تحلية مياه البحر في العربية السعودية: العوائد المحقّقة والتكاليف المتحمّلة خلال الفترة (٢٠٠٠ ـ ٢٠١٤)

كمال بوعظم(*)

كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة سطيف ـ ١.

آمال ينون

كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة جيجل ـ الجزائر.

(*) البريد الإلكتروني: bouadamkamel@yahoo.fr.

مقدمة

وجدت العربية السعودية في تحلية مياه البحر بديلاً تنموياً مهماً لمواجهة بعض مظاهر الندرة المائية في ظل محدودية الموارد التقليدية بنوعيها السطحية والجوفية أساساً. وبدا خيار تحلية مياه البحر مقبولاً اقتصادياً، واجتماعياً، وبيئياً، في ظل توفر المقوّمات الأساسية لقيام هذه الصناعة المعقّدة تقنياً، والمكلفة مالياً.

ومنذ تبنّيها خيار تحلية مياه البحر في مطلع ثمانينيات القرن العشرين تحديداً، تمكّنت العربية السعودية من بناء صناعة قوية أهّلتها لتكون رائدة على المستوى العالمي في إنتاج المياه المحلّاة. وهذا ما خفّف من معاناة مواطنيها، خاصة مع الدور المحوري الذي أدته المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة في مجال توزيع المياه المحلاة، وإيصالها إلى كافة مناطق البلاد عبر سلسلة خطوط الأنابيب التي أنشأتها.

١ ـ **إشكالية الدراسة**: ما زالت صناعة تحلية مياه البحر تثير العديد من القضايا المرتبطة بمدى العائد الحقيقي الذي يمكن أن تحققه للدول التي تبنّتها، في ظل التكلفة المرتفعة التي تقوم عليها، خاصة ما تعلق باستهلاكها المرتفع للطاقة التي هي أحد الموارد الاستراتيجية الناضبة، فضلاً عن التكاليف البيئية التي يلخصها حجم الانبعاثات الغازية والمحلول الملحي الناتج من المحطات. لذا يبدو خيار تحلية مياه البحر في العربية السعودية بين فكّي كماشة العوائد المحققة والتكاليف المتحمّلة. ومن هنا تبرز لنا مشكلة الدراسة حول التساؤل التالي:

إلى أي مدى تمكّنت العربية السعودية من تحقيق مواءمة بين التكاليف المتحمّلة والعوائد المحققة من تحلية مياه البحر خلال الفترة (٢٠٠٠ ـ ٢٠١٤)؟

٢ ـ **فرضيات الدراسة**: حتى نعالج الإشكالية المطروحة، ننطلق من الفرضيات الآتية:

- إن لجوء العربية السعودية إلى تحلية مياه البحر، كان نتيجة تفاعل العديد من العوامل الاقتصادية، والاجتماعية، والسياسية.
- حققت تحلية مياه البحر للعربية السعودية عوائد مهمة جعلتها تبتعد عن خطر الضيق المائي الشديد.
- تحمّل تحلية مياه البحر، العربية السعودية، تكاليف ضخمة ناتجة من كمية الطاقة المستهلكة والتقنية المستخدمة.

٣ ـ **أهمية الدراسة**: في خضم الكفاءة والفعالية التي ميّزت صناعة تحلية مياه البحر عبر العالم، كانت للعربية السعودية بصمة مهمة على المستوى العالمي في تغيير أوراق اللعبة المائية لصالحها من خلال اللجوء إلى تحلية مياه البحر التي ساهمت في إعادة رسم ملامح الجغرافية المائية للبلاد من جغرافية بملامح مأسوية إلى جغرافية بملامح تفاؤلية ساهمت في ضمان احتياجات المواطن السعودي من مياه الشرب، وقلّصت الضغط على حجم الموارد الجوفية، طبعاً، من دون إغفال استهلاكها الكبير للطاقة الأحفورية، وانعكاس ذلك على حجم هذه الموارد، والتأثير في البيئة البحرية، تحديداً، من خلال المحلول الملحي.

٤ ـ **أهداف الدراسة**: نهدف من خلال دراستنا هذه إلى:

- التعرّف إلى جغرافية تحلية مياه البحر في العربية السعودية.
- الوقوف على التحديات المرتبطة بتحلية مياه البحر في العربية السعودية.
- تحديد العوائد التي حققتها نتيجة اعتمادها على تحلية مياه البحر.
- توصيف التكاليف التي تحمّلتها العربية السعودية نتيجة اعتمادها على تحلية مياه البحر.

٥ ـ **محاور الدراسة: تم** تقسيم الدراسة إلى أربعة مباحث رئيسية.

أولاً: جغرافية تحلية مياه البحر في العربية السعودية

تظهر الخريطة المائية للعربية السعودية ذلك التوزيع غير المتكافئ والعادل لمصادر المياه ما بين أقاليم البلاد. وتعدّ المياه الجوفية المورد التقليدي الاستراتيجي للعربية السعودية، في ظلّ شحّ الموارد السطحية بسبب قلة الهطولات. وهذا ما جعل جغرافية تحلية مياه البحر تتخذ مكاناً متميزاً لها ضمن الخريطة المائية للبلاد في العقود الأخيرة.

١ ـ مفهوم «عملية تحلية المياه»

يقصد بمفهوم «عملية تحلية المياه» فصل الماء العذب عن الأملاح الذائبة في الماء المالح (سواء ماء البحار أو الآبار)، ولذا تسمّى أحياناً «إعذاب الماء»، أو «إزالة الملوحة». ويكفي الإنسان حمداً لله أنه يعلم أن الله خلق له أكبر وأعظم محطة تحلية لمياه البحار والمحيطات (حيث يتبخر الماء بحرارة الشمس وحركة الرياح، ويسقط على صورة أمطار عذبة)، وتعمل هذه المحطة الربانية منذ بدأت الحياة على الأرض، وتستمر إلى أن يورث الله الأرض ومن عليها (وتسمّى بالدورة المائية)[١].

٢ ـ دوافع لجوء العربية السعودية إلى تحلية مياه البحر

يمكن الوصول إلى تحديد جملة الدوافع التي جعلت من العربية السعودية تتبنّى هذا الخيار الاستراتيجي من التساؤل التالي: **لماذا تحلية مياه البحر؟**. إن الإجابة عن هذا السؤال، تحملها العناصر الآتية:

أ ـ لا تخضع صناعة التحلية للتقلبات المناخية، كما أن محطات التحلية يمكن إنشاؤها بالقرب من مراكز الاستهلاك، الأمر الذي يقلل من تكلفة ضخ المياه الجوفية أو مدّ خطوط الأنابيب لتوصيل المياه إلى المناطق النائية. وبالنسبة إلى العربية السعودية خاصة، ودول الخليج عامة، لا يوجد بديل لتحلية المياه، نظراً إلى عجز موارد المياه الطبيعية، والنمو السكاني، وزيادة الاحتياجات المائية للأغراض المنزلية والصناعية.

(١) حسن البنا وسعد فتح، **تكنولوجيا تحلية المياه: الجزء الأول** (الإسكندرية: الدار الجامعية، ٢٠٠١)، ص ١٨.

ب ـ تعتبر تكلفة تشغيل محطات التحلية مرتفعة، ولكن تكلفتها الرأسمالية تعدّ أقل من تشغيل المنشآت التقليدية، مثل السدود، هذا علاوة على عدم ثبات كميات المياه التي يتم حصادها، نظراً إلى عدم انتظام حدوث السيول في المناطق الجافة.

ج ـ تحتوي محطات التحلية على معدات ميكانيكية، كالمضخات التي يتم تطويرها باستمرار، ولا سيَّما ما يتعلق برفع كفاءتها وزيادة قيمتها الاقتصادية، وصناعة تحلية المياه تحوّل مياه البحر المالحة والمياه الجوفية المالحة والمختلطة إلى مياه ذات مواصفات ممتازة، الأمر الذي يجعلها صالحة لجميع الأغراض المنزلية.

د ـ ليس على صناعة التحلية محاذير سياسية أو اجتماعية أو قانونية، كتلك المحاذير التي تتعلق بالخزانات المائية الطبيعية أو أحواض الأنهار المشتركة. وتتوافر محطات التحلية في أحجام مختلفة، كما أنها تستخدم تقنيات متنوعة، الأمر الذي يجعلها مناسبة لجميع الاستخدامات من المنازل الصغيرة حتى المدن الكبيرة.

هـ ـ الاستثمار في صناعة التحلية أكثر جدوى من تمويل مشروعات المياه التقليدية، كما أن الوقت المطلوب لإنشاء محطات التحلية أقصر من الوقت الذي يتطلبه مدّ خطوط أنابيب لتوصيل المياه إلى مناطق نائية (انخفضت تكلفة تحلية المياه من٠٤ دولار/ م^3 إلى أقل من ٠١ دولار/ م^3 في الوقت الحالي، حيث تعمل المحطات المزدوجة الوظيفة على توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه في الوقت نفسه، الأمر الذي يخفض من التكلفة).

وتعدّ هذه دوافع عامة تشترك فيها جميع الدول التي تبنّت تقنية تحلية المياه، لكن هناك دوافع خاصة بكل دولة، كما حال العربية السعودية[٢]، وذلك نظراً إلى الأمور الآتية:

- العربية السعودية بلد صحراوي، وهذا ما جعل مواردها المائية شحيحة جداً تكاد تكون معدومة في بعض الأقاليم.
- لا تتوفر لدى العربية السعودية مجار مائية طبيعية دائمة، والموجود منها عبارة عن مجارٍ متقطعة أو كاذبة، كما أن الموارد السطحية محدودة جداً بسبب المناخ، وتقع تقريباً في جنوب غرب البلاد.
- استنزاف الطبقات الجوفية الأحفورية التي وصلت في أغلب أقاليم العربية السعودية إلى مستويات حرجة، في ظل ارتفاع نسبة ملوحتها، إلى جانب ارتفاع معدلات التبخر.

٣ ـ التطور التاريخي لتحلية المياه المالحة في العربية السعودية

حرصت العربية السعودية منذ تأسيسها على إعطاء الأولوية للمورد المائي، بسبب خصوصيته وطبيعته الاستراتيجية. وكانت هذه المحدودية دافعاً كبيراً إلى تبني خيار استراتيجي لا بديل منه، وهو تحلية المياه المالحة من الخليج العربي والبحر الأحمر، كمصدر متنام بهدف تلبية احتياجات الشرب لسكان البلاد.

(٢) Frank Galland, «Géopolitique de dessalement,» Fondation pour la recherche stratégique (Paris), Note de la FRS; no. 18 (2008), pp. 1-2, <https://www.frstrategie.org/barreFRS/publications/notes/2008/20080929.pdf>.

الجدول الرقم (١)

الخطوات الرئيسية لتطور تجربة العربية السعودية لتحلية المياه المالحة

١٩٠٧	• ظهور الكنداسة أو الآلة المقطرة للماء، إذ جلبتها الحكومة العثمانية آنذاك للمساعدة في توفير الماء العذب، خصوصاً للحجيج الذين يتوافدون إلى مكة المكرمة.
(١٩١٠ ـ ١٩٢٧)	• تم تخريب الكنداسة، وتم إصلاحها، وعادت إلى الإنتاج، ثم استمرت تعمل بتقطع حتى عام ١٩٢٧. وكان سبب ذلك انقطاع الفحم الحجري زمن الحرب السعودية ـ الهاشمية، ما دفع إلى استخدامها كموقد للحطب، ليتم تخريبها نهائياً في العام نفسه. • استيراد الحكومة السعودية آلتين كبيرتين عام ١٩٢٧، لتقوما بمهمة تقطير الماء.
١٩٦٥	• إنشاء إدارة للتحلية تابعة لوزارة الزراعة والمياه، وذلك لدراسة الجدوى الاقتصادية والخطوات التمهيدية لإنشاء محطات لتحلية المياه المالحة.
١٩٦٦	• دراسة مصادر المياه المحيطة لتحديد أي منها الأفضل لتزويد العربية السعودية بالمياه (نهر النيل، نهر السند، شط العرب). • كانت مصادر المياه الجوفية أقل المصادر التي تم التفكير في الاعتماد عليها لسبب رئيسي، هو أنها عرضة للنضوب، خاصة إذا فاق السحب التعويض بمراحل.
١٩٦٩	• إنشاء أولى محطات تحلية مياه البحر في مدينة الوجه على الساحل الغربي للبحر الأحمر، بالتعاون مع وزارة الداخلية الأمريكية (مكتب تحلية المياه)، بطاقة إنتاجية ١٩٨م^3/ يومياً.
١٩٧٢	• تطوير إدارة التحلية وإسناد مهامها إلى وكالة الوزارة لشؤون تحلية المياه المالحة، بحكم توسع أعمال المشاريع الجديدة وأعمال التشغيل والصيانة للمحطات القائمة.
١٩٧٤	• صدور المرسوم الملكي الرقم (م/ ٤٩)، المتعلق بإنشاء المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة.

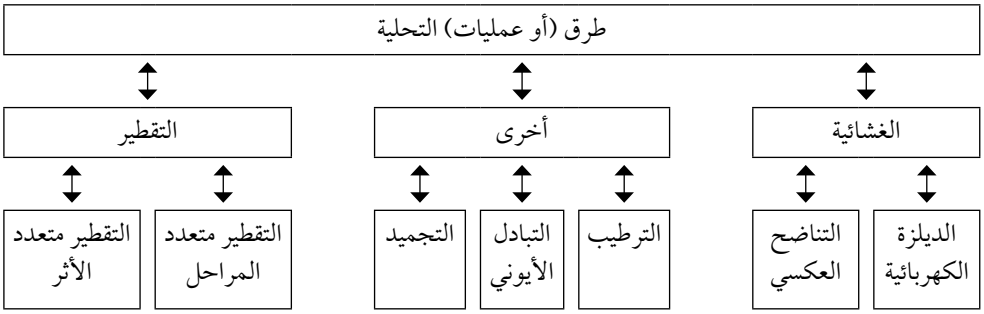
المصدر: «قصة التحلية في العربية السعودية: النشأة والتطور والازدهار،» **المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة** (الرياض)، العدد ١ (رمضان ١٤٢٧هـ/ تشرين الأول/ أكتوبر ٢٠٠٦)، ص ٢١ ـ ٩٧، <http://www.swcc.gov.sa/default.asp?pid=139>.

٤ ـ تقنيات تحلية مياه البحر في العربية السعودية

لا تختلف التقنيات المعتمدة لتحلية مياه البحر في العربية السعودية عن باقي التقنيات السائدة على المستوى العالمي، وربما يكمن الاختلاف فقط في حصة كل تقنية من حجم الإنتاج اليومي والسنوي.

الشكل الرقم (١)

تقنيات تحلية مياه البحر المعتمدة على المستوى العالمي (وفي العربية السعودية)



المصدر: Youssef Mandri, «Etude Paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide,» (Diplôme de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon1, France, 2011), p. 8.

نلاحظ من خلال الشكل الرقم (١) أن تقنيات تحلية المياه المالحة بشكل عام تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين (إذا استثنينا أخرى)، وهي تقنيات التقطير والتقنيات الغشائية. وتعدّ تقنيات التناضح العكسي والتقطير المتعدد المراحل من التقنيات التجارية التي تسيطر على سوق التحلية العالمي وسوق التحلية في العربية السعودية.

أ ـ تقنيات التقطير (العمليات الحرارية)

هي التقنيات التي تعتمد على تبخير المياه، وتنقسم إلى قسمين رئيسيين هما:

(١) **التقطير الومضي المتعدد المراحل** (MSF): تعتبر تقنية التبخير الومضي المتعدد المراحل من أكثر تقنيات التحلية نضوجاً. وهي تتميّز بمزايا متعددة من حيث قدرتها على الاستمرارية في التشغيل لفترات طويلة من دون توقف (من ٢ إلى ٥ سنوات)، وعدم حساسيتها من نوعية مياه البحر الداخلة فيها. كما أنها من أقدر التقنيات على إنتاج كميات كبيرة من المياه المحلاة. وتستطيع الوحدة الواحدة منها إنتاج ٠٠٠ ,١٠٠م^3/ اليوم، وبنقاوة عالية تصل إلى أقل من ٢٠ جزءاً من المليون، وهذا كله أدى إلى انتشار هذه التقنية، وخاصة في دول الخليج[٣].

تعتمد هذه الطريقة على تسخين الماء إلى درجة معينة تتراوح بين٩٠ و١٢٠ درجة مئوية في السخان الملحي، ثم يتم ضخّ الماء إلى مجموعة غرف متتالية وذات ضغط منخفض (مفرغة من الهواء)، فيحدث تبخر ومضي للماء عند درجة حرارة الدخول إلى كل غرفة، علما بأن درجة حرارة المياه تنخفض من مرحلة إلى أخرى. ولذلك يتم زيادة خلخلة الضغط لكل مرحلة عن المرحلة السابقة لها لضمان استمرار

(٣) أندريا سيبولينا، جيورجيو ميكاله ولوشيو ريزوتي، **تحلية مياه البحر: سيرورات الطاقة التقليدية والمتجددة**، ترجمة غازي درويش؛ مراجعة محمد عبد الستار الشيخلي، تقنيات استراتيجية ومتقدمة ـ المياه؛ ٣ (بيروت: المنظمة العربية للترجمة، ٢٠١١)، ص ٥٠.

عملية التبخير الومضي، أما البخار المتصاعد في الغرف فيتم تكثيفه على أنابيب مياه التغذية. وينتج أن هذا تسخين مبدئي لمياه التغذية قبل دخولها إلى السخان الملحي، وبذلك يتم تقليل الطاقة اللازمة للتسخين[٤].

(٢) **التقطير المتعدد التأثير** (MED): تشبه هذه العملية، عملية التبخير الومضي المتعدد المراحل، إذ إنها تتم في سلسلة من الأوعية (أو غرف التأثير) مستخدمة مبدأ تخفيض الضغط السائد في الغرف المتعددة. وهذا يسمح لمياه التغذية بالغليان عدة مرات من دون تزويد حرارة إضافية بعد الوعاء الأول، إلا أنه يكتفي بالاستفادة من الأبخرة المتصاعدة من المبخر الأول للتكثف في المبخر الثاني. وبالتالي، فإن المبخر الثاني يعمل كمكثف للأبخرة القادمة من المبخر الأول. وتصبح مهمة هذه الأبخرة في المبخر الثاني مثل مهمة بخار التسخين في المبخر الأول. وبالمثل، فإن المبخر الثالث يعمل كمكثف للمبخر الثاني، وهكذا يعمل كل مبخر في تلك السلسلة كمكثّف للمبخر السابق[٥]. ويتمثل مبدأ هذه التقنية بـ[٦]:

- التبخير من على السطح الخارجي لحزمة أنابيب مسخّنة بواسطة تكثيف البخار الذي ينساب داخلها. والبخار المتكوّن في المرحلة الواحدة يتم إمراره إلى المرحلة اللاحقة العاملة تحت ضغط أقل، وبالتالي في درجة غليان أقل.
- يمثل هذا الترتيب تكامل الحرارة بما يسمح بتحقيق كفاءة عالية جداً، تتمثل بالحصول على نسبة أداء تصل إلى ١٠ ـ ١٢ كغم من الماء المقطر للكغم الواحد من بخار التغذية الداخل إلى المرحلة الأولى.
- من أجل الارتفاع بالعملية إلى كفاءة أعلى للطاقة، تتم المزاوجة بين وحدات «MED» مع أنماط وسائل استرجاع البخار الأخرى، مثل المنظومتين الواسعتي الانتشار: الضغط بالكبس البخاري (TVC)، والضغط البخاري الميكانيكي (MVC).

ب ـ التقنيات الغشائية

تعتمد تقنيات تحلية المياه بالأغشية على وجود قوة دافعة للماء أو الملح للانتقال عبر غشاء شبه منفذ يسمح بمرور أحد المكوّنات مع ترك العنصر الآخر (الماء فقط أو الأملاح فقط).

(١) **التناضح العكسي** (RO): هي عملية انتقال عكسي للماء من المحلول الأكثر تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً عبر غشاء شبه منفذ أو نصف مسامي، تحت تأثير ضغط أعلى من الضغط الأسموزي للمياه العالية التركيز. ويتم الحصول على الضغط المطلوب بواسطة مضخات الضغط المرتفع، ويتحكّم في قيمته عدة عوامل، أهمها: درجة حرارة وملوحة مياه التغذية، والإنتاجية المطلوبة. وتصنع أغشية التناضح العكسي من أنماط مختلفة، وهناك نوعان يتم استخدامهما على نطاق واسع، هما: الغشاء الملفوف حلزونياً، والألياف (الشعيرات) الدقيقة المجوّفة[٧].

---

(٤) **تحلية المياه المالحة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: تاريخها وحاضرها ومستقبلها**، الإصدار الأول (الرياض: الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربي، ٢٠١٠)، ص ٢٣، <http://sites.gcc-sg.org/DLibrary/index.php?action=ShowOne&BID=425>.

(٥) المصدر نفسه، ص ٢٤.

(٦) سيبولينا، ميكاله وريزوتي، **تحلية مياه البحر: سيرورات الطاقة التقليدية والمتجددة**، ص ٢٤.

(٧) **تحلية المياه المالحة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: تاريخها وحاضرها ومستقبلها**، ص ١٩.

وتحتاج هذه التقنية إلى عمليات معالجة أولية دقيقة لماء التغذية (لإزالة المواد العالقة، مثل الطمي أو الرمال وغيرها)، وكذلك إزالة وفصل الأحياء الدقيقة (كالفطريات والبكتيريا والطحالب) أو قتلها، وذلك للمحافظة على وحدة التحلية من انسداد وتلف الأغشية. كما يحتاج الماء المنتج إلى معالجة نهائية لضبط خواصه بما يناسب الخواص المطلوبة بحسب الاستخدام (سواء أكان ماء شرب، أم مياهاً للغلايات البخارية، أم للاستخدام الصناعي والغذائي والطبي). وعليه، فمحطة التحلية تتكون من ثلاثة نظم أساسية: **الأولى** للمعالجة الابتدائية، و**الثانية** لفصل الماء العذب، و**الثالثة** للمعالجة النهائية[٨].

(٢) الديلزة الكهربائية (ED): هي عملية تسليط جهد كهربائي معين على قطبين مختلفين: أحدهما موجب، والآخر سالب، بحيث تمر مياه التغذية من بين الأقطاب، فيحدث تجاذب للأيونات تتجه على إثره الأيونات الموجبة إلى القطب السالب، والأيونات السالبة إلى القطب الموجب. وتمر المياه خارج الوحدة بعدما تكون انخفضت ملوحتها إلى درجة مناسبة للاستخدام. وتعتبر الديلزة الكهربائية تقنية فعالة لتحلية المياه القليلة الملوحة (حتى ٢٠٠٠ جزء في المليون)[٩].

الجدول الرقم (٢)

مقارنة المميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

التكنولوجيا	المميزات
MSF (Multi-Stage-Flashing) **(التقطير الومضي المتعدد المراحل)**	١ ـ مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر في استهلاك الطاقة لكل م٣؛ ٢ ـ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً (٥ ـ ٢٥ جزءاً في المليون)؛ ٣ ـ التكنولوجيا ناضجة، والعملية مستقرة، والخبرة فيها للتشغيل، والصيانة عالية؛ ٤ ـ يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى ١٠٠٠٠٠ م٣/ اليوم؛ ٥ ـ التبخر بعيد عن سطح انتقال الحرارة؛ ٦ ـ التكنولوجيا بسيطة.
MED (Multi-Effect-Distillation) **(التقطير المتعدد التأثير)**	١ ـ مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر في استهلاك الطاقة لكل م٣؛ ٢ ـ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً (٥ ـ ٢٥ جزءاً في المليون)؛ ٣ ـ التكنولوجيا ناضجة، والعملية مستقرة، والخبرة فيها للتشغيل، والصيانة عالية؛ ٤ ـ انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى: ● خفض نسبة تكوين الرواسب والتآكل؛ ● رفع قيمة الإتاحة والتواجدية؛ ● استخدام مواد رخيصة الثمن.
RO (Reverse Osmosis) **(التناضح العكسي)**	١ ـ لا يحتاج ماء التغذية إلى تسخين. لذا يقلل من التآكل والترسبات؛ ٢ ـ ملوحة الماء المنتج من (٣٠٠ ـ ٥٠٠ جزء في المليون)، وهي مناسبة لماء الشرب؛ ٣ ـ مرونة سعة الوحدات (من ١٠٠ ل ـ ١٠,٠٠٠ م٣/ اليوم)، بحسب حجم وعدد الأغشية المستخدمة؛ ٤ ـ تحتاج فقط إلى طاقة كهربائية، كما يمكن استعادة من٢٥ ـ ٣٠ بالمئة من هذه الطاقة.

المصدر: حسن البنا وسعد فتح، **تكنولوجيا تحلية المياه: الجزء الأول** (الإسكندرية: الدار الجامعية، ٢٠٠١)، ص ٢٢٣.

(٨) البنا وفتح، **تكنولوجيا تحلية المياه: الجزء الأول**، ص ٢٥٢.

(٩) **تحلية المياه المالحة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: تاريخها وحاضرها ومستقبلها**، ص ١٩.

٥ ـ خريطة محطات تحلية مياه البحر العاملة في العربية السعودية

تحصي العربية السعودية عدداً كبيراً من محطات تحلية مياه البحر، تنتشر على طول الساحل الغربي (البحر الأحمر) والساحل الشرقي (الخليج العربي).

أ ـ محطات التحلية العاملة في العربية السعودية: العدد، ونوع التقنية، وسعة الإنتاج اليومي

تتوفر العربية السعودية على عدد كبير من محطات تحلية مياه البحر، بطاقة إنتاجية يومية تتجاوز ٥ ملايين م٣.

الجدول الرقم (٣)

المحطات التابعة لوزارة المياه والكهرباء

المنطقة	العدد	نوع التقنية	السعة (م٣/ اليوم)
الرياض	٣٦	RO	١,٠٤٢,٧٧٧
مكة المكرمة	٠٣	RO	٤٤,٠٠٠
المدينة المنورة	٣٠	RO	٢٠,٨٠٠
القصيم	١٢	RO	٢٩٦,٤٣٩
المنطقة الشرقية	١٨	RO	٤٥,٣٢٠
عسير	٠٨	RO	١٣,٠٥٠
تبوك	_	RO	_
حائل	٠٥	RO	٦٠,١٠٠
الحدود الشمالية	٠٢	RO	٣٤,٥٠٠
جازان	٠٢	RO	٢٥,٠٠٠
نجران	١٦	RO	٢,٦٠٠
الساحة	٠١	RO	١٢,٠٠٠
الجوف	٠٩	RO	١٢٤,٣٠٠
الإجمالي	١٤٤	RO	١,٧٢٠,٨٨٦

المصدر: الكتاب الإحصائي للمياه في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الإصدار الثالث (الرياض: الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربي، ٢٠١٢)، ص ١٧ ـ ١٨، <http://sites.gcc-sg.org/DLibrary/index.php?action=ShowOne&BID=600>.

من خلال قراءة الجدول الرقم (٣)، نلاحظ أن جميع المحطات التابعة لوزارة المياه والكهرباء تعمل بتقنية التناضح العكسي. كما أن هناك تبايناً في توزيع محطات التحلية ما بين أقاليم العربية

السعودية. وتسجل مدينة الرياض أعلى نسبة لتمركز محطات التحلية (٢٥ بالمئة)، بسعة إنتاج يومي تعادل ١,٠٤٢,٧٧٧ م٣، مقابل نسبة لا تتجاوز ٠,٦٩ بالمئة لإقليم الساحة بسعة إنتاج يومي تعادل ١٢,٠٠٠م٣.

من خلال قراءة الجدول الرقم (٤)، نلاحظ أن تقنية «MSF» تسيطر على نسبة ٤٨,٣٩ بالمئة من التقنيات العاملة في المحطات التابعة للمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، بإنتاج يومي قدره ٣,٤٢٨,٧٥٨م٣، تليها تقنية «RO» بنسبة ٣٢,٢٦ بالمئة، وبإنتاج يومي قدره ٦٥٨,٠٨٦م٣، ثم تأتي تقنية «MED» بنسبة ١٦,١٣ بالمئة، وبإنتاج يومي قدره ٤٢,٥٧٠م٣).

ب ـ تطور حجم إنتاج المياه المحلاة خلال الفترة (٢٠٠٠ ـ ٢٠١٢)

شهد إنتاج المياه المحلاة في العربية السعودية نمواً متواصلاً مع بداية الألفية الثالثة، أهّل البلاد لتحتل المرتبة الأولى عالمياً في هذه الصناعة، خاصة بعد الدور الذي أدته المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، وكذا المعاهد المتخصّصة في دراسة هذه التقنية، من حيث الموازنة بين العوائد والتكاليف، والبحث عن أنجع الأساليب لجعل تحلية مياه البحر بديلاً مستداماً.

الجدول الرقم (٤)

محطات التحلية التابعة للمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة

اسم المحطة	نوع التقنية	السعة (م٣/ اليوم)
جدة ٣	MSF	٧٥,٩٨٧
جدة ٤	MSF	١٩٠,٥٥٥
جدة تناضح ١	RO	٤٨,٨٤٨
جدة تناضح ٢	RO	٤٨,٨٤٨
ينبع ١	MSF	٩٤,٦٢٥
ينبع ٢	MSF	١٢٠,٠٩٦
ينبع تناضح عكسي	RO	١٠٦,٩٠٤
الشعيبة ١	MSF	١٩١,٧٨٠
الشعيبة ٣	MSF	٣٩٠,٩٠٩
الشعيبة ٣	MSF	٨٨٠,٠٠٠
توسعة الشعيبة ٣	RO	١٥٠,٠٠٠
الشقيق ١	MSF	٨٣,٤٣٢
الشقيق ٢	RO	٢١٢,٠٠٠
فرسان ٢	MED	٧,٧٤٠
القنفذة ١	MED	٧,٧٤٠
الليث ١	MED	٧,٧٤٠
الجبيل ١	MSF	١١٨,٤٤٧
الجبيل ٢	MSF	٨١٥,١٨٥
الجبيل تناضح عكسي	RO	٧٨,١٨٢
مرافق الجبيل	MSF	٠٠
الخبر ٢	MSF	١٩١,٧٨٠
الخبر ٣	MSF	٢٤٠,٨٠٠
الخفجي	MSF	١٩,٦٨٢
حقل	RO	٣,٧٨٤
ضبا	RO	٣,٧٨٤
الوجه ٣	RO	٧,٧٤٠
أملج ٢	MED	٣,٧٨٤
أملج ٣	RO	٧,٧٤٠
رابغ ٢	MED	١٥,٤٨٠
العزيزية	MSF	٣,٨٧٠
البرك	MED	١,٩٥٠
المجموع		**٤,١٢٩,٤١٤**

المصدر: المصدر نفسه، ص ١٨.

تبرز معطيات الجدول الرقم (٥) النمو المتواصل لسعة إنتاج المياه المحلاة في العربية السعودية على مدار العقد الأول من الألفية الثالثة، وكذا بداية العقد الثاني بمستويات متباينة.

من خلال قراءة الجدول الرقم (٦)، نلاحظ أن حصة تقنية MSF من إنتاج المياه المحلاة تقدر بنسبة ٦٢,٥٩ بالمئة و٥٦,٤٤ بالمئة على التوالي خلال عامي ٢٠٠٨ و٢٠١٢، ثم تأتي ثانياً تقنية RO بنسبة ٣٧,٢١ بالمئة و٤٢,٢٦ بالمئة، متبوعة بتقنية MED بنسبة ٠,١٥ بالمئة و١,٢٩ بالمئة على التوالي. كما نلاحظ تراجعاً نسبياً في حصة تقنية MSF من سوق التحلية خلال عام ٢٠١٢ مقارنة بعام ٢٠٠٨، مقابل ارتفاع نسبي بالنسبة لتقنيتي RO وMED.

ثانياً: العوائد المحقّقة من تحلية مياه البحر في العربية السعودية

مع بداية الألفية الثالثة، كانت تحلية مياه البحر في العربية السعودية قد حققت أهدافاً مهمة على الصعيد الاقتصادي، والاجتماعي، والسياسي للبلاد، واختزلت معاناة العربية السعودية التي كان يمكن أن تواجهها في ظرف قياسي.

١ ـ زيادة عرض الموارد المائية

ساهمت تحلية مياه البحر في العربية السعودية في دعم القدرات المائية للبلاد، وقلّصت الضغط الكبير على الموارد المائية الجوفية التي أصبحت في وضعية حرجة جداً.

الجدول الرقم (٥)

نمو السعة المركبة لإنتاج المياه المحلاة في العربية السعودية (مليون غالون/ اليوم)

السنة	السعة (مليون غالون/ اليوم)
٢٠٠٠	٩٠٣,٩
٢٠٠١	٩٠٦,٤
٢٠٠٢	٩١٣,٠
٢٠٠٣	٩١٤,٩
٢٠٠٤	٩٢٤,٢
٢٠٠٥	٩٧٩,٠
٢٠٠٦	١٠١١,٦
٢٠٠٧	١٠٢٨,٨
٢٠٠٨	١٠٣٧,٦
٢٠٠٩	١٠٥٠,٢
٢٠١٠	١١٠٩
٢٠١١	١١٤٥
٢٠١٢	١١٤٩

المصدر: تحلية المياه المالحة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: تاريخها وحاضرها ومستقبلها، الإصدار الثاني (الرياض: الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربي، ٢٠١٤)، ص ٢٣، <http://sites.gcc-sg.org/DLibrary/index.php?action=ShowOne&BID=672>.

الجدول الرقم (٦)

سعة التحلية المركبة (مليون غالون/ اليوم) بحسب نوع التقنية (٢٠٠٨ و٢٠١٢)

	٢٠٠٨	٢٠١٢
MSF	٦٤٩,٧	٦٤٨,٦
RO	٣٨٦,٣	٤٨٥,٧
MED	١,٦١	١٤,٨٥
VC	–	–
ED	–	–
المجموع	**١٠٣٨**	**١١٤٩,٢**

المصدر: المصدر نفسه، ص ٣٣.

الجدول الرقم (٧)

الموازنة المائية لخطة التنمية الثامنة (٢٠٠٥ ـ ٢٠٠٩) وتوقعات الخطة التاسعة (٢٠١٤)

(الوحدة مليون م^3)

البيان	٢٠٠٤	٢٠٠٩	توقعات عام ٢٠١٤
الطلب على المياه للأغراض البلدية	٢١٠٠	٢٣٣٠	٢٥٨٣
الطلب على المياه للأغراض الزراعية	١٧٥٣٠	١٥٤٦٧	١٢٧٩٤
الطلب على المياه للأغراض الصناعية	٦٤٠	٧١٣	٩٣٠
إجمالي الطلب على المياه	**٢٠٢٧٠**	**١٨٥٠٧**	**١٦٣٠٧**
مياه سطحية وجوفية متجددة	٥٤١٠	٥٥٤١	٤٦٤٤
مياه جوفية غير متجددة	١٣٤٩٠	١١٥٥١	٨٩٧٦
مياه البحر المحلاة	**١٠٧٠**	**١٠٤٨**	**٢٠٧٠**
مياه الصرف الزراعي المعالجة	٤٠	٤٢	٤٧
مياه الصرف الصحي المعالجة	٢٦٠	٣٢٥	٥٧٠
إجمالي الموارد المائية المتاحة	**٢٠٢٧٠**	**١٨٥٠٧**	**١٦٣٠٧**

المصدر: **خطة التنمية التاسعة (٢٠١٠ ـ ٢٠١٤)** (الرياض: وزارة الاقتصاد والتخطيط، ٢٠١٣)، ص ٤٦٠، <http://www.mep-gov.sa>.

لتحليل معطيات الجدول الرقم (٧)، نحسب النسب التالية:

٢٠١٤	٢٠٠٩	٢٠٠٤
(١) نسبة مياه البحر المحلاة إلى إجمالي موارد المياه المتاحة		
١٢,٦٩ بالمئة	٥,٦٦ بالمئة	٥,٢٩ بالمئة
(٢) نسبة مياه البحر المحلاة إلى إجمالي موارد المياه غير التقليدية		
٧٧,٠٤ بالمئة	٧٤,٠٦ بالمئة	٧٨,١٠ بالمئة
(٣) نسبة الموارد التقليدية إلى إجمالي موارد المياه المتاحة		
٨٣,٥٢ بالمئة	٩٢,٣٥ بالمئة	٩٣,٢٤ بالمئة
(٤) نسبة الموارد غير التقليدية إلى إجمالي موارد المياه المتاحة		
١٦,٤٨ بالمئة	٧,٦٥ بالمئة	٦,٧٦ بالمئة

المصدر: من إعداد الباحثين اعتماداً على بيانات الجدول الرقم (٧).

تبيّن النسب المحسوبة جملة من الحقائق حول الموارد المائية في العربية السعودية:

ا ـ ما زالت الموارد التقليدية (الجوفية والسطحية) هي المورد الرئيسي للمياه المتاحة في البلاد بنسبة تتراوح ما بين ٨٣ ـ ٩٣ بالمئة.

ب ـ لا تزال مساهمة الموارد غير التقليدية (تحلية مياه البحر ومعالجة مياه الصرف) في إجمالي الموارد المائية المتاحة، ضئيلة وتتراوح بين ٧,٥ ـ ١٦,٥ بالمئة.

ج ـ ارتفعت مساهمة مياه البحر المحلاة إلى إجمالي موارد المياه غير التقليدية، وتتراوح بين ٧٤ ـ ٧٨ بالمئة.

د ـ تزايدت مساهمة مياه البحر المحلاة في عرض موارد المياه المتاحة في العربية السعودية من ٦,٧٦ بالمئة عام ٢٠٠٤، لتبلغ ١٦,٤٨ بالمئة عام ٢٠١٤ (بحسب توقعات الخطة التاسعة).

الجدول الرقم (٨)

الطاقة الإنتاجية وكميات المياه الصادرة من محطات التحلية

(الوحدة مليون غالون/ اليوم)

البيان	الطاقة الإنتاجية لمحطات التحلية (م.غ.ن.)	كميات المياه الصادرة من محطات التحلية (م.غ.ي.)
٢٠٠٥	٧٤٦,٥٧	٧٤١,٨٩
٢٠٠٦	٧٤٣,٦٤	٧٤٨,٤٦
٢٠٠٧	٧٧٥,٦٧	٧٩١,٠٣
٢٠٠٨	٧٧٢,٥٢	٧٩٥,٤٩
٢٠٠٩	٧٣٧,١٨	٧٤٩,٤٦
٢٠١٠	٦٣٩,٠٥	٩٤٤,٥٦
٢٠١١	٦٩٨,٨٢	١,١٠٠,١١
٢٠١٢	٧١٩,٢١	١,١١٤,٨٥

المصدر: الاقتصاد السعودي في أرقام (١٤٣٤/ ١٤٣٥هـ) (الرياض: وزارة الاقتصاد والتخطيط، ٢٠١٣)، <http://www.mep-gov.sa>.

من خلال قراءة الجدول الرقم (٨)، نلاحظ تذبذباً في نمو الطاقة الإنتاجية لمحطات التحلية من عام إلى آخر، وسجلت أعلى كمية عام ٢٠٠٨ بما يعادل ٧٧٢,٥٢ م.غ.ي.، مقابل أدنى كمية كانت عام ٢٠١٠، بما يعادل ٦٣٩,٠٥ م.غ.ي.. أما ما تعلق بكميات المياه الصادرة من محطات التحلية، فقد شهدت نمواً معتبراً، باستثناء الانخفاض الذي سجل عام ٢٠٠٩، وبلغت أعلى كمية ١,١١٤,٨٥ م.غ.ي. عام ٢٠١٢.

٢ ـ تفادي النزاعات المائية

لأن الماء هو العنصر الثاني الأغلى بعد الأوكسجين في حياتنا، فقد كانت أهميته حاضرة لدى كل الحضارات المتعاقبة التي عرفتها الإنسانية، ويخبرنا التاريخ عن الصراعات والنزاعات المائية التي شهدتها شبه الجزيرة العربية بسبب نقص هذا المورد الحيوي.

الجدول الرقم (٩)

التجمّعات السكانية الكبرى في العربية السعودية

(الوحدة ١٠٠٠ نسمة)

الإقليم	الرياض	مكة المكرمة	الشرقية	عسير	المدينة المنورة
عدد السكان	٣,٧٢٥,٦	٣,٥٨٤,٦	٢,٥٥٥,٥	١,٤٣٤,٨	١,١٤٤,٣

المصدر: المصدر نفسه، ص ١.

من خلال قراءة الجدول الرقم (٩)، يلاحظ أن التجمّعات السكانية الكبرى تضم أكثر من مليون ساكن، وهذا أدى إلى تزايد الضغط على الموارد المائية، خاصة الجوفية منها. كما أدى إلى تراجع منسوبها بشكل كبير، ما عرّض الموازنة المائية السعودية لاضطرابات كبيرة، فكان لا بد من إيجاد بديل مائي يضمن تخفيف الضغط على الموارد المائية الجوفية المهدّدة بالاستنزاف من ناحية، وضمان الاحتياجات الضرورية لسكان البلاد من ناحية أخرى. فكانت تحلية مياه البحر خير بديل لذلك، وساهمت بشكل كبير في تفادي وقوع نزاعات مائية داخل العربية السعودية خاصة في المناطق التي تشهد تجمعات أو كثافة سكانية مرتفعة. وكان للمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة أثر كبير في تحقيق هذا الهدف، من خلال استراتيجيتها التي راعت فيها مدّ أنابيب التحلية إلى التجمّعات السكانية الكبرى.

٣ ـ التخلص من التبعية المائية للخارج

الذي يقرأ قصة تحلية المياه المالحة في العربية السعودية، يقف على سيناريوهات عديدة، فكرت فيها السعودية من أجل زيادة عرضها المائي:

أ ـ سيناريو نقل مياه نهر النيل عبر أنابيب تمتد عبر البحر الأحمر (مصر ـ السودان ـ العربية السعودية).

ب ـ سيناريو مدّ أنابيب من تركيا إلى الخليج.

ج ـ سيناريو استيراد المياه من نهر السند (باكستان ـ الهند ـ العربية السعودية).

هذا إضافة إلى دراسة بعض الخيارات، مثل: تلقيح السحب، استخدام المطر الصناعي، تفجير حفرة هائلة في الربع الخالي لسحب مياه بحر العرب ... إلخ.

الجدول الرقم (١٠)

بعض خطوط الأنابيب العاملة ـ المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة

اسم المشروع	طول خط الأنابيب (كم)	عدد محطات الضخ	الجهات المستفيدة	عدد الخزانات	السعة الإجمالية (م٣)
خط مياه الجبيل ـ الرياض	٩٣٢	٦ ضخ	الرياض	١٨	٣,٣٠٠,٠٠
خط أنابيب الرياض – سدير – الوشم – القصيم	٨٨٤,٨	٢ ضخ + ٥ طرفية	سدير ـ الوشم ـ الغاط ـ الزلفي ـ القصيم	١٧	٥٢٠,٠٠٠
نظام نقل مياه الشعيبة ـ جدة	٣٥٣,٢٩٧	٢ضخ + ١ استقبال	جدة	٠٧	٩٠٠,٠٠٠
خطوط نقل مياه ينبع ـ المدينة المنورة (المرحلة الأولى)	٢٢٦	٢ ضخ	المدينة المنورة ـ ينبع	٠٢	٤٠,٠٠٠
خطوط أنابيب المنطقة الشرقية	١٠١,٩	١ضخ + ٧خلط	الخبر – الظهران – الدمام – سيهات – القطيف – صفوى – رأس تنورة	٦٠	٥٩٢,٢
نظام نقل المياه إلى مدن المنطقة الشرقية (المرحلة الثانية)	١٢٥,٣	١ ضخ + ٦ خلط	الخبر – الظهران – الدمام – القطيف – سيهات – صفوى	١٠	٢,٠٠٠,٠٠٠
خط مياه القنفذة	٦٤	ـ	القنفذة ـ حلي ـ القوز	٠٤	٤,٠٠٠
خط مياه رابغ	١٣٠	ـ	رابغ ـ مستورة ـ ثول	٠٦	١٨,٠٠٠

المصدر: «خطوط أنابيب عاملة،» المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة (الرياض)، <http://www.swcc.gov.sa/default.asp?pid=155>.

كل هذه السيناريوهات، بعد دراستها، وتحديد تكاليفها ومنافعها، ومقارنتها بالدراسات التي تمّت حول مصادر المياه داخل العربية السعودية، أفضت إلى أن هذه البدائل ستحمّل السعودية تكلفة سياسية تتمثل بالاعتماد على الآخر، وأنها حلول غير عملية. فكان الاختيار الأنسب هو اعتماد تحلية مياه البحر التي جعلت العربية السعودية مستقلة مائياً، ولو بدرجة معيّنة، خاصة من حيث تأمين مياه الشرب التي تعدّ الهدف الرئيسي للعربية السعودية ، والتي تندرج ضمن أهداف الألفية الإنمائية.

ثالثاً: التكاليف المتحمّلة لتحلية مياه البحر في العربية السعودية

تعدّ تحلية مياه البحر صناعة مكلفة بدرجة كبيرة. ويرجع ذلك إلى التكنولوجيا الدقيقة التي تستخدمها، وحجم الطاقة التي تستهلكها، إلى جانب مخرجات محطات التحلية (تحديداً المحلول الملحي)، والانبعاثات الغازية.

١ ـ تكلفة الطاقة

تستهلك تحلية مياه البحر الطاقة بكثافة مرتفعة، بحيث تشير بعض التقديرات إلى أن تكلفتها تصل إلى حوالى ٥٠ بالمئة من تكاليف التشغيل.

وفي العربية السعودية، تحديداً، ترتفع تكلفة إنتاج المياه المحلاة، وتزيد على ٥٠ بالمئة من تكلفة إنتاج المتر المكعب في بعض الدول الأخرى. ويرجع ذلك إلى التكلفة المرتفعة للطاقة المستخدمة في أكثر من ٣٥ محطة لتحلية المياه في البلاد[١٠].

الجدول الرقم (١١)

الطاقة المستعملة بحسب تقنيات التحلية المستخدمة

تقنية التحلية	الطاقة الكهربائية (kwh/m^3)	الطاقة الحرارية (أحادية الغرض) (Mj/m^3)	الطاقة الحرارية (توليد مشترك) (Mj/m^3)
MSF	٣,٥ ـ ٥٠	٢٥٠ ـ ٣٠٠	١٦٠ ـ ١٧٠
MED	١,٥ ـ ٢,٥	١٥٠ ـ ٢٢٠	١٠٠
RO (ماء البحر)	٥٠ ـ ٩٠	لا شيء	لا شيء
RO (مياه قليلة الملوحة)	٠,٥ ـ ٢,٥	لا شيء	لا شيء

المصدر: «Escwa Water Development Report 3: Role of Desalination in Addressing Water Scarcity,» Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) (New York) (2009), p. 23, <http://www.escwa.un.org/information/publications/edit/upload/sdpd-09-4.pdf>.

(١٠) علي عطية المقبلي، «التحلية.. تنمية وإنجازات،» **الاقتصادية** (الرياض)، العدد ٦٢٠٤ (٢٧ شوال ١٤٣١هـ. الموافق ٦ تشرين الأول/ أكتوبر ٢٠١٠م)، <http://www.aleqt.com/2010/10/06/article_451651.html>.

نلاحظ من خلال الجدول الرقم (١١)، ارتفاع كمية الطاقة المستهلكة لكل تقنية من تقنيات التحلية، حيث:

أ ـ تعدّ تقنية التناضح العكسي مستهلكاً كبيراً للطاقة الكهربائية، مقابل تراجع الكمية المستهلكة في حالة استخدام تقنيات التقطير.

ب ـ تستهلك تقنيات التقطير الطاقة الحرارية بدرجة كبيرة (وخاصة في المحطات الأحادية الغرض)، مقابل انخفاض نسبي في المحطات ذات التوليد المشترك (وهي حالة غالبية محطات التحلية العاملة بالتقطير في العربية السعودية.

ج ـ يقتصر استهلاك المحطات العاملة بتقنية التناضح العكسي على الطاقة الكهربائية فقط.

تنتشر محطات التوليد المشترك بشكل كبير في العربية السعودية، وتستخدم لإنتاج المياه المحلاة وتوليد الكهرباء، وتعدّ من ناحية اقتصادية مفيدة للبلاد، لأنها تعتمد على تقنيات التقطير ذات الاستهلاك الواسع للطاقة. وهذا ما يجعلها تعوّض جزءاً يسيراً من الطاقة المستهلكة على شكل طاقة كهربائية منتجة.

ويمكن التنويه إلى أنه كلما كان ماء التغذية (ماء البحر) الداخل إلى محطة التحلية قليل الملوحة، أدى ذلك إلى استهلاك أقل للطاقة، كما أنه كلما كانت المحطات ذات سعات كبرى (اقتصاديات الحجم)، أدى ذلك إلى انخفاض تكلفة الوحدة المنتجة من الماء المحلّى.

توطئة: بعض الحقائق حول الطاقة وتحلية المياه في العربية السعودية

أ ـ يعدّ دعم أسعار الطاقة من أكثر التحديات التي تواجه الاقتصاد السعودي، خاصة في ظل التكلفة المرتفعة التي تتحمّلها خزينة الدولة جراء هذا الدعم، وهو رغم إيجابياته الآنية، فإن تأثيراته سلبية في الاقتصاد الوطني للعربية السعودية. وربما تكون صناعة تحلية مياه البحر هي المستفيد الأكبر من هذا الدعم، بالنظر إلى كونها صناعة مستهلكة بشكل كبير للطاقة الأحفورية تحديداً، وهذا ما أضعف من كفاءة الطاقة.

ب ـ ستواجه العربية السعودية تحدياً ضخماً خلال السنوات العشرين القادمة، إذ سيتضاعف طلبها على الكهرباء ثلاث مرات تقريباً. لذلك هناك دافع رئيسي إلى ارتفاع الطلب على النفط المحلي جراء زيادة الطلب على المياه العذبة. والجدير بالذكر أن لدى السعودية أكبر محطات لتحلية مياه البحر في العالم، وهو ما يمثل أكثر من ١٨ بالمئة من الإنتاج العالمي.

ج ـ من أهم التحديات التي ستواجه إنتاج المياه المحلاة والطاقة في العربية السعودية، هو التكلفة المرتفعة للإنتاج. وارتفاعها يعكسه عاملين أساسيين[١١]:

(١١) محمد إبراهيم السقا، «تحديات تحلية المياه في المملكة: ارتفاع تكلفة الإنتاج،» **الاقتصادية**، العدد ٧٣٧١ (١٢/ ٢/ ١٤٣٥هـ ـ الموافق ١٦ كانون الأول/ ديسمبر ٢٠١٣م)، <http://www.aleqt.com/2013/12/16/article_807980.html>.

- طبيعة التقنيات الحالية المستخدمة في عملية تحلية المياه التي تعتمد أساساً على استخدام النفط الخام. ونظراً إلى ارتفاع أسعار النفط، فإن التكلفة المتوسطة لوحدة المياه ترتفع نتيجة ذلك، وهو الأمر الذي يفرض ضرورة التفكير في التحول نحو مصادر الطاقة البديلة في عملية التحلية لتخفيض تكلفة الإنتاج بخفض استهلاك النفط المستخدم.

- اضطلاع الحكومة بشكل حصري بعملية الإنتاج، وهو ما يرفع تكلفة الإنتاج، نظراً إلى انخفاض الكفاءة الإنتاجية لها بشكل عام. وفي المقابل، يتسم القطاع الخاص بأنه أكثر كفاءة نسبياً من الدولة في إنتاج السلع والخدمات، أي بتكلفة أقل، وبجودة أعلى. لذلك، فإن التخصيص التدريجي في عملية تحلية المياه سيسهم في خفض تكلفة الإنتاج.

٢ ـ التكلفة البيئية

ما زالت الدراسات بشأن التكلفة البيئية لتحلية مياه البحر غير مكتملة بشكل كلي، لكن النقطة المشتركة بين جميع الدول التي اعتمدت هذا البديل هو حجم الانبعاثات الغازية الناتجة من محطات التحلية، وكذا المحلول الملحي الذي يمكن التخلص منه بإلقائه في البحر.

وتشترك العربية السعودية مع سائر هذه الدول في هذا الجانب، وخاصة أنها تحتضن أكبر المحطات العاملة في العالم، فضلاً عن ارتفاع ملوحة مياه البحر فيها نسبياً مقارنة بباقي دول العالم.

الجدول الرقم (١٢)

تكلفة انبعاثات CO_2 لمختلف تقنيات التحلية في العربية السعودية وباقي دول العالم

تقنية التحلية	الطاقة الكهربائية	الطاقة الحرارية	$Kg\text{-}co_2/m^3$	كمية co_2 (دولار/م^3)
MSF	٣,٥ ـ ٥٠	٢٥٠ ـ ٣٠٠	٢٠,٤ ـ ٢٥,٥	٠,٤١ ـ ٠,٥٠
MSF (مشترك)	٣,٥ ـ ٥٠	١٦٠ ـ ١٧٠	١٣,٩ ـ ١٥,٦	٠,٢٨ ـ ٠,٣١
MED	١,٥ ـ ٥٠	١٥٠ ـ ٢٢٠	١١,٨ ـ ١٧,٦	٠,٢٤ ـ ٠,٣٥
MED (مشترك)	١,٥ ـ ٢,٥	١٠٠	٨,٢ ـ ٨,٩	٠,١٦ ـ ٠,١٢
RO (البحر)	٥٠ ـ ٩٠	لا شيء	٣,٤ ـ ٦,٠	٠,٠٧ ـ ٠,١٢
RO (قليلة الملوحة)	٠,٥ ـ ٢,٥	لا شيء	٠,٣ ـ ١,٧	٠,٠١ ـ ٠,٠٣

المصدر: المصدر نفسه، ص ٢٨.

من خلال قراءة الجدول الرقم (١٢)، نلاحظ ما يأتي:

أ ـ تعدّ تقنية MSF هي أكثر التقنيات إنتاجاً لغاز CO_2 مقارنة بالتقنيات الأخرى، حيث تتراوح الكمية المنتجة ما بين ١٣,٩ و٢٥,٠ كيلوجول/م^3، ثم تليها تقنية MED بكمية تتراوح ما بين ٨,٢

و١٧,٦ كيلوجول/ م٣). مقابل ذلك، تعدّ تقنية RO أقل التقنيات إنتاجاً لغاز CO_2 بكمية تتراوح بين ٣,٤ و٦,٠ كيلوجول/ م٣.

ب ـ ترتفع تكلفة انبعاثات CO_2 في تقنية MSF وتتراوح ما بين ٠,٤١ و٠,٥٠ دولار/ م٣، تليها تقنية MED وتتراوح بين ٠,٢٤ و٠,٣٥ دولار/ م٣، ثم تقنية RO وتتراوح بين ٠,٠٧ و٠,١٢ دولار/ م٣.

ج ـ هناك تناسب بين كمية CO_2المنبعثة من محطات التحلية تبعاً لنوع التقنية، وتكلفة هذه الانبعاثات. كما يلاحظ أن المحطات الثنائية الغرض (توليد الكهرباء وإنتاج الماء المحلي)، تنخفض فيها كمية الانبعاثات والتكلفة، وهي منتشرة بدرجة كبيرة في العربية السعودية، وتقتصر على طرق التقطير فقط.

الجدول الرقم (١٣)

التأثيرات الخارجية للتلوث الجوي الناتج من التحلية

	تكلفة التلوث المنبعث (دولار/ طن)	الانبعاثات المتوسطة عند إنتاج الكهرباء (غرام/ كيلوواط ساعي)
SO_2	٦,٤٦٨	١,٦
NO_χ	٣,٧٤٦	١,٧
PM_{10}	٩,٢٣٢	٠,٠٥
CO_2	١٩,٣٩	٧,٧

المصدر: المصدر نفسه، ص ١٣.

نلاحظ من خلال قراءة الجدول الرقم (١٣):

أ ـ ارتفاع تكلفة التلوث المنبعث من محطات تحلية مياه البحر بالنسبة إلى جميع الغازات، وخاصة CO_2 (١٩,٣٩دولار/ طن).

ب ـ ارتفاع كمية الانبعاثات المتوسطة عند إنتاج الكهرباء، خاصة بالنسبة إلى غاز CO_2 التي تصل إلى ٧,٧ غ/ كيلوواط ساعي، وتنخفض إلى أدنى مستوياتها بالنسبة إلى غاز PM_{10} بما يعادل ٠,٠٥ غ/ كيلوواط ساعي.

الجدول الرقم (١٤)

نظرة نوعية على التأثيرات البيئية لتقنيات التحلية

التأثير/ نوع المحطة	RO	MSF	ED
الضجيج	مرتفع	متوسط	منخفض
تدفق الماء	متوسط	متوسط	متوسط
العناصر الميكروبية	منخفض	مرتفع	منخفض
المواد السامة	متوسط	متوسط	متوسط
التلوث الجوي	منخفض	مرتفع	متوسط
الخطر الصناعي	منخفض	مرتفع	متوسط

المصدر: المصدر نفسه، ص ٣٠.

من خلال قراءة الجدول الرقم (١٤)، نلاحظ حجم الاختلافات في التأثيرات البيئية بالنسبة إلى تقنيات التحلية، ونجد ما يأتي:

أ ـ تعدّ تقنية RO هي الأفضل من حيث انخفاض العناصر الميكروية، والتلوث الجوي، والخطر الصناعي، إلى جانب انبعاث كمية متوسطة للمواد السامة، وتدفق للماء مرتفع. وفي مقابل ذلك، يعتبر ضجيجها منخفضاً.

ب ـ تعتبر تقنية ED هي الأفضل من حيث مستوى الضجيج والعناصر الميكروية. وفي مقابل ذلك، هناك تأثير متوسط للعناصر الأخرى.

ج ـ تعتبر تقنية MSF هي الأكثر تلويثاً للجو، كما أن خطرها الصناعي مرتفع، إلى جانب تدفق للماء، وإنتاج عناصر ميكروية، مرتفعان.

رابعاً: النتائج واختبار الفرضيات

١ ـ كان للتوزيع الجغرافي للموارد المائية في العربية السعودية، ولطبيعة هذه الموارد التي تعدّ في أغلبها جوفية وغير متجدّدة، الأثر الكبير في معادلتها المائية، خصوصاً مع التحولات الاقتصادية والديمغرافية التي ميّزتها. وهذا ما جعل البحث عن بدائل أخرى هدفاً رئيسياً للعربية السعودية، من أجل مواجهة شبح الندرة المائية، فكان لتحلية مياه البحر الأفضلية لدى الدولة كخيار استراتيجي، في ظل توفر الموارد المالية والطاقوية لتوطين هذه الصناعة، إلى جانب طول الشريط الساحلي للبلاد (الخليج العربي والبحر الأحمر). إن هذا هو ما أثمر توطيناً لصناعة تحلية مياه البحر في العربية السعودية، وجعل البلاد رائدة في هذا المجال على المستوى العالمي (**إثبات الفرضية الأولى**).

٢ ـ تمكّنت العربية السعودية بتحقيق الهدف المرتبط بتوفير مياه الشرب للسكان، من إنتاج المياه المحلاة، وخصوصاً أنه أصبح لديها أكبر المحطات لتحلية المياه في العالم. كما تمكّنت من تخفيف الضغط على مواردها الجوفية غير المتجدّدة، والأهم من ذلك أنها حققت استقلالية مائية عن دول الجوار الإقليمي تحديداً. وقد أدت المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة دوراً كبيراً في ذلك، من خلال إشرافها على العديد من المحطات، وعمليات الإنتاج والتوزيع للماء المحلّى، إلى أقاليم البلاد عبر سلسلة من الأنابيب (**إثبات الفرضية الثانية**).

٣ ـ تعتمد العربية السعودية على تقنيات التقطير (وخصوصاً المتعدد المراحل)، والتقنيات الغشائية (التناضح العكسي) في محطاتها العاملة. وهذا ما جعل جغرافية تحلية مياه البحر متنوعة، وذات أبعاد متداخلة. ففي الوقت الذي تنتج فيه تقنيات التقطير ماء محلّى نقيّاً جداً، فهي تستهلك كميات هائلة من الطاقة الحرارية، لكنها في الوقت ذاته تعمل على توليد الطاقة الكهربائية. كما أن ما يغطي التكلفة المرتفعة لمحطات التناضح العكسي، فهو العائد المتولد من الطاقة المنتجة مقابل ذلك، فهي رغم أنها تنتج ماءً أقل جودة، لكنها تستهلك كميات أقل من الطاقة الكهربائية. وهذا ما يؤكد حقيقة أن هناك تداخلاً

بين العوائد والتكاليف المترتبة على التقنيات المعتمدة في تحلية مياه البحر في العربية السعودية (**إثبات الفرضية الثالثة**).

٤ ـ تمثل الطاقة ما يعادل٥٠ بالمئة من تكلفة التشغيل في محطات تحلية مياه البحر في العربية السعودية، وهي طاقة أحفورية (النفط والغاز الطبيعي). وهذا ما جعل التكلفة أكبر كثيراً، لا من حيث تلك المستخدمة في محطات التحلية، بل أيضاً تلك التي تخلفها نتيجة الاستخدام لمورد غير متجدد. وهذا ما يجعل من تحلية مياه البحر بديلاً غير مستدام من ناحية استهلاك الطاقة الأحفورية.

٥ ـ لا تزال التكلفة البيئية لتحلية مياه البحر في العربية السعودية تلقي بظلالها على المشهد المائي، وخصوصاً ما تعلق بحجم الانبعاثات الغازية الناتجة من استهلاك الوقود الأحفوري، إلى جانب المحلول الملحي الذي يتم التخلّص منه بإلقائه في البحر.

ويمكن الخروج ببعض **المقترحات** التي نوجزها في النقاط الآتية:

١ ـ ضرورة مراعاة جوانب الاستدامة البيئية في استغلال موارد الطاقة الأحفورية غير المتجدّدة، والتي تعدّ من أرخص أنواع الطاقة في العالم، والاعتماد أكثر على الطاقات المتجددة التي تعدّ خياراً مستداماً، رغم ارتفاع تكلفتها، في المدى القريب.

٢ ـ تكثيف الجهود الرامية إلى التخلص من التبعية التقنية والفنية في إدارة محطات تحلية مياه البحر، ودعم المؤهلات السعودية في هذا الجانب، عن طريق التكوين، وإنشاء المعاهد المتخصّصة، كما هو حاصل حالياً.

٣ ـ فتح المجال أمام القطاع الخاص بشكل أوسع للمشاركة في الإشراف على بناء وإدارة واستغلال محطات تحلية مياه البحر، خصوصاً مع اكتساب العديد من هذه المؤسسات للخبرة في هذا المجال.

٤ ـ الاستعانة بالخبرات الأجنبية في مجال التخفيف من الانبعاثات الغازية الناتجة من استهلاك الطاقة، ورسم سياسات واضحة لأشكال التعاون من دون أن يؤدي ذلك إلى خلق تبعية أخرى للعربية السعودية.

٥ ـ رفع الدعم الكبير لأسعار الطاقة الذي تقدمه العربية السعودية للمؤسسات والسكان، وهذا ما أدى إلى عدم مراعاة خصوصية هذا المورد الاستراتيجي، وعدم كفاءة محطات تحلية مياه البحر في استخدام الطاقة، بالنظر إلى وفرتها بأقل الأسعار، مقارنة بباقي الدول.

٦ ـ العمل على صياغة استراتيجيا وطنية جديدة لكيفية تسعير الماء المحلّى المنتج، وتوزيعه على مناطق البلاد في ظل تدني التسعيرة الحالية بشكل كبير، الأمر الذي أدى إلى رفع تكلفة التحلية بشكل أكبر، وعدم القدرة على تعويض التكلفة، بالنظر إلى انخفاض تسعيرة الماء المحلّى. وهذا ما جعل المواطن السعودي من أكثر سكان العالم استهلاكاً للمياه.

خاتمة

أثبتت العربية السعودية أن تحلية مياه البحر ليست مجرد تقنية تقوم على تحويل مياه البحر المالحة إلى مياه عذبة قابلة للاستهلاك الآدمي، بل هي أكبر من ذلك، إذ إنها خيار استراتيجي لتحقيق الاستقرار الاقتصادي والسياسي للدول التي تعاني مشكلة في مواردها المائية التقليدية، وغياب بدائل أخرى لمعالجة هذه المشكلة.

وقد مكّنت تحلية مياه البحر العربية السعودية من أن تتفوق على عجزها المائي، وتصبح من أكثر دول العالم توطيناً لهذه التقنية الدقيقة والمكلفة من حيث مدخلاتها، وحتى مخرجاتها. لكن تلك قابلتها عوائد على أكثر من صعيد، خصوصاً ما ارتبط منها بتوفير مياه الشرب للسكان، وتعزيز قدراتها المائية الجوفية. لذلك نجحت العربية السعودية، إلى حدّ بعيد، في تحقيق مواءمة بين العوائد والتكاليف باعتمادها على تحلية مياه البحر، وذلك من أجل جعلها بديلاً مستداماً في المستقبل القريب، رغم التحديات التي ما زالت تواجهها ■