة الأغذية والزراعة FAO، 2011). تتوفر مصادر المياه الجوفية غير المتجددة (أو المياه الجوفية الأحفورية) في مناطق واسعة نسبياً في المنطقة العربية وعلى أعماق أكبر نوعاً ما، خاصة في الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية، وهي مشتركة بين العديد من دول المنطقة (Al-Zubari ، 2014) وبسبب الإفراط في الاستخراج، تدهورت معظم احتياطيات المياه الجوفية في المنطقة العربية وأصبحت مالحة وفقا لتصنيف مستويات الملوحة فيها. المياه قليلة الملوحة هي المياه التي تحتوي على نسبة ملوحة أكبر من المياه العذبة، ولكن ليس بقدر مياه البحر.

عادةً ما تحتوي المياه الجوفية قليلة الملوحة على تركيزات من المواد الصلبة الذائبة تتراوح بين 3000 و10000 ملغم/لتر (14USGS, 20). وتستخدم المياه الجوفية قليلة الملوحة مباشرة لأغراض مثل الزراعة المالحة وتربية الأحياء المائية ومياه التبريد لتوليد الطاقة ولمجموعة متنوعة من الاستخدامات في صناعات النفط والغاز مثل الحفر وتعزيز الاستخلاص والتكسير الهيدروليكي. تعتبر تربية الأحياء المائية في المياه قليلة الملوحة، والمعروفة أيضًا باسم تربية الأحياء المائية الساحلية، نشاطًا زراعيًا سريع التوسع ويمكن أن يلعب دورًا مهمًا في تنمية مصائد الأسماك الشاملة والأمن الغذائي في المنطقة. وعلى هذا النحو، يظهر استخدام المياه الجوفية قليلة الملوحة كمصدر محتمل للمياه في الدول العربية التي تعاني من ضغوط مائية كما لخص (Dawoud وآخرون, 2019) عن احتياطي المياه قليلة الملوحة واستخدامها في مصر وتونس والإمارات العربية المتحدة واليمن على النحو التالي:

في مصرتشير الدراسات الحديثة إلى وجود المياه قليلة الملوحة في جميع شبكات المياه الجوفية بقدرة تبلغ حوالي 325 مليون متر مكعب، إلا أن استخدام هذه الموارد لا يزال يقتصر على الأنشطة الزراعية الصغيرة وكمصدر للشرب للناس والماشية. وفي الآونة الأخيرة، بدأ المزارعون ذوو النطاق المتوسط والكبير في الجزء الشمالي من دلتا النيل بنقل أراضيهم الزراعية إلى مزارع الأسماك التي تعتمد على المياه الجوفية قليلة الملوحة نتيجة لنقص المياه العذبة (Attiya, 2010).

وفي جنوب تونس، تمكنت السلطات من استخدام تكنولوجيا التناضح العكسي (RO) لتحويل المياه قليلة الملوحة إلى مياه صالحة للشرب. وتدعم الحكومة القطاع الخاص للاستثمار في تحلية المياه وتعتبر هذه التكنولوجيا جزءا أساسيا من الاستراتيجية الوطنية لإدارة المياه على المدى الطويل. وفي الوقت نفسه، تخطط الحكومة لزيادة القدرة المركبة للقطاع العام من 44 مليون متر مكعب/يوم في عام 2009 إلى 50 مليون متر مكعب/يوم بحلول عام 2030 (World Bank,2009).

وفي دولة الإمارات العربية المتحدة، من المحتمل أن تبلغ نسبة المياه الجوفية المالحة إلى المياه الجوفية حوالي 650 مليار متر مكعب. وفي الوقت الحاضر، يساهم استخدام المياه الجوفية قليلة الملوحة بحوالي 50% من إجمالي استخدام المياه. ويستخدم مباشرة لري المزارع والغابات وللقطاع المنزلي بعد استخدام تقنية التحلية الغشائية (Dawoud وآخرون, 2019).

وفي اليمن، تبلغ المياه قليلة الملوحة الصالحة للاستخدام في الزراعة حوالي 300 مليون متر مكعب/السنة، معظمها لري بعض المحاصيل المتحملة في المناطق الساحلية. ويبلغ إجمالي المساحة المروية

بالمياه قليلة الملوحة حوالي 38500 هكتار. وفي المرتفعات، تستخدم المياه قليلة الملوحة بشكل رئيسي في صناعة قطع الصخور، وفي مدينة تعز، تُستخدم المياه قليلة الملوحة ذات الملوحة العالية لإمدادات المياه عن طريق خلطها بالمياه العذبة للاستخدام المنزلي دون أي تحلية (Dawoud وآخرون, 2019).

3.1 ادارة المياه

إدارة المياه هي عملية تشمل تخطيط وتطوير وإدارة الموارد المائية المتاحة وتوزيعها بشكل عادل من حيث الكمية والنوعية. على مدى العقود الثلاثة الماضية، تأثرت إدارة المياه في الدول العربية بشدة بفكرة إدارة الموارد المائية. دعت هذه العملية إلى اتباع أساليب جديدة لتقييم وإدارة وتنمية موارد المياه العذبة الممثلة من خلال مواصلة تطوير الموارد غير التقليدية مثل مياه البحر وتحلية المياه المالحة وكذلك معالجة مياه الصرف الصحي (Jagannathan وآخرون، 2009).تقع البلدان العربية إما في المنطقة القاحلة أو شديدة الجفاف، وتعتمد على هطول الأمطار الموسمية، ولديها عدد قليل جدًا من الأنهار التي يحمل بعضها جريان المياه من بلدان أخرى، وغالبًا ما تعتمد على طبقات المياه الجوفية الهشة (وغير المتجددة أحيانًا). وبالتالي، فإن اقتصاداتها أكثر حساسية للطريقة التي يتم بها استخراج المياه ونقلها واستهلاكها من اقتصادات المناطق الأخرى (Jagannathan وآخرون، 2009). لن تتمتع الزراعة (التي تستخدم 80% إلى 90% من المياه في معظم البلدان) بإمدادات مياه مضمونة بالكميات التاريخية الماضية. وإذا كان هناك تقلب متزايد في هطول الأمطار كما حدث، فسيتعين على المزارعين بحكم الأمر تغيير أنماط استخدام المياه للنبات (Jagannathan وآخرون، 2009). يتم استخدام ما يقرب من 85% من المياه المتوفرة في المنطقة العربية لأغراض الري. إن طرق الري المعتمدة ليست مستدامة وتؤدي إلى الإفراط في استخدام موارد المياه المتجددة الشحيحة، مما يؤدي بدوره إلى تملح التربة (Sewilam وآخرون.2015).

4.1 تحديات استخدام المياه قليلة الملوحة

هناك العديد من التحديات العملية التي تواجه الاستخدام الواسع للمياه قليلة الملوحة مثل تراكم الأملاح في منطقة الجذر وتأثير الملح على مواد البئر وعمر المضخة. ويشكل التخلص من المياه المالحة في حالة تحلية المياه تحديًا آخر أيضًا. ويشمل تأثير الري بالمياه قليلة الملوحة انخفاضاً في الإنتاجية بسبب تراكم الملح، وارتفاع تكلفة المدخلات الزراعية بسبب الحاجة إلى الحرث العميق وتكاليف الضخ لتغطية الاحتياجات الإضافية من المياه للترشيح. ومع ذلك، في البلدان القاحلة، لا يتعلق الأمر باستخدام المياه قليلة الملوحة/المالحة للري، بل بالأحرى هي أفضل طريقة لاستخدام هذا "المورد" بطريقة مستدامة وبأقل قدر ممكن من التأثير الضار على قاعدة الموارد الطبيعية (Dawoud ، 2019).

كخطوة أولى، يجب تحديد مصدر التغذية لمصدر المياه الخام المحتمل (المياه قليلة الملوحة).

يجب الإجابة على الأسئلة التالية:

- هل هناك أي مصادر متاحة للمياه قليلة الملوحة بالقرب من مركز الطلب؟
- ما هي نوعية المياه- بما في ذلك درجة الحرارة- المقرر استخراجها من مصادر المياه الجوفية؟
- ما هي كمية المياه التي يمكن سحبها من الآبار؟
- هل قدرات الآبار الموجودة كافية أم أن هناك حاجة إلى إضافة المزيد من الآبار؟
- هل يتم توفير نوعية ثابتة من المياه الخام، أم يجب أخذ الاختلافات في الاعتبار؟

كمية مياه التغذية:

بعد تحديد كمية المياه المراد إنتاجها يجب اتباع الخطوات التالية لتقييم مصادر المياه الجوفية في المنطقة كمياً:

- تحليل العائد المستدام المحتمل لطبقة المياه الجوفية المراد استغلالها باستخدام الخرائط الكنتورية للمياه الجوفية ونماذج المياه الجوفية إذا توفرت بيانات كافية.
- إجراء اختبارات الإنتاجية للتحقق من البيانات وملء الفجوات.
- ينبغي تحليل التأثير طويل المدى لاستخراج المياه من خلال توجيه خرائط تدفق المياه الجوفية ونماذج المياه الجوفية (أحدث الإصدارات، على التوالي) لتقديم نظرة عامة على طبقات المياه الجوفية المتاحة وكميات المياه الجوفية المستخرجة منها.

نوعية مياه التغذية:

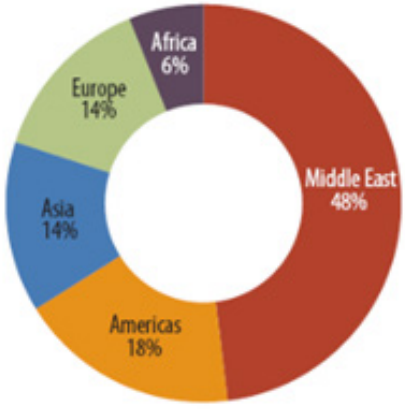
وبعد ذلك، يجب تحليل مصادر المياه المتاحة تحليلا نوعيا. يعد الوصول إلى بيانات موثوقة لجودة المياه أمرًا بالغ الأهمية في تحديد متطلبات المعالجة للمحطة. غالبًا ما يمكن العثور على البيانات الموجودة للحصول على فكرة عن معاملات المياه الجوفية في المنطقة. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة إلى أخذ عينات ميدانية وتحليلها للتحقق من الثغرات المحتملة في البيانات وسدها. وينبغي بعد ذلك التحقق من البيانات التي تم الحصول عليها عن طريق فحص التوازن الأيوني. يتم ذلك لتحديد الحالات الشاذة المحتملة في بيانات التراكيز.

وللأغراض التي تتطلب محتوى أقل من الملح المذاب، وخاصة مياه الشرب، تتم معالجة المياه قليلة الملوحة من خلال التناضح العكسي (RO) أو عمليات تحلية المياه الأخرى. إن الطاقة والمواد والمعدات المستخدمة لتحلية المياه الجوفية قليلة الملوحة بالتناضح العكسي أقل بكثير من تلك المستخدمة لتحلية مياه البحر. تتمتع تقنية تحلية المياه بالتناضح العكسي بكفاءة استرداد تتراوح بين 60 إلى 85% للمياه الجوفية قليلة الملوحة. كما يمثل التخلص من المياه المالحة المركزة الناتجة في حالة استخدام تحلية المياه بتقنية التناضح العكسي تحديًا آخر. يمكن أن تحدث آثار سلبية على البيئة البحرية خاصة عندما يتزامن التصريف العالي للمياه العادمة مع النظم البيئية الحساسة.

إن تحسين كفاءات الاستخلاص إلى 90 أو 95% من شأنه أن يقلل بشكل كبير من أحجام التخلص من المياه المالحة، ويزيد من إمدادات الموارد قليلة الملوحة، وربما يقلل من تكاليف تحلية المياه الإجمالية. وفي الوقت نفسه، مع تغير المناخ، وهناك مخاوف من آثار خطيرة على الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي والتنوع البيولوجي والتنمية المستدامة بشكل عام. تعتبر الأراضي والأشخاص الذين يستخدمون المياه الهامشية - المياه الجوفية قليلة الملوحة - الأكثر عرضة للخطر. ومع تدهور جودة هذه المياه، يمكن أن يكون التأثير على الناس والبيئة مروعًا (Dawoud, 2019).

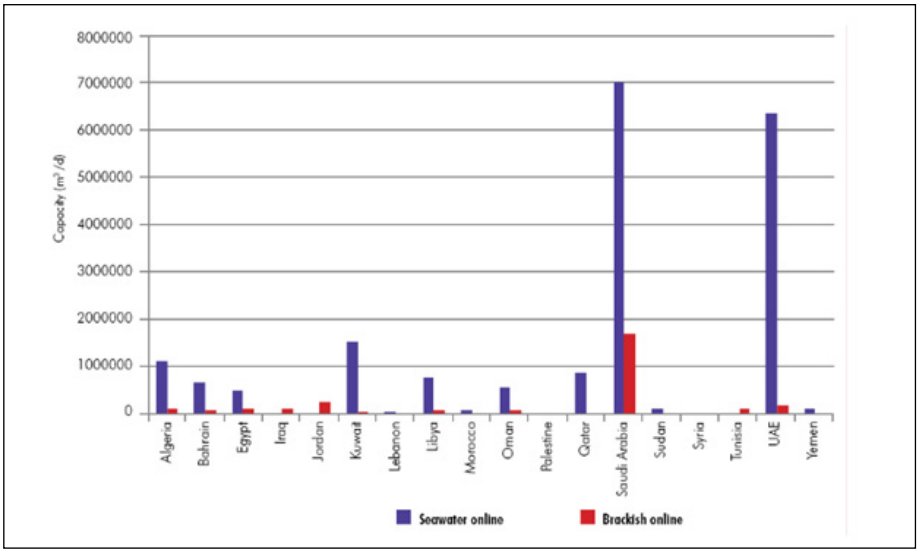
وقد تم تطوير تقنيات تحلية المياه التجارية الحالية من خلال تطبيقات واسعة النطاق في عدد من البلدان العربية (World Bank, 2012). وبحلول عام 2007، تم تركيب ما يقرب من 54% من إمكانات تحلية المياه في العالم في المنطقة العربية (الشكل 2). واليوم، تعد الدول الأعضاء في دول مجلس التعاون الخليجي، وكذلك الجزائر وليبيا ومصر، أكبر المستخدمين في المنطقة، كما يتضح من إجمالي القدرة التراكمية المتعاقد عليها لمحطات تحلية المياه (الشكل 3). بلغ الإنتاج العالمي من المياه المحلاة بحلول عام 2007 حوالي 44 كيلومتر مكعب سنويًا: 58% من مياه البحر، و22% من المياه قليلة الملوحة، و5% من مياه الصرف الصحي (World Bank, 2012). ومن المتوقع أن يستمر المعدل المرتفع للزيادة السنوية في القدرة المتعاقد عليها خلال العقد المقبل. وبحلول عام 2016، مثلت حصة المنطقة العربية من الطلب العالمي حوالي 70% من القدرة العالمية المتزايدة على تحلية المياه. ومن بين 15 دولة تمتلك أكبر منشآت تحلية المياه التقليدية، توجد 9 منها في المنطقة العربية. ومع ذلك، فإن هذا التوسع الكبير يتطلب مراجعة السياسات والممارسات الحالية بما في ذلك كيفية زيادة القدرات والمعرفة المحلية.

شكل2: توزيع قدرات التحلية على مستوى العالم في عام 2007.



(المصدر: World Bank 2012).

شكل3: الطاقة التعاقدية لمحطات التحلية منذ عام 1944 بالمتر المكعب/اليوم.



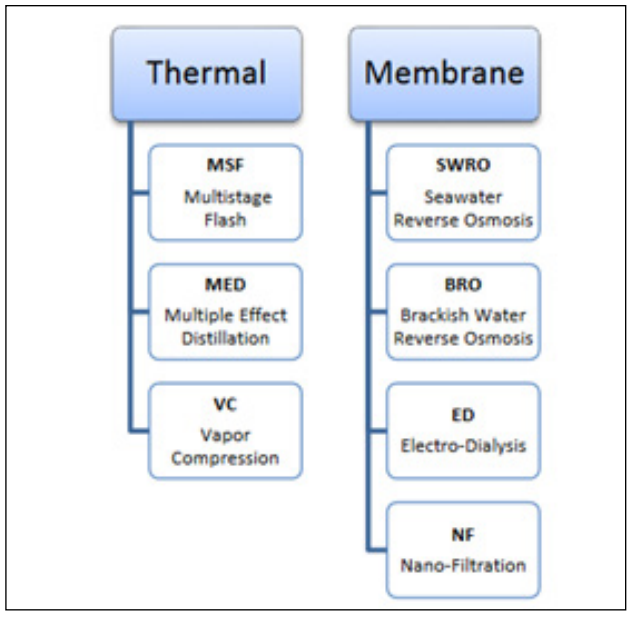
(المصدر: Bushnak 2010).

2. تقنيات تحلية المياه المالحة

2.1 تقنيات تحلية المياه المستخدمة في الدول العربية

يمكن تصنيف التقنيات التجارية المستخدمة اليوم في تحلية المياه إلى فئتين، هما التقنية الحرارية والتقنية الغشائية (الشكل 4). تعمل التقنية الحرارية على فصل الماء عن المعادن من خلال التقطير والتبخر باستخدام تقنية الفلاش متعددة المراحل؛وهي عملية كثيفة الاستهلاك للطاقة إذ تعمل تقنية التقطير الوميضي متعدد المراحل (MSF) على تحلية مياه البحر عن طريق تبخير وتكثيف مياه البحر في مراحل مختلفة في كل مرة تعمل بضغط أقل من السابق. عادة ما يتم الحصول على الحرارة المطلوبة للجزء الحراري من العملية من البخار الناتج عن دورة تيار الماء في محطة توليد الكهرباء. تعتبر تقنية MSF تقنية مجربة، حتى مع وجود مستويات عالية من الملوحة، ويمكن بناؤها على نطاق واسع جدًا. وبما أن تقنيات تحلية المياه الحرارية هي الأكثر شيوعاً البلدان العربية، كونها التكنولوجيا الأقدم، فإن دول مجلس التعاون الخليجي تميل إلى التوليد المشترك للكهرباء والمياه في محطات كبيرة من أجل زيادة كفاءة استهلاك الوقود (Bushnak ,2010).

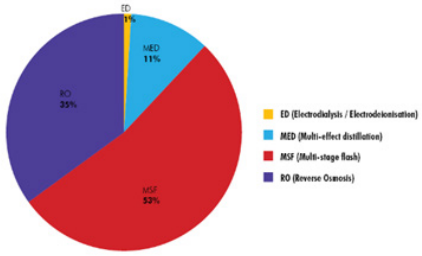
شكل4: فئات تقنيات التحلية التجارية الحالية في المنطقة العربية.



(المصدر: Bushnak 2010).

من ناحية أخرى، تعمل العمليات الغشائية، وخاصة التناضح العكسي (RO)، على ضغط المياه المالحة من خلال الأغشية التي تستبعد معظم المعادن (Buros, 1990). وعادةً ما تُستخدم تقنيات الأغشية عندما يكون الوصول إلى الطاقة الكهربائية متاحًا أو عندما تكون مياه التغذية مياهًا قليلة الملوحة (World Bank ,2102). في المنطقة العربية، لا تزال تكنولوجيا التناضح العكسي هي المهيمنة، لا سيما في دول مجلس التعاون الخليجي، على الرغم من تزايد القدرة المركبة للتناضح العكسي (الشكل 5). تتميز تقنية RO بأنها قابلة للتطوير بسهولة نظرًا لنمطيتها العالية، ولا تتطلب طاقة حرارية وكميات أقل أو مكافئة من الطاقة الكهربائية عنها في التقطير. ومع ذلك، لا تزال معظم دول مجلس التعاون الخليجي تفضل التكنولوجيا الحرارية، لأنها تستخدم الحرارة المتخلص منها في أنظمة التوليد المشترك للطاقة. وفي الآونة الأخيرة، يتم استخدام أنظمة RO وMSF الهجينة في نظام التوليد المشترك للطاقة.

شكل5: تقنيات تحلية المياه المتعاقد عليها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا منذ عام 1944.



(المصدر: Bushnak 2010).

يعتمد اختيار التكنولوجيا المستخدمة لتحلية المياه قليلة الملوحة على مستوى الملوحة (ESCWA, 2009). ويستخدم التناضح العكسي في الغالب للمياه قليلة الملوحة ذات الملوحة العالية، في حين أن عملية تحلية المياه يتم فيها توصيل الكهرباء إلى الأقطاب الكهربائية (EDR) أكثر كفاءة للمياه قليلة الملوحة (Krishna 2004). ويقدم الشكل 6 تفصيلاً للقدرة التراكمية المتعاقد عليها حسب التكنولوجيا في المنطقة العربية منذ عام 1944.

ولا تزال عملية الترشيح المتعدد البروم هي المهيمنة، على الرغم من زيادة القدرة المركبة للتناضح العكسي مؤخرًا. يتم استخدام التناضح العكسي بشكل متزايد بسبب تكلفته المنخفضة والأغشية المحسنة (Lenntech 2014). يمكن استخدام التقنيات الهجينة، مثل MSF/RO أو MED/RO، في المستقبل. لزيادة الكفاءة عند الحاجة إلى توليد الطاقة.

جدول1: تصنيف عمليات تحلية المياه.

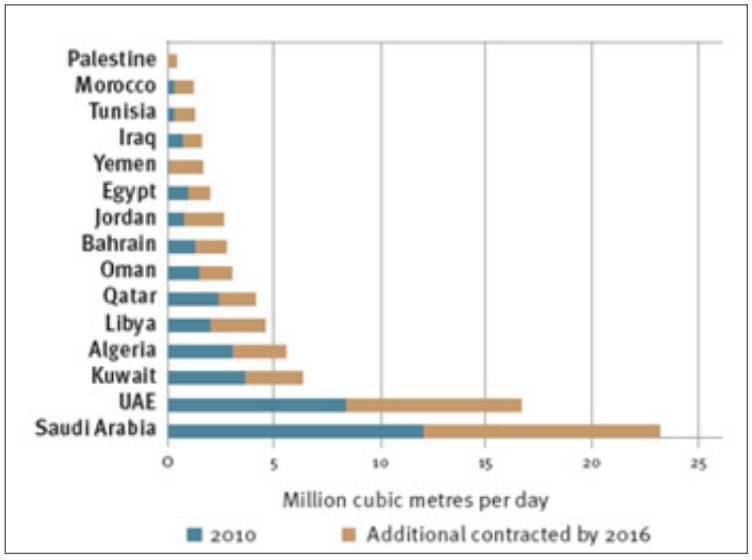
Ref#	Desalination principles with phase change		Desalination principles without phase change
Principle	Distillation	Freezing / Hydrate forming	Membrane separation
Process	▪ Multi-Stage-Flash evaporation (MSF) ▪ Multiple Effect Distillation (MED)	▪ With organic refrigerant ▪ Vacuum freeze / Vapor compression	• Reverse Osmosis (RO) • Electro Dialysis (ED)
Products	Vapor / Condensate	Ice crystals / Melt	Permeate (RO) / Dilute (ED)

2.2 قدرات تحلية المياه الحالية في الدول العربية والتوقعات المستقبلية

وتبلغ الطاقة التراكمية لمحطات تحلية المياه في الدول العربية حاليا نحو 24 مليون متر مكعب يوميا. وتوجد أعلى قدرة على تحلية المياه (الشكل 6) في دول الخليج (81%)، والجزائر (8.3%)، وليبيا (4%)، ومصر (1.8%) (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013). ومن المتوقع أن يظل النمو مرتفعا خلال العقد المقبل لتلبية الطلب المحلي المتزايد على المياه. وسوف تتوسع المياه المحلاة من 1.8% من إجمالي إمدادات المياه في المنطقة إلى ما يقدر بنحو 8.5% بحلول عام 2025 (World Bank, 2012). وسوف تتركز معظم الزيادة المتوقعة في القدرة في دول مجلس التعاون الخليجي، حيث سيتم استخدامها لتوفير المياه للمدن والصناعة. أكثر من 55% من المياه التي تزود المدن في دول الخليج تأتي من المياه المحلاة؛ تستخدم مباشرة أو مخلوطة بالمياه الجوفية. ومن المتوقع أن ترتفع هذه الحصة مع استمرار تدهور موارد المياه الجوفية.

هناك عدد من تقنيات تحلية المياه الجديدة قيد التطوير. تشمل هذه التقنيات الجديدة التقطير الغشائي، وأغشية أنابيب الكربون النانوية، وأغشية الأكوابورين (المحاكاة الحيوية)، والأغشية الرقيقة النانوية المركبة، والتناضح الأمامي، وعملية تحلية المياه يتم فيها توصيل الكهرباء إلى الأقطاب الكهربائية لسحب الأملاح الذائبة الموجودة بشكل طبيعي من خلال غشاء التبادل الأيوني لفصل الماء عن الأملاح. (Elimelech 2007, Kim et al. 2010, Mayer et al. 2010, Zhao, Zou, Tang, & Mulcahy, 2012). ومع ذلك، تحتاج هذه التقنيات إلى مزيد من البحث والتطوير حتى يمكن للمرء أن يدعي أنها تحمل وعدًا كبيرًا لتحلية مياه البحر. وبالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لا يزال غير مستغل بالقدر الكافي ويحتاج إلى مزيد من الاهتمام من الدول العربية.

شكل6: المياه المحلاة المتراكمة في دول عربية مختارة في عامي 2010 و 2016.



(المصدر: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013).

وتخطط الدول العربية، وخاصة دول الخليج والجزائر وليبيا، لزيادة قدرة تحلية المياه من 36 مليون متر مكعب/يوم في عام 2011 إلى حوالي 86 مليون متر مكعب/يوم في عام 2025 (Bushnak 2010). وبحلول عام 2025، تقدر الاستثمارات المطلوبة بنحو 38 مليار دولار، 70% منها في منطقة الخليج. يدعي (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP ,2013) أنه على الرغم من أن التكاليف ستختلف باختلاف أسعار الفائدة وأسعار الطاقة، إلا أنه يمكن توقع تكاليف الطاقة للتوسع في قدرة تحلية المياه بحلول عام 2025 باستخدام توزيع تكلفة محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي النموذجية (الجدول 2). وبافتراض معدل فائدة 10%، فإن تكلفة وحدة المتر المكعب من المياه المحلاة ستكون 0.62 دولار (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP , 2013).

وقامت الدول العربية بتحلية حوالي 19 مليار م3 في عام 2016، ومن المتوقع أن ترتفع إلى حوالي 31.4 مليار م3 في عام 2025، بمتوسط تكلفة 0.525 دولار للمتر المكعب. وتقدر تكاليف تحلية المياه السنوية بـ 10 مليارات دولار في عام 2016، ومن المتوقع أن تصل إلى 15.8 مليار دولار في عام 2025، منها تكاليف الطاقة التي بلغت حوالي 4 مليارات دولار في عام 2016 وستبلغ حوالي 6.4 مليار دولار في عام 2025.

جدول2: تفاصيل تكلفة محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي النموذجية في المنطقة العربية (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013).

تفاصيل تكلفة محطة تحلية المياه بالتناضح العكسي النموذجية* في المنطقة العربية	
التكلفة (دولار لكل متر مكعب)	**معامل**
0.180	التكلفة الرأسمالية السنوية (بسعر فائدة 5%)
0.210	تكلفة الطاقة (عند 0.06 دولار للكيلووات في الساعة)
0.035	تكلفة استبدال الغشاء
0.100	العمالة والكيمياويات
0.525	**التكلفة الإجمالية**

*بسعة 800 متر مكعب يوميًا واستهلاك طاقة 3.5 كيلووات ساعة لكل متر مكعب.

2.3 معايير اختيار تكنولوجيا تحلية المياه

لتحلية المياه قليلة الملوحة في محطة تحلية المياه، يجب أن تستوفي جميع المفاهيم الممكنة المتطلبات وفقًا لبيانات تصميم المحطة:

- إنتاج الكمية المحددة من الماء.
- الامتثال للقيم المحددة وغيرها من خصائص الماء المنتج.

لتطوير مفهوم تحلية المياه، يجب دمج تقنيات المعالجة المقدمة للاستخراج/السحب، والمعالجة المسبقة، وتحلية المياه، والمعالجة اللاحقة، ومعالجة المياه المالحة بشكل مناسب.

لتطوير المفهوم المثالي، تم وضع الافتراضات التالية:

- تم الانتهاء من تحديد الموقع.
- الموقع المختار مناسب للتحلية الحرارية والغشائية (في هذا المثال).
- مساحة الموقع كافية للتقنيات المختارة.
- يمكن لمصدر التغذية توصيل الكمية المطلوبة من المياه قليلة الملوحة باستمرار.
- ستتمتع محطة تحلية المياه بإمدادات كافية من الطاقة الحرارية والكهربائية.
- يمكن التخلص من المحلول الملحي دون معالجة إضافية للمحلول الملحي (التفريغ السطحي).

في المثال التالي، تم تطوير مفهومين مختلفين لتحلية المياه قليلة الملوحة:

المفهوم الأول: التحلية الحرارية (MED) بجميع التقنيات اللازمة للتجريد، قبل وبعد العلاج، ومعالجة المياه المالحة.

المفهوم 2: تحلية المياه عبر الأغشية (RO) مع التقنيات القياسية للتجريد، قبل وبعد العلاج، ومعالجة المياه المالحة.

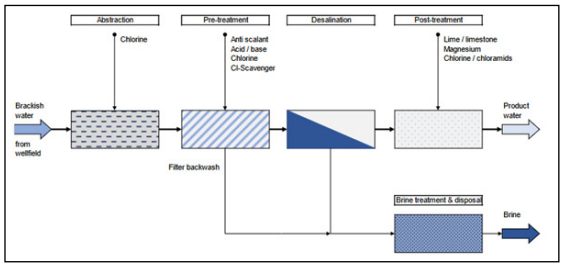
المفهوم 1:

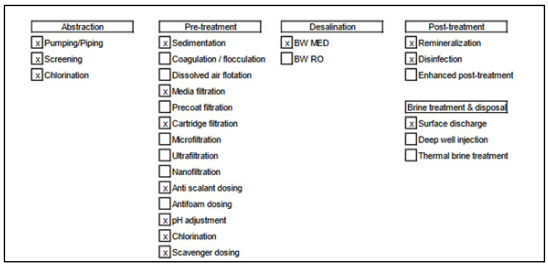
- التجريد بما في ذلك الضخ/الأنابيب، والغربلة، والكلور
- المعالجة المسبقة بما في ذلك الترسيب، والفلترة بأنواعها ، وجرعة من مضاد التكلس، والأحماض ، والكلور.
- المعالجة اللاحقة بما في ذلك إعادة التمعدن (الحجر الجيري والدولوميت) والتطهير (الكلور أو الكلورامينات).
- التخلص من المحلول الملحي عن طريق التفريغ السطحي.

المفهوم 2:

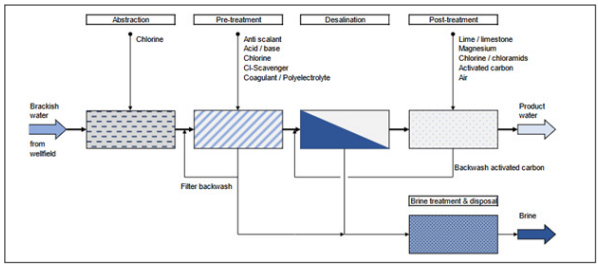
- التجريد بما في ذلك الضخ/ الأنابيب، والغربلة، والكلور.
- المعالجة المسبقة بما في ذلك الترسيب، والتخثر/ التلبد، والفلترة بأنواعها، وجرعة مضاد التكلس، والحمض، والكلور.
- تحلية المياه RO.
- المعالجة اللاحقة بما في ذلك إعادة التمعدن (الحجر الجيري والدولوميت)، والتطهير (الكلورأو الكلورامين)، وترشيح الكربون المنشط الحبيبي، وتجريد الهواء من الملوثات بدفع تيار من الهواء عبر المياه لإزالة الملوثات.
- التخلص من المحلول الملحي عن طريق التفريغ السطحي.

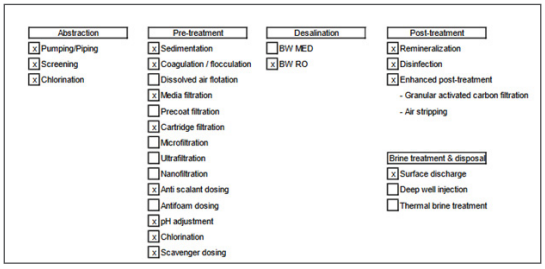
شكل7: مفهوم تحلية المياه المالحة 1





شكل8: مفهوم تحلية المياه المالحة 2





يمكن وضع معايير التقييم التالية، المدرجة في الجدول 3، لمحطة تحلية المياه قليلة الملوحة. ويمكن توسيع القائمة أو تعديلها، حسب الحالة المحددة. ولكن الأهم هو أن يتم أخذ جميع النقاط ذات الصلة باختيار العملية بعين الاعتبار.

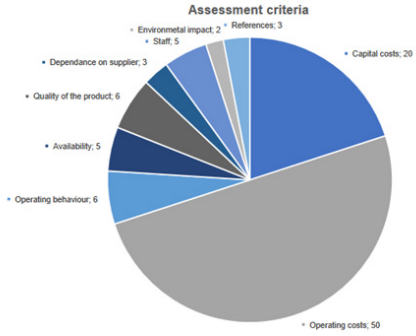
يمكننا أن نرى، في هذه الحالة، الارتباط الوثيق بأهداف المشروع. ولا ينبغي إلغاء أي معيار واحد في هذه المرحلة. إذا كانت أهمية المعيار منخفضة، فسيتم أخذ ذلك في الاعتبار تلقائيًا من خلال الترجيح التالي.

جدول3: قائمة معايير التقييم لمحطة تحلية المياه المالحة.

No.	Criteria	Keywords
1	Capital costs	Desalination plant, civil works, energy supply, abstaction facility, pre-treatment, post-treatment, brine treatment, brine disposal, infrastructure
2	Operating costs	Depreciation, interest, energy, chemicals, additives, personnel, water transport, brine disposal, waste disposal, spare parts
3	Operating behaviour	Normal mode, start-up, shutdown, malfunction, overhaul, standstill period
4	Availability	Reliability, robustness, complexity, redundancy, susceptance to failure
5	Quality of the product	boiler feed water, drinking water, process water, irrigation, dangerous chemicals
6	Dependance on supplier	Tubes, membranes
7	Staff	Number, necessary qualification
8	Environmetal impact	Coloured rejects, brine, wastes
9	References	Large, medium and small units, test plants

وكما هو مبين في الشكل 9، يمكن ملاحظة أن تكاليف رأس المال وتكاليف التشغيل تشكل حوالي 70% من إجمالي نقاط التقييم.

شكل9: معايير التقييم



وتستهلك تحلية المياه الطاقة بكثافة، لذا فإن كفاءة استخدام الطاقة مهمة في تطوير محطات جديدة، فضلاً عن تحديث المحطات القديمة. تستخدم المملكة العربية السعودية ربع إنتاجها من النفط والغاز لتوليد الكهرباء وإنتاج المياه في محطات التوليد المشترك للطاقة وتحلية المياه. وبافتراض استمرار الطلب على المياه في النمو بالمعدل الحالي، فإن هذه الحصة ستزيد بنسبة 50% على الأقل بحلول عام 2030 (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP2013,). وبالمثل، في الكويت، تستهلك محطات تحلية المياه ذات التوليد المشترك للطاقة أكثر من 50% من إجمالي الطاقة المولدة. ومن المتوقع أن تعادل الطاقة اللازمة لتلبية الطلب على محطات تحلية المياه الإنتاج الحالي من زيت الوقود في البلاد بحلول عام 2035 (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013,). وهذا يعني أن الدول العربية لا يمكنها الاستمرار في الاعتماد على الوقود الأحفوري لتغطية الطلب على الطاقة في المستقبل.

ومع ذلك، وكما ذكرنا سابقًا، فإن تحلية المياه تتطلب قدرًا كبيرًا من الطاقة. إن استخدام الوقود الأحفوري في تحلية المياه ليس صديقاً للبيئة. يوصى في الدول العربية في المستقبل بدمج مصادر الطاقة المتجددة مع تقنيات الأغشية.

تشمل مصادر الطاقة التالية:

- طاقة شمسية
- طاقة الرياح
- الطاقة الحرارية الأرضية
- الأمواج وطاقة المد والجزر
- الطاقة الكهرومائية

تعتمد اقتصاديات استخدام مصادر الطاقة المتجددة في تحلية المياه على تكلفة الطاقة حيث أن تكلفة التحلية تتحدد إلى حد كبير من خلال تكاليف الطاقة التي تساهم بنسبة تزيد عن 30%. وتشير دراسات الجدوى التي أجراها باحثون أو مطورون في مصر إلى أن تكلفة تحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة، بشكل عام، لا تزال أعلى مقارنة بتكلفة التحلية التقليدية المعتمدة على الوقود الأحفوري. ومع ذلك، فإن تكاليف تقنيات الطاقة المتجددة تتناقص بسرعة ويمكن لتحلية المياه القائمة على الطاقة المتجددة أن تتنافس مع تحلية المياه التقليدية في المناطق النائية، حيث تكون تكلفة نقل الطاقة وتوزيعها أعلى من تكلفة التوليد الموزع. تعد الطاقة الشمسية مصدرًا رائعًا للطاقة، على سبيل المثال، على الرغم من أن محطات تحلية المياه مكلفة للغاية بالفعل، أصبحت الألواح الشمسية ميسورة التكلفة أكثر فأكثر. توفر محطات طاقة الرياح البحرية طاقة نظيفة وينبغي اعتبارها مصدر طاقة صالحًا لمحطات تحلية المياه. أفضل طريقة لمحطات تحلية المياه لتقليل استهلاكها للطاقة هي استخدام الطاقة المتجددة لتشغيل المنشأة. على الرغم من أن تحلية المياه لها تكلفة باهظة، إلا أنها تفيد الناس من خلال تزويدهم بالمياه العذبة. تستهلك المضخات الكهربائية عالية السرعة في محطات تحلية المياه طاقة أكثر مما هو مطلوب. وإذا ركزت محطات تحلية المياه على الاستخدام المستدام للطاقة المتجددة، فسيكون ذلك خطوة كبيرة نحو بيئة أكثر خضرة.

3. التقنيات الناشئة في تحلية المياه المالحة.

تطورت تحلية المياه من الأنظمة التقليدية لتقطير المياه، ذات الاستهلاك العالي للطاقة، إلى أحدث تقنيات الأغشية، وخاصة التناضح العكسي (RO)، وهو أكثر كفاءة في استخدام الطاقة ويتطلب تكاليف استثمار أقل. على الرغم من أن تقنيات التقطير كانت سائدة في الماضي، إلا أن ظهور أغشية التناضح العكسي في السبعينيات قد غير مشهد تحلية المياه في العالم تمامًا، وخاصة استخدام المياه المحلاة لأغراض الزراعة.

وتعتمد تحلية المياه على استهلاك الطاقة، وهي التكلفة الرئيسية لتحلية المياه. تستهلك تقنيات التقطير طاقة كبيرة بغض النظر عن مستوى ملوحة المياه. ومع ذلك، يعتمد استهلاك الطاقة باستخدام تقنيات الأغشية على محتوى الملح في مياه التغذية ومياه المنتج. يمكن تكييف (RO) مع محتويات ملوحة المياه المختلفة. وقد مكنت هذه المرونة من توسيع استخدام RO ليشمل تطبيقات جديدة. تعتبرعملية تحلية المياه التي يتم فيها توصيل الكهرباء إلى الأقطاب الكهربائية لسحب الأملاح الذائبة (EDR) أقل مرونة من التناضح العكسي، ويجب استخدامها فقط لتطبيقات المياه قليلة الملوحة الخاصة في الزراعة (Buros 1990).

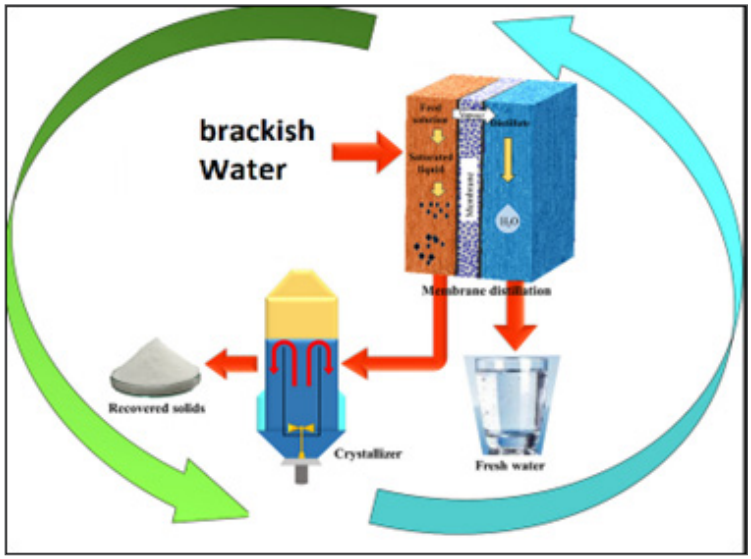
في السنوات الأخيرة، كان هناك تطور جذري واهتمام بالتقنيات الجديدة التي تعتبر واعدة للغاية في حل تحديات تحلية المياه المعلقة باستمرار. هناك تقنيتان لهما إمكانات كبيرة في تلبية متطلبات تحلية المياه بتكلفة منخفضة للغاية، هاتان التقنيتان هما التقطير الغشائي (MD) والتناضح الأمامي (FO).

3.1 التقطير الغشائي

التقطير الغشائي (MD) عبارة عن تقنية جديدة للفصل بإستخدام الأغشية عالية الكفاءة مع آفاق تطبيق واسعة. اعتمادًا على الطريقة المستخدمة لمعالجة البخار بالغشاء، يمكن تصنيف MD إلى عدة فئات فرعية منها للاتصال المباشر (DCMD)، و (V) MDباستخدام التفريغ، , فجوة الهواء (AGMD)، و MD الغاز الكاسح. العوامل الرئيسية التي تعيق تطور MD هي توافر الأغشية لعمليات التقطير الغشائي وحدوث رطوبة في الغشاء. في DCMD، يكون المحلول على اتصال مباشر مع الغشاء على كلا الجانبين ويعتبر أحد أكثر طرق تحلية الغشاء الواعدة بسبب مزاياه المتنوعة، مثل البنية البسيطة وتدفق الغشاء الكبير، يمكن MD أن يبخر الماء عند درجة حرارة منخفضة و على الضغط الجوي مما يجعلها تقنية غير مستهلكة للطاقة. درس (Ali واخرون, 2017) كفاءة الطاقة لجهاز DCMD أثناء تحلية المياه قليلة الملوحة باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية وغيرها من مصادر الحرارة المنخفضة الحرارة. كما نظر ((Zho et al. (2021)) في جدوى تحلية المياه الجوفية قليلة الملوحة باستخدام طريقة DCMD ودرس تأثيرات درجة حرارة لمياه التغذية ومعدل التدفق وتركيز الملح على أداء عملية DCMD. يتم دراسة عملية MD لتحل محل التناضح العكسي أو التقطير الحراري لتحلية المياه قليلة الملوحة في العالم العربي. ويلخص) الشكل 10(تقنية MD في تحلية المياه قليلة الملوحة.

يتمتع MD بمزايا ضغط التشغيل المنخفض (أي انخفاض الطلب على طاقة الضخ)، وانخفاض درجة حرارة التشغيل (مصدر الحرارة: 50-90 درجة مئوية)، وإمكانية فصل المواد المذابة وغير المتطايرة بنسبة 99.99%. تعتبر تقنية MD أكثر حساسية للحرارة وهي تقنية التحلية الحرارية الأكثر اقتصادا وممكنة للظروف الحرارية منخفضة التكلفة. علاوة على ذلك، يجب تقليل استهلاك الطاقة من خلال تطبيق أنظمة فعالة لاستعادة الطاقة وتنفيذ وحدات تأثير MD متعددة المراحل.

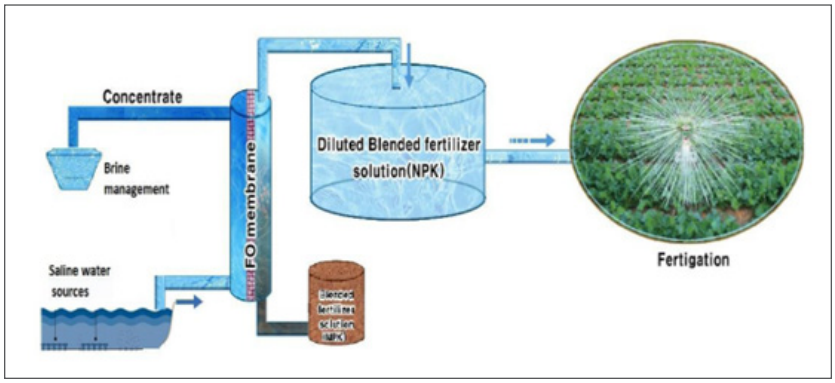
شكل 10: تكنولوجيا التقطير الغشائي



3.2 التناضح الأمامي

يمكن استخدام التناضح الأمامي (FO) لإنتاج المياه لأغراض الري. هذا النوع من تطبيقات FO هو التناضح الأمامي (FDFO) يعد بديلاً محتملاً لاستعادة وإعادة استخدام المياه والمواد المغذية من مياه الصرف الزراعي، كما هو موضح في الشكل 11. وكما يوضح)Phuntsho 2012))، يتم استخدام حلين مختلفين في عملية FDFO: المياه المالحة (كمياه التغذية) على جانب واحد من غشاء عملية FDFO ، ومحلول عالي التركي على الجانب الآخر من الغشاء. يتم الاحتفاظ دائمًا بالمحلولين على اتصال بالغشاء من خلال نظام التدفق المعاكس، حيث تتدفق المياه العذبة من محلول التغذية الملحي نحو المحلول عالي التركيز. بعد استخلاص الماء بعملية FO، يصبح المحلول مخففًا، ويمكن استخدامه مباشرة للتسميد. بشرط أن تلبي معايير جودة مياه الري من حيث الملوحة وتركيز المغذيات، وتجنب الحاجة إلى فصل واستعادة محلول السحب (Phuntsho et al. 2012). على الرغم من أن إمكانية مثل هذه الفكرة واعدة جدًا، إلا أن الأبحاث حول هذا النموذج لم تحظ باهتمام كبير حتى وقت قريب بسبب عدم وجود أغشية مناسبة.

شكل 11: إعداد FDFO النموذجي

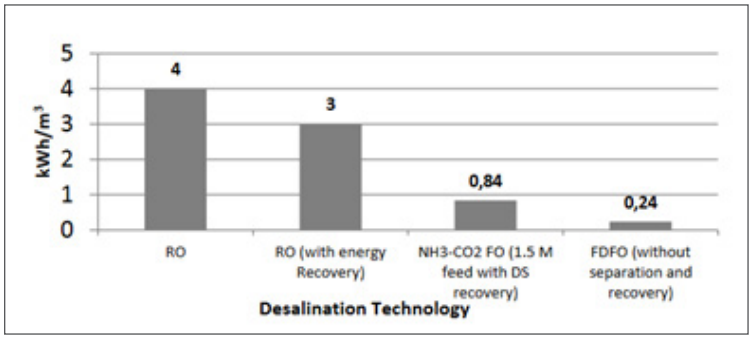


(المصدر: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013).

FDFO هي عملية تحلية مياه منخفضة الطاقة بشكل ملحوظ. الطاقة الوحيدة المطلوبة في عملية FDFO هي الحفاظ على التدفق المتقاطع لمحاليل التغذية والسحب التي تتلامس مع سطح الغشاء وتوفير قوة كافية لتقليل تأثيرات استقطاب التركيز (CP). ويبين الشكل 12 متطلبات الطاقة النسبية لتقنيات تحلية المياه المختلفة.

حيث يمثل الطاقة الكلية، بالمقارنة مع تقنيات تحلية المياه الحالية الأخرى التي يمكن أن تتراوح بين 72% و85%. قد يختلف أداء NH3 CO2- كمحلول سحب (DS) عن محاليل سحب الأسمدة (Phuntsho, 2012). ومع ذلك، تشير التقديرات الواردة في الشكل 12 إلى أن الطاقة المطلوبة لـ FDFO ستكون أقل بكثير.

شكل 12: مقارنة متوسط متطلبات الطاقة لتقنيات تحلية المياه المختلفة



(المصدر: Phuntsho وآخرون 2012).

4. الاستخدام الحالي للمياه قليلة الملوحة في الزراعة

4.1 الاستخدام المباشر للمياه قليلة الملوحة دون معالجة في الزراعة في المنطقة العربية.

وفي وقت سابق من هذا العام، قدمت منظمة الأغذية والزراعة تقريرا2023,(FAO) يتضمن تحقيقاً شاملاً في المبادئ التوجيهية وموجزاً لتجربة الدول العربية في الاستخدام المباشر للمياه قليلة الملوحة دون معالجة لري المحاصيل الزراعية. تواجه المنطقة العربية مجموعة واسعة من مشاكل الملوحة، وهناك عدد من الأمثلة في المنطقة على الاستخدام الناجح للمياه قليلة الملوحة في الإنتاج الزراعي. ومع ذلك، من المهم التأكيد على أن الممارسات الناجحة تجنبت التراكم المستمر للأملاح من خلال تطبيقات الترشيح والصرف والتعديل الكافية.

لقد تطورت الممارسات الزراعية في المنطقة من خلال تجربة المزارعين في زراعة المحاصيل في ظل ظروفهم الخاصة من حيث توفر المياه والظروف الزراعية السائدة والعوامل الاقتصادية. ولكل دولة تجربتها الخاصة في إنتاج المحاصيل في ظل ظروفها المحلية، ولكل دولة أصنافها من المحاصيل، والتي يتم تطويرها من خلال الأبحاث وتجارب المزارعين. كان هناك مجموعة واسعة من المحاصيل الناجحة في العالم العربي باستخدام المياه المالحة كمصدر للري بما في ذلك محاصيل الحبوب والألياف والخضروات والفواكه والأعلاف الرئيسية. تباينت ملوحة مياه الري المستخدمة لزراعة المحاصيل بشكل كبير، من 1.1 إلى 14 ديسي سيمنز/م، وإن كان ذلك مع إمكانات إنتاجية مختلفة. سيسبانيا، وهو محصول علفي ملحي، وقد تمت زراعته في الجمهورية العربية السورية بمياه ري تزيد ملوحتها عن 75 في المائة من مياه البحر (منظمة الأغذية والزراعة FAO 2023).

وتوضح المعلومات المقدمة بوضوح أن المياه قليلة الملوحة قد تم استخدامها بنجاح في المناخات القاحلة وشبه القاحلة في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك منطقة الشرق الأدنى وشمال أفريقيا، وأن هناك إمكانية لمزيد من الاستخدام الناجح للمياه قليلة الملوحة.

تواجه المنطقة العربية قيدين مهمين في الاستخدام الناجح للمياه قليلة الملوحة في الإنتاج الزراعي. أحدهما هو أن العديد من الأماكن في المنطقة تفتقر إلى البنية التحتية (على وجه التحديد، شبكات الري والصرف الحديثة) اللازمة لتطبيق ممارسات الإدارة الجيدة اللازمة لاستخدام المياه قليلة الملوحة. وبدون الاستثمار في البنية التحتية اللازمة، لا يمكن تنفيذ الممارسات الجيدة لإدارة الري. يعد الصرف الصحي، على وجه الخصوص، قضية رئيسية في المنطقة حيث تعاني العديد من المناطق من التشبع بالمياه، في الواقع، لا يمكن تطبيق المبادئ التوجيهية المقدمة من (منظمة الأغذية والزراعة FAO 2023) إلا في المناطق التي يكون فيها الترشيح والصرف المناسب متوفرًا حيث أن توازن الملح المطلوب يمكن تحقيقه في المناطق التي لديها تصريف مناسب. ومن القيود المهمة الأخرى أن العديد من البلدان تفتقر إلى المعرفة والفهم للممارسات الزراعية الجيدة لاستخدام المياه قليلة الملوحة.

4.2 واقع تحلية المياه قليلة الملوحة في المنطقة العربية

لا تُستخدم تقنيات تحلية المياه للأغراض الزراعية فحسب بسبب ارتفاع تكاليفها. يعد التحليل الشامل للتكلفة أمرًا ضروريًا لتحديد ما إذا كانت تحلية المياه مجدية لإنتاج مورد مائي يمكن استخدامه لتكملة أو استبدال موارد المياه الطبيعية في المناطق التي تعاني من نقص المياه. ومع ذلك، فإن الوضع الحالي يختلف تمامًا عما كان عليه قبل عقود مضت، عندما بدأت تحلية المياه المالحة في التطور. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من الخبرة لتحديد ما إذا كانت تحلية المياه هي الحل لندرة المياه، وخاصة ما إذا كان ينبغي استخدام المياه المحلاة في الزراعة. ومع ذلك، فمن الضروري تحليل العوامل المؤثرة على تكاليف تحلية المياه لتقنيات التحلية المختلفة.
تطورت تقنيات تحلية المياه في السنوات القليلة الماضية، من كونها قليلة الاستخدام في العالم، ومقتصرة على بعض الدول الغنية بالنفط حيث تكاليف الطاقة منخفضة، حيث أصبحت تُستخدم الآن عالميًا. في البداية، تم استخدام تحلية المياه فقط لتوفير الإمدادات المنزلية والصناعية. ومع ذلك، بمجرد تحسين هذه التكنولوجيا وانخفاض تكاليفها، امتد تطبيقها إلى قطاعات أخرى، وخاصة الزراعة. للحصول على متوسط تكلفة المياه المحلاة، لا بد من النظر في ثلاثة عوامل:

- تكنولوجيا تحلية المياه ومتطلبات الطاقة.
- جودة مياه التغذية.
- نوعية المياه الناتجة.

أولاً: تكنولوجيا تحلية المياه واحتياجاتها من الطاقة.

وبما أن الزراعة هي أكبر مستهلك للمياه العذبة في المنطقة العربية، فإن التوفير البسيط في استخدام المياه الزراعية من خلال التقنيات المحسنة سيوفر كميات هائلة من المياه المتاحة للمجتمع والبيئة. إلى جانب إتاحة مياه الري باستخدام طاقة أقل من مصادر المياه المالحة، والمياه الغنية بالمغذيات للتسميد (Phuntsho وآخرون، 2012). يتمتع التسميد بالعديد من المزايا مقارنة باستخدام الماء والأسمدة بشكل منفصل:

- الحد الأدنى من فقدان مياه الري بسبب الترشيح
- التوازن الأمثل للعناصر الغذائية عن طريق توفير العناصر الغذائية مباشرة إلى منطقة الجذر
- السيطرة على تركيز العناصر الغذائية في محلول التربة
- توفير تكاليف العمالة والطاقة
- توفير المرونة في توقيت تطبيق الأسمدة
- مناسبة للاستخدام في مخاليط مع المغذيات الدقيقة الأخرى مثل المبيدات الحشرية
- تكنولوجيا ملائمة ومرنة حيث يمكن دمجها بسهولة في أي مخطط تسميد موجود بالفعل

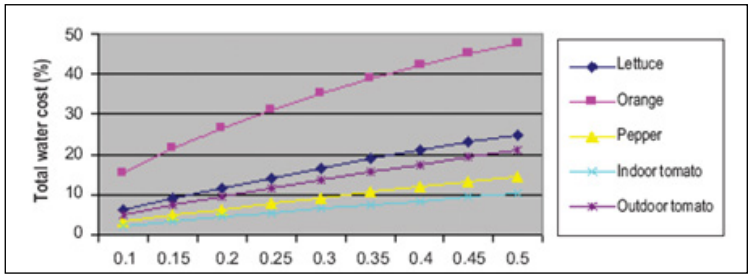
ثانياً: نوعية مياه التغذية.

وبالنسبة للمحاصيل ذات الربحية العالية في غير موسمها، يمكن اعتبار مياه البحر المحلاة مصدراً بديلاً لمياه الري. وبشكل عام، يُنظر إلى مياه البحر على أنها المورد الواعد لتحلية المياه في المستقبل. وذلك بسبب الحجم الهائل الذي يمثله هذا المورد المائي الطبيعي وتوافره. ومع ذلك، يتم تطبيق تحلية المياه قليلة الملوحة أيضًا في العديد من المناطق. ويلزم تقييم الجدوى الاقتصادية لتحلية المياه المالحة ومياه البحر للتطبيقات الزراعية. ويتوقع البنك الدولي (2007) أن أكثر من 200 مليون شخص سيواجهون مشكلة ندرة المياه بحلول عام 2025، وأن معظم هؤلاء السكان سيعيشون على بعد 50 كيلومتراً من ساحل البحر. بالإضافة إلى ذلك، تتوفر تقنيات تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة، وتتحسن كفاءتها بشكل مستمر. السماح للمياه المحلاة بتغطية الطلب الزراعي في هذه المناطق. لا يمكن استخدام تقنيات التقطير إلا لتحلية مياه البحر بتكلفة عالية جدًا. إن مرونة التناضح العكسي بالنسبة لمحتوى الملح في الماء المنتج تجعل من الممكن تقليل التكاليف، وهي ميزة غير ممكنة مع التقنيات الأخرى.

ثالثاً: جودة مياه المنتج.

تعتمد الملوحة المطلوبة لمياه الري المستخدمة لتحقيق الزراعة المستدامة على عدد من العوامل، مثل المناخ والمحاصيل والتربة وإدارة المياه. ولذلك، فإن تصميم محطات تحلية المياه يجب أن يأخذ في الاعتبار بعناية الاحتياجات الزراعية، بحيث يمكن تحسين تكاليف الإنتاج. ومن أجل تقليل متطلبات الترشيح وكمية المياه المستخدمة، يمكن استخدام المياه المحلاة لمحاصيل محددة ومربحة، مثل الخس والبرتقال والفلفل. وبهذه الطريقة، ستكون تكلفة تحلية المياه أقل من تكلفة مياه الري التقليدية. ويبين الشكل 13 تكاليف مياه الري مقارنة بالتكاليف الإجمالية لبعض المحاصيل. ويمكن استخدام هذه المعلومات عند تحديد ما إذا كان سيتم استخدام المياه المحلاة في الزراعة أم لا.

شكل 13: تكاليف مياه الري كنسبة مئوية من إجمالي التكاليف بدلالة سعر المياه.



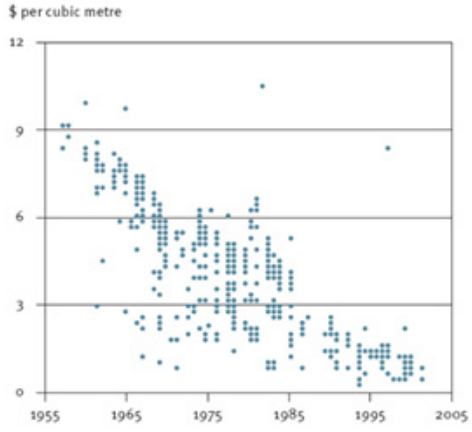
(المصدر: Beltran and Koo-Oshima 2004)

المملكة العربية السعودية هي حاليا الرائدة عالميا في مجال تحلية المياه بحوالي 26% من الطاقة الإنتاجية العالمية، تليها الولايات المتحدة (17%). في المملكة العربية السعودية تعتمد معظم محطات تحلية المياه على العملية الحرارية (المحطات المنشأة حديثاً مختلفة) ومياه المصدرهي مياه البحر. في المقابل، في الولايات المتحدة 69% من محطات تحلية المياه تعتمد على التناضح العكسي و7% فقط هي محطات تحلية مياه البحر. في حين أن 20% فقط من إجمالي عدد محطات تحلية المياه على مستوى العالم تستخدم العملية الحرارية، فإن 50% من إجمالي الطاقة الإنتاجية تعتمد على العمليات الحرارية. افتتحت دولة الإمارات العربية المتحدة محطة تحلية المياه في الفجيرة في عام 2005 بقدرة إنتاجية مشتركة تبلغ 454,000 متر مكعب في اليوم (Matsuuraواخرون، 2011).

لكي تجعل الدول العربية تحلية المياه مصدرًا مناسبًا للمياه قليلة الملوحة، يجب معالجة التحديات المالية وتكاليف الطاقة المرتفعة بشكل مناسب. وكما هو متبع حاليًا، فإن تحلية المياه تتطلب رأس مال كثيف وتستهلك طاقة خاصة عند استخدام المياه قليلة الملوحة كمياه تغذية. تصل تكاليف كل متر مكعب من المياه المحلاة إلى 1.50 دولار وحتى 4 دولارات في بعض الحالات (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي2013 UNDP). إلا أن المياه مدعومة، وتباع بسعر زهيد يصل إلى 4 سنتات للمتر المكعب في بعض الدول العربية. ومع التحسينات في تقنيات تحلية المياه، تنخفض تكاليف الإنتاج بشكل مستمر.

تعد التقنيات مثل RO والتحليل الكهربائي والهجينة أكثر كفاءة في استخدام الطاقة وأكثر ملاءمة لأنواع مختلفة من المياه. وكما هو مبين في الشكل 14، انخفض سعر الفلاش متعدد المراحل خلال الفترة 1985-2004 من 4.0 دولار - 2.0 دولار/م3 إلى 0.50 - 0.80 دولار (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP2013). وبالمثل، يقدر السعر الحالي لـ RO بـ 0.99 دولارًا أمريكيًا للمتر المكعب لمياه البحر و0.20 إلى 0.70 دولارًا أمريكيًا للمياه قليلة الملوحة (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 2013). ويؤكد البنك الدولي (2012) أن متطلبات الطاقة تتراوح بين 3.5-5.0 كيلووات ساعة/م3 لمياه البحر التناضح العكسي إلى 4-8 كيلووات ساعة/م3 لتكنولوجيا الفلاش متعددة المراحل. يشير هذا الاتجاه التنازلي في تكلفة المياه المحلاة إلى أن تكنولوجيا تحلية المياه أصبحت أكثر قابلية للتطبيق.

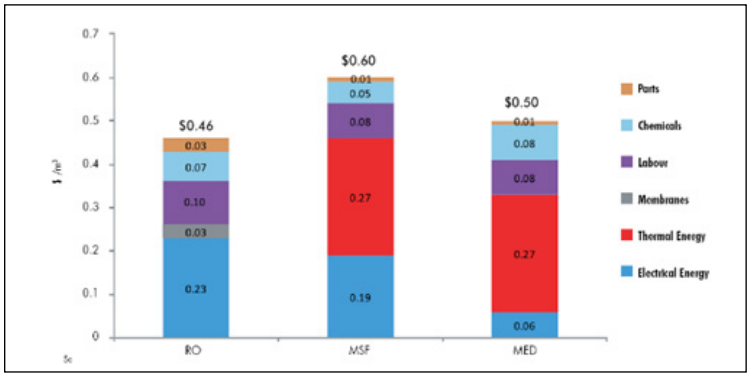
شكل14: تخفيض تكلفة وحدة محطات التحلية الوميضية متعددة المراحل، 1955-2003



(المصدر: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP 2013).

في حين أن التكلفة الرأسمالية للوحدة في عام 2010 لمحطات تحلية مياه البحر تتراوح بين 1000 دولار إلى 2000 دولار للمتر المكعب في اليوم من القدرة المركبة (Bushnak 2010)، فإن التكلفة الرأسمالية للوحدة لمحطات المياه قليلة الملوحة تقدر بنحو 25% إلى 45% من تكلفة محطات مياه البحر المذكورة أعلاه (Bushnak 2010). يوضح الشكل 15 تكاليف التشغيل النسبية (قطع الغيار والمواد الكيميائية والعمالة والأغشية والطاقة الحرارية والطاقة الكهربائية) لعمليات التحلية الرئيسية الثلاث (RO وMSF وMED) لمحطات التوليد المشترك للطاقة.

شكل15: تكاليف تشغيل عمليات التحلية في محطات التوليد المشترك للطاقة.



(المصدر Bushnak 2010).

5. تأثير استخدام المياه قليلة الملوحة

تمثل ملوحة المياه والتربة مشكلة موجودة في جميع القارات، مما يؤثر على النظم البيئية والأنشطة الزراعية، ولا سيما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ومع ذلك، فإن الطلب المتزايد على الغذاء، وندرة الموارد المائية، والإفراط في استخدام المياه الجوفية في ظل السيناريو المستمر لتغير المناخ العالمي قد خلق الحاجة إلى الاستفادة من موارد المياه المالحة للحفاظ على إنتاج الغذاء وتوليد فرص العمل والدخل للمزارعين في المناطق الجافة. ولذلك، من الضروري استخدام تقنيات الإدارة المناسبة والأنواع التي تتحمل الملوحة، حيث يعتبر كلا الجانبين جزءًا من الزراعة الملحية الحيوية (Ma et al. (2008)). كما أثبتت الأبحاث أن الري بالمياه قليلة الملوحة لن يؤدي إلى انخفاض خطير في إنتاجية المحاصيل. لكن، يحمل الري بالمياه قليلة الملوحة أيضًا خطر التسبب في تملح التربة والتأثير على النمو الطبيعي للمحاصيل (Selim وآخرون (2012))، نظرًا لأن الملوحة على سطح التربة زادت مع زيادة مسافات نافثات قطرات الماء بين النباتات وزيادة عمق النافثات. (Rahil وآخرون (2013))،يوصى باستخدام فترة ري قصيرة (فاصل يوم واحد) عند استخدام المياه شديدة الملوحة. للحد من الأضرار التي لحقت بالتربة المرتبطة بالري بالمياه قليلة الملوحة، خلصت العديد من الأبحاث إلى أن اعتماد نظام ري فعال (مثل الري بالتنقيط والري بالرش) واستراتيجية (مثل الري عالي التردد) يمكن أن يتحكم في درجة تراكم ملوحة التربة و تقليل تأثير الملوحة العالية على بيئة التربة. علاوة على ذلك، يمكن للمياه قليلة الملوحة أن تغير بيئة التربة وتؤثر على عمل الشعيرات في التربة، مما يؤدي إلى تغييرات في نفاذية التربة واحتباس الماء. كما يمكن أن يؤدي إلى تراكم الأملاح في التربة، مما سيحد من نمو المحاصيل ويسبب الجفاف الفسيولوجي، مما يؤثر على امتصاص جذور المحاصيل للمياه، ويمنع عملية التمثيل الضوئي، وتغيير الخصائص الفسيولوجية للمحاصيل. ولذلك، ينبغي النظر بشكل كامل في تأثير المياه قليلة الملوحة على التربة والمحاصيل، عند استخدام المياه قليلة الملوحة في الري.

6. مقترحات بناء القدرات وتوطين التكنولوجيا

الموارد المياه المالحة تمثل مصدراً مكملاً لإمدادات المياه الحالية والمستقبلية في المنطقة العربية. تتطلب تنمية المياه قليلة الملوحة تخطيطًا وإدارة دقيقة لضمان استمراريتها في خدمة التنمية الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة. فيما يلي توصيات بشأن إجراءات السياسة:

6.1 بناء القدرات

ويجب أن تقابل الزيادة في قدرة تحلية المياه زيادة في القدرة على تطوير وتنفيذ وتشغيل مرافق تحلية المياه. القدرة على التعامل مع مشاريع تحلية المياه هي عنق الزجاجة أمام تطوير تحلية المياه المالحة.

يشمل بناء القدرات بذل الجهود للعثور على مجموعات المجتمع المحلي ودعمها، حتى يتمكنوا من المساعدة في تحديد المشكلات والفرص وترتيب أولوياتها، وفي تقييم الطرق الممكنة للمضي قدمًا، وفي التخطيط والتنفيذ (Al-Mutaz, 2001).

تتضمن مشاكل القدرات الخاصة فيما يتعلق بقطاع تحلية المياه في المنطقة العربية التالي:

1. عدم كفاية تقييم مصادر المعلومات والبيانات خاصة المتعلقة بتكنولوجيا تحلية المياه.
2. قلة المعرفة والقدرات التقنية المحدودة.
3. قلة الموارد المالية للبحث.
4. عدم وجود سياسات وطنية مناسبة فيما يتعلق بتحلية المياه في التخطيط طويل المدى مع ضرورة إنشاء البنى التحتية المؤسسية الكافية لإدارة وتشغيل أنظمة تحلية المياه.

يحتاج إنشاء محطات تحلية المياه وصياغتها وتنفيذها إلى هياكل تنظيمية لإدارة الأنشطة المطلوبة على المستوى الحكومي وكذلك داخل المرافق والصناعة والبحث والتطوير والمعاهد التعليمية المعنية. مطلوب توزيع المهام والوظائف والمسؤوليات بين المنظمات المشاركة. وستكون وظيفة هذه المنظمات هي ضمان تصميم وتصنيع وبناء وتشغيل محطات تحلية المياه. تعد الموارد البشرية المؤهلة عاملاً مهمًا للحفاظ على نجاح تشغيل محطات تحلية المياه. كما يجب وضع خطة لتنمية القوى العاملة في مرحلة مبكرة لتنمية الموارد البشرية المؤهلة تأهيلاً عالياً.

6.2 دور البحث والتطوير وتوطين التكنولوجيا

يعد البحث والتطوير (R&D) والابتكار مجالًا مركزيًا للسياسات الوطنية والدولية الفردية والاستراتيجيات المبتكرة. ويتعلق الأمر في المقام الأول بعلاقة سياسات البحث والتطوير بالتعليم والابتكار والتوظيف والمعلومات وسياسة الأعمال. يلعب البحث والتطوير دورًا رئيسيًا في توليد المعرفة والمنتجات والعمليات التكنولوجية الجديدة، والتي تعد شرطًا ضروريًا للنمو الاجتماعي المستقر والمستدام. إذا أرادت البلدان العربية أن تصبح اقتصاداً قائماً على المعرفة وأكثر قدرة على المنافسة، فلا ينبغي تحسين إنتاج المعرفة فحسب، بل أيضاً نشر المعرفة واستخدامها. من الضروري إدارة الاستخدام والنقل الفعال للمعرفة بين المنظمات البحثية والجامعات والمنظمات العامة على وجه الخصوص.

لعبت الوتيرة السريعة للتطورات التكنولوجية دورا رئيسيا في الثورات الصناعية السابقة. ومع ذلك، من المتوقع أن تنمو الثورة الصناعية الرابعة والتقدم المحرز في نشر التكنولوجيا بشكل كبير من حيث التغيير التقني والأثر الاجتماعي والاقتصادي. ومع ذلك، لا يزال الأكاديميون يكافحون من أجل تحديد منهجهم بشكل مناسب.

تمثل العلوم والتكنولوجيا والابتكار فئة أكبر على التوالي من الأنشطة التي تعتمد على بعضها البعض إلى حد كبير ولكنها متميزة أيضًا. وفقًا لذلك، يساهم العلم في التكنولوجيا بطرق مختلفة منها:

- المعرفة الجديدة، التي تكون بمثابة مصدر مباشر للأفكار حول الإمكانيات التكنولوجية الجديدة.
- مصدر للأدوات والتقنيات لتصميم هندسي أكثر كفاءة وقاعدة معرفية لتقييم جدوى التصاميم.
- ممارسة البحث كمصدر لتطوير واستيعاب المهارات والقدرات البشرية الجديدة المفيدة للتكنولوجيا في نهاية المطاف؛ وإنشاء قاعدة معرفية تزداد أهمية في تقييم التكنولوجيا من حيث آثارها الاجتماعية والبيئية بشكل أوسع أو قاعدة المعرفة التي تتيح استراتيجيات أكثر كفاءة للبحث التطبيقي والتطوير وتحسين التكنولوجيات الجديدة.

ومع ذلك، فإن عدداً من التجارب التي شارك فيها القطاع الخاص منذ التسعينيات لم ترق إلى مستوى توقعات جميع الأطراف المعنية وأدت في بعض الحالات إلى مناقشات مسيسة إلى حد كبير والتحكيم الدولي. وعلى وجه الخصوص، لم تتحقق الزيادة المتوقعة في تدفقات الاستثمار الخاص. وكانت الأسباب في كثير من الأحيان هي سوء فهم الفرص والمخاطر التي تنطوي عليها مشاركة القطاع الخاص في هذا القطاع المعقد، فضلا عن عدم كفاية الظروف المحيطة. وقد ساهم ذلك في تحفيز اهتمام الجمهور بدور مشاركة القطاع الخاص في تطوير وإدارة شبكات المياه، وكذلك بشكل عام حول الظروف التي يمكن في ظلها تقديم خدمات المياه بشكل آمن وبأسعار معقولة ومستدام. كما أدى إلى تغيرات سريعة في أشكال مشاركة القطاع الخاص، نحو العقود الأقل خطورة دائما. كما ان هناك صعوبات سابقة ساهمت في الكشف عن تعقيدات قطاع المياه

1. إن التكاليف الثابتة المرتفعة المقترنة باستثمارات طويلة الأجل لا رجعة فيها والطلب غير المرن نسبياً تميل إلى جعل هذا القطاع قطاعاً احتكارياً يصعب فيه إدخال المنافسة ويلعب فيه التنظيم دوراً مركزياً.

2. الماء حاجة أساسية. لجودة المياه وإمكانية الوصول إليها عوامل خارجية مهمة تؤثر على الصحة والمساواة بين الجنسين والبيئة. هذه تبرر مصلحة السياسة العامة.

3. تقع مسؤولية توفير خدمات المياه والصرف الصحي في كثير من الأحيان على عاتق السلطات المحلية. ومع ذلك، فإن أهمية العوامل الخارجية، ومراعاة دورة المياه الكاملة وتحقيق أقصى استفادة، تتطلب اتباع نهج متكامل لتطوير وإدارة البنية التحتية للمياه وتوفير الخدمات.

4. يضم القطاع العديد من أصحاب المصلحة ويعاني من تجزئة المسؤوليات لا سيما عبر المستويات الحكومية والهيئات العامة.

5. يواجه المستثمرون في قطاع المياه والصرف الصحي مخاطر تجارية. المخاطر التعاقدية، ومخاطر صرف العملات الأجنبية، والمخاطر السيادية، والتدخلات السياسية التعسفية، وسياسات التسعير المعقدة ذات الأهداف المتعددة، مثل استرداد التكاليف، والكفاءة الاقتصادية، والأهداف البيئية، والإنصاف، والقدرة على تحمل التكاليف.

. إن العلاقات طويلة الأمد، والمنافسة المحدودة، وعدم إمكانية الرجوع عن البنية التحتية والتكنولوجيا قد تعرض القطاع للمخاطر، لا سيما مخاطر سيطرة أصحاب المصالح الخاصة.

إن التركيز فقط على البعد الخاص مقابل البعد العام للمشغلين قد يكون مضللاً لسببين رئيسيين. أولاً، لا ترتبط العقبات التي تعترض تطوير البنية التحتية للمياه والصرف الصحي بالملكية إلى حد كبير. ثانياً، يستوعب "القطاع الخاص" مجموعة كبيرة ومتنوعة من الجهات الفاعلة. ولا يشمل ذلك المرافق الشبكية الكبيرة التي تديرها الشركات الدولية فحسب، بل يشمل أيضًا الجهات الفاعلة المحلية والصغيرة الحجم وسلسلة متواصلة من الشراكات بين المشغلين من القطاع الخاص والجهات الفاعلة العامة والمجتمعات المحلية. أصبحت معظم الأنظمة هجينة بشكل متزايد ونادرًا ما تكون عامة أو خاصة تمامًا. كما أن الشراكات هي في الواقع ترتيبات لأصحاب المصلحة المتعددين لأنها تشمل، بالإضافة إلى الكيان "الخاص"، مستويات مختلفة من الحكومات والمستهلكين والمجتمعات المحلية. بالتالي، يشمل البحث والتطوير في القطاع التجاري (الخاص) جميع الشركات المقيمة، بما في ذلك الشركات المؤسسة بموجب القوانين وجميع الأنواع الأخرى من شبه الشركات التي من شأنها أن تحقق ربحًا أو أي ربح آخر لأصحابها.

ويلزم تطوير القدرات المحلية وتطبيق أحدث تقنيات تحلية المياه من خلال توفير الدعم المالي واللوجستي. ينبغي على الحكومات العربية تقديم دعم سخي للمساعدة في تطوير وتجريب تقنيات تحلية المياه الجديدة، مثل التناضح الأمامي الذي يعمل بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح. ويمكن القيام بذلك من خلال منح الجامعات المحلية والإقليمية الأموال والمنح الدراسية السخية للبحث واختبار قابلية تطبيق التقنيات الجديدة. لدى بعض البلدان (مثل المملكة العربية السعودية) مخصصات كبيرة لمبادرات العلوم والتكنولوجيا. ولا يزال من الصعب رؤية كيف ستتمكن الجامعات المحلية من تحويل أفكارها البحثية الفكرية إلى أصول اقتصادية عالية القيمة. ينبغي على الحكومات العربية تقديم الدعم المالي للسماح بإنشاء مراكز التدريب على تحلية المياه. ويجب على الحكومات بالشراكة مع الشركات المحلية بناء وتجهيز مثل هذه المراكز. تمتلك المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة في المملكة العربية السعودية مركز التدريب الوحيد الذي يركز على تحلية المياه في المنطقة. وبالإضافة إلى ذلك، يتولى المجلس العربي للمياه قيادة عملية بناء القدرات من خلال إنشاء الأكاديمية العربية للمياه (AWA) والشبكة العربية لتكنولوجيا تحلية المياه لتسهيل التواصل وبناء القدرات والتعاون بين خبراء تحلية المياه في الدول العربية (Bushnak ، 2010).

7. الاستنتاجات والاتجاهات المستقبلية

7.1 الاستنتاجات

يعرض هذا التقرير تحقيقًا شاملاً لحالة المياه قليلة الملوحة الحالية وطرق معالجتها واستخدامها. ومن المعروف أن المنطقة تعاني من نقص مائي، لذا فإن البحث عن كل فرصة لإمدادات المياه المستدامة هو الأولوية القصوى بالنظر إلى مشكلة الأمن الغذائي أيضًا، حتى تكون المنطقة مستدامة من حيث الأمن المائي والغذائي. ناقشت هذه الدراسة الاستخدام المباشر للمياه قليلة الملوحة في الري وكذلك إمكانية تحلية المياه قليلة الملوحة للأغراض الزراعية والشرب. لقد تم تقديم عرض تفصيلي لتقنيات تحلية المياه الحالية بالإضافة إلى معايير اختيار التكنولوجيا المناسبة لتحلية المياه قليلة الملوحة. إن لكل من متطلبات الطاقة والأثر البيئي دور في إعاقة الاستخدام الواسع النطاق لتحلية المياه المالحة، علاوة على ذلك، قدم التقرير بعض المبادئ التوجيهية لتوجهات السياسات المقترحة فيما يتعلق ببناء القدرات وتوطين التكنولوجيا والشراكة بين القطاع الخاص والقطاع العام والأطراف الأخرى المعنية.

7.2 الاتجاهات المستقبلية

تُقترح الإجراءات التالية لاستخدام المياه قليلة الملوحة كمصدر أكثر استدامة لمياه الري:

1. من المستحسن أن تنظر الحكومات إلى الري قليل الملوحة باعتباره ممارسات زراعية جيدة. ولذلك يمكن أن تكون المياه قليلة الملوحة جزءًا من السياسات الوطنية للحكومات والخطط الاستراتيجية المتكاملة لتنمية الأراضي والموارد المائية.
2. يمكن للحكومات أيضًا أن تقوم برسم خرائط للمنطقة لإمكانات المياه عالية الملوحة لتحديد جدواها الاقتصادية والنظر في العوامل الهيدرولوجية والبيئية المختلفة. وينبغي أن يقترن ذلك بتطوير القاعدة المعرفية وبناء القدرات التقنية والمؤسسية.
3. يلزم بذل جهود متضافرة من جانب المنظمات الإقليمية لتعزيز التعاون الإقليمي والبحوث التطبيقية في مجال تنمية المياه قليلة الملوحة. وتشمل مجالات التعاون المحتملة أنشطة بناء القدرات، وتبادل البيانات والمعلومات، وإنشاء مراكز المعرفة لدعم الأفراد والمنظمات العاملة في إدارة المياه قليلة الملوحة واستخدامها.
4. يمكن تمويل وبناء مشاريع المياه قليلة الملوحة على نطاق تجريبي في المناطق المحتملة لإظهار التقنيات الجديدة التي تستخدم المعرفة الإقليمية المحلية.
5. يوصى لمحطات تحلية المياه الجديدة بتقليل استهلاك الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية لكل وحدة مياه منتجة. ومن الممكن أن تضع الحكومات العربية حداً أقصى لانبعاثات الكربون المائي لتحقيق ذلك.
6. تنفيذ تقنيات تحلية المياه بالطاقة الشمسية المطورة حديثاً للأنظمة الصغيرة والكبيرة. يمكن للحلول والمنتجات التقنية العربية لتحلية المياه والتوليد المشترك للطاقة الشمسية أن توفر قاعدة اقتصادية قوية للعديد من البلدان في المنطقة.

تحتاج الدول العربية إلى التخطيط لتصدير الطاقة الشمسية لتحقيق ازدهارها المستقبلي بقدر اعتمادها على صادرات النفط والغاز اليوم.

7. ومن الموصى به أن تقدم الحكومات دعماً سخياً لاستثمارات القطاع الخاص في مجال البحث والتطوير، والتدريب، ورأس المال الاستثماري عالي التقنية، والصناعات المحلية القائمة على المعرفة. وينبغي دمج هذا الدعم لتحقيق النتائج الاقتصادية المحلية الوطنية المرغوبة وتحقيق أهداف التصدير في الصناعات الاستراتيجية مثل تحلية المياه والطاقة الشمسية.

8. قد تقوم الدول العربية بتطوير برامج مشتركة للبحث والتطوير في مجال تحلية المياه والطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وربما طاقة الأمواج والمد والجزر. ومن شأن مثل هذه البرامج أن تزيد من قيمة الأفكار الجديدة ونتائج البحوث الناشئة عن مراكز المعرفة المؤسسية الجديدة.

8. مراجع

Italy.

- FAO (2023), Guidelines for brackish water use for agricultural production in the Near East and North Africa region, FAO, Cairo, Egypt.
- Fatma A. Atia, Safaa M. Soliman and Maher A. El Shewiy (2010), Development of Groundwater Strategy for Use of Brackish Groundwater in Egypt.
- Hani Sewilam, Peter Nasr (2015), “Desalinated Water for Food Production in the Arab Region”, springer, DOI: 10.1007/978.
- Kim, S. J., Ko, S. H., Kang, K. H., & Han, J. (2010). Direct seawater desalination by ion concentration polarization. Nature Nanotechnology, 5(4), 297–301.
- Krishna, H. (2004). Introduction to desalination technologies. Texas Water Development Board.
- Lenntech. (2014). Reverse Osmosis Desalination: Brine disposal. Retrieved April 11, 2014.
- M.A. Dawoud (2019), Sustainable Brackish Ground Water Use in the Arab Region.
- Ali M. El-Nashar, Darwish Al Gobaisi,and Bushara Makkawi (2007), “Solar Energy for Desalination in the Arab World” , springer nature, Vol I-Vol V.
- Beltrán, J. M., & Koo-Oshima, S. (2004). Water desalination for agricultural applications. FAO.
- Buros, O. K. (1990). The ABCs of Desalting (Second Edition). Topsfield, Massachusetts: International Desalination Association.
- Bushnak, A. A. (2010). Desalination (Arab environment: Water No. 8). Beirut, Lebanon: Arab Forum for Environment and Development.
- E. Ali (2017), Energy efficient configuration of membrane distillation units for brackish water desalination using energy analysis, Chem. Eng. Res. Des.
- Elimelech, M. (2007). Yale constructs forward osmosis desalination pilot plant. Membrane Technology, 2007(1), 7–8.
- ESCWA. (2009). Role of Desalination in Addressing Water Scarcity (Water Development No. 3). New York: United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.
- FAO (2011), Agriculture and Water Quality Interactions: A Global Overview, FAO, Rome,

Life Support Systems (EOLSS).

- UNDP. (2013). Water governance in the Arab region: managing scarcity and securing the future. USA.
- USGS (2014), USA National Groundwater Assessment Report.
- Vijay N. Jagannathan, Ijay Jagannathan, Ahmed Shawky Mohamed, Alexander Kremer (2009), "Water in the Arab World Management Perspectives and Innovations", Washington, DC 20433.
- Waleed Al-Zubari (2014), "Synthesis Report on Groundwater Governance Regional Diagnosis in the Arab Region, Groundwater Governance: A Global Framework for Action, Regional Consultation".
- World Bank (2009). Water in the Arab World: Management Perspectives and Innovation, Middle East and North Africa (MENA) Region, NW Washington, DC 20433, USA.
- World Bank. (2012). Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. Washington DC, USA: World Bank.
- Xiaoxuan Zhu, Yangjiu Liu, Fa Du, Jitian Han, Guangyu Hao, Liangie Li, Qingzhao Ma (2021), Geothermal direct contact membrane distillation system for purifying brackish water, Desalination.
- Zhao, S., Zou, L., Tang, C. Y., & Mulcahy, D. (2012). Recent developments in forward osmosis: Opportunities and challenges. Journal of Membrane Science, 396, 1–21.
- M.A. Dawoud (2019), Sustainable Brackish Ground Water Use in the Arab Region.
- Ma, W.; Mao, Z.; Yu, Z.; Mensvoort, M.E.F.V.; Driessen, P.M.J.(2008), Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of winter wheat—Maize in North China Plain. Irrig. Drain. Syst. 22, 3–18.
- Mayer, T. M., Brady, P. V., & Cygan, R. T. (2010). Nanotechnology Applications to Desalination: A Report for the Joint Water Reuse & Desalination Task Force. Sandia National Laboratories.
- Phuntsho, S. (2012, January). A novel fertiliser drawn forward osmosis desalination for fertigation (Doctoral of Philosophy Thesis). University of Technology, Sydney (UTS), New South Wales, Australia.
- Rahil, M.; Hajjeh, H.; (2013), Qanadillo, A. Effect of Saline Water Application through Different Irrigation Intervals on Tomato Yield and Soil Properties. Open J. Soil Sci. 3, 143–147.
- Selim, T.; Berndtsson, R.; Persson, M.; Somaida, M.; El-Kiki, M.; Hamed, Y.; Mirdan, A.; Zhou, Q. (2012), Influence of geometric design of alternate partial root-zone subsurface drip irrigation (APRSDI) with brackish water on soil moisture and salinity distribution. Agric. Water Manag. 103, 182–190.
- Takeshi Matsuura, Dipak Rana, Mohamed Rasool Qtaishat, Gurdev Singh (2005), Recent advances in membrane science and technology in seawater desalination – with technology development in the middle east and Singapore. Water and waste water treatment technologies- ©Encyclopedia of