تقنيات تحلية مياه البحر

ما هى مياه البحار؟

ماء البحار يشير إلى مياه البحر والمحيطات سوياً، ونجد أن متوسط نسبة الملوحة في مياه البحار تمثل 3.5% أي أن كل كيلوجرام يحتوى على 35 جرام من الأملاح الذائبة والتي غالباً ما تكون أملاح كلوريد الصوديوم (تتراوح معدلات الملوحة بوجه عام ما بين 3.1 – 3.8%)، فمعدلات الملوحة لا تتساوى في مياه بحار العالم وذلك لاختلاطها بالماء العذب بالقرب من مصبات الأنهار وفي مناطق ذوبان الجليد حيث تقل الملوحة في أماكن الالتقاء هذه. من أكثر البحار ملوحة **البحر الميت** الذى يقع ما بين الأردن وفلسطين وهو يعد أعمق مكان في العالم على سطح الأرض.

وتحلية مياه البحر تتم بواسطة تقنيات معقدة التي تشهد مزيد من التطور والتقدم يوماً تلو الآخر، وتشير كلمة تقنيات إلى وجود أكثر من طريقة واحدة أو أسلوب يتم به علاج المياه المالحة وتحويلها إلى مياه صالحة للاستخدام لمختلف الأغراض

تمر تحلية مياه البحر بثلاث مراحل حتى تصل إلينا في صورتها الأخيرة بعد إزالة الأملاح و المعادن منها، وهذه المراحل هي :

- **المرحلة الأولية**، وهى المرحلة التي يتم فيها المعالجة الأولية لمياه البحر المالحة من إزالة الشوائب والمواد العالقة مثل ذرات التراب والملوثات منها مثل البكتريا، كما تتم فيها إضافة بعض المواد الكيميائية التي تسهل من الخطوات التالية في عملية التحلية
- ثم تأتى **المرحلة الثانية** التي يتم فيها إزالة الأملاح الزائدة من المياه، بجانب المواد العضوية والكيميائية الذائبة فيه بالمثل
- ثم **المرحلة الثالثة** والأخيرة التي تتم فيها المعالجة النهائية لمياه البحر، وذلك بإضافة بعض المواد الأملاح الأخرى التي تجعلها صالحة للاستخدام من قبل الكائنات الحية بدون أن تؤثر على حياتها بالسلب.

واختيار نوع التقنية التي تتم بها تحلية مياه البحر تعتمد على عدة عوامل

- نسبة الأملاح في ماء البحر، كلما زادت نسبة الأملاح كلما زادت معها صعوبة تطبيق تقنيات تحليتها
- كم الماء المراد تحليته، ومتطلباته من الطاقة اللآزمة لتحليته ومدى توافرها
- وجود عامل الخبرة والكفاءة، فوجود المتخصصين في مجال تحلية مياه البحر يضمن المستوى العالى من الأداء سواء في عمليات التشغيل أو الصيانة ويوفر المجهود والأموال التي تنفق على هذه التقنية
- مدى توافر قطع غيار محطات التحلية
- البيئة المحيطة بالمياه المالحة وأساليب التخلص من الأملاح الناتجة عن عملية التحلية، لما تلحقه من أضرار للبيئة من تمليح التربة المحيطة أو تسرب الملوحة إلى مصادر المياه الجوفية

توجد أكثر من تقنية متبعة لتحلية مياه البحر، وسنعرض تباعاً أنواع هذه التقنيات:

1. التحلية بالتقطير (Distillation)

وهو من أكثر الطرق انتشاراً بين طرق تحلية ماء البحر والآلية المستخدمة في تحلية مياه البحر عن طريق التقطير تعتمد فكرتها على رفع درجة حرارة ماء البحر المالح حتى يصل إلى درجة الغليان ويتحول إلى بخار ماء، هذا البخار يتم تكثيفه لتتم معالجته بعد ذلك ليصبح ماء عذباً خالياً من الأملاح والمعادن الزائدة يُستخدم في مختلف الأغراض من الشرب وري الأراضي الزراعية به إلا أن عملية التقطير نفسها لها أكثر من طريقة، من بينها:

أ- التقطير العادي للمياه المالحة:

التقطيرالعادي يتم استخدامه في محطات التحلية الصغيرة ذات السعة المحدودة، والتقطير للماء المالح يتم بالطريقة التقليدية المعتاد عليها في عملية تقطير الماء بوجه عام حيث يتم غليه في خزان كبير ولكن في غياب الضغط، وعند الغليان وتكون بخار الماء المتصاعد إلى أعلى الخزان يمر هذا البخار بأنبوب يتم توصيله بالمكثف الذى يتجمع فيه البخار، الذى يتحول بدوره إلى قطرات ماء يتم تجميعها في الخزان المخصص للماء المقطر

ب- التقطير باستخدام الطاقة الشمسية:

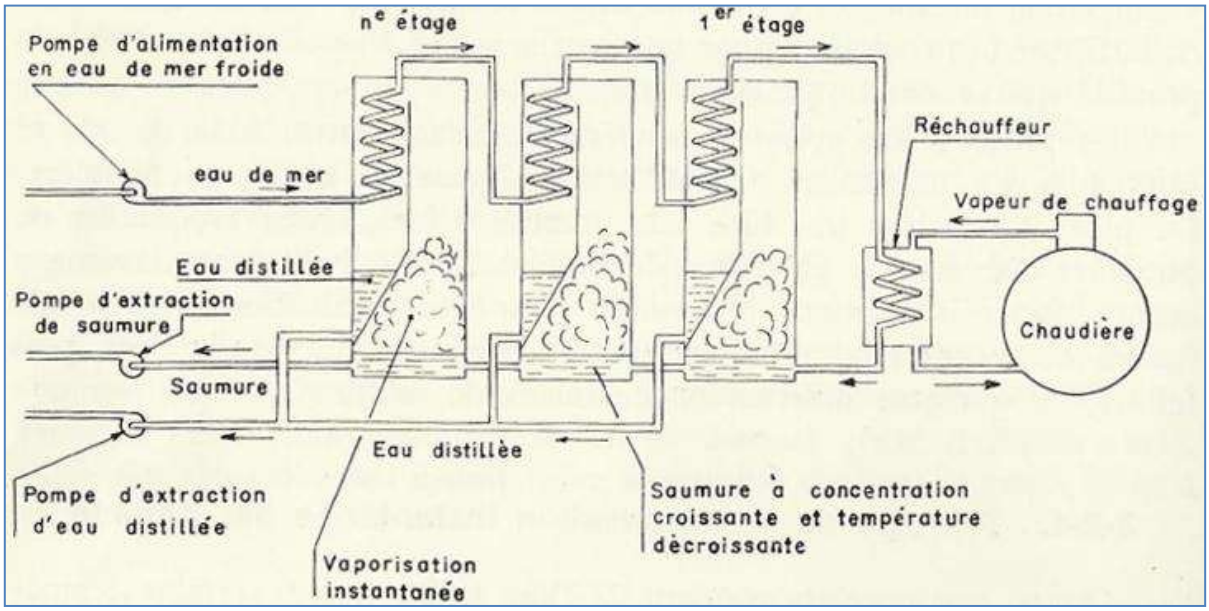
ولم يغفل العلماء عن الاستفادة من الطاقة الشمسية تلك الطاقة التي لا تنضب أو يتطلب الحصول عليها مجهود وتكاليف باهظة، على الرغم من وجود عوامل عدة تتحكم في مدى فعالية الشمس لاستخدامها كمصدر من مصادر الطاقة في تحلية ماء البحر عن طريق التقطير حيث تتأثر معدلات التبخر بسرعة الهواء والرياح، كما تتأثر بشدة سقوط الإشعاع الشمسي ويتم التقطير باستخدام الطاقة الشمسية بوضع ماء البحر في حوض أسود مغطى بسطح من الزجاج بزاوية مائلة، ويتم تسخين الماء بأشعة الشمس وعند ارتفاع درجة حرارة الماء يتصاعد البخار على الغطاء الزجاجي العلوى البارد ويتكثف عليه منحدرا إلى أسفل الزجاج ثم يتم تجميعه في حوض التجميع ومنه إلى الخزانات – الماء هنا لا يصل إلى درجة الغليان وإنما يسخن مما يتيح له التبخر لكن بمعدلات بطيئة، وكلما كان الإشعاع الشمسي الساقط على الحوض قوياً كلما زاد معدل التبخر أما إذا كان ضعيفاً للغاية تتوقف عملية التبخر كلية

ج- التقطير بالتسخين الومضي:(Multi-stage flash distillation)

إن آلية التقطير ليست بالآلية الحديثة بل يمكننا وصفها بأنها آلية بدائية وسهلة في نفس الوقت حيث تتمثل في تسخين الماء حتى درجة الغليان (يغلى الماء بوجه عام عند 100 درجة مئوية تحت الضغط العادي) والذى يتحول حينها إلى بخار يُكثف على أسطح باردة ليُعرف بعد ذلك ;بالماء المقطر، ولكن العلماء في سعي وجهد دائم لزيادة فعالية أساليب التقنية المتنوعة وهكذا الحال مع تقنيات تحلية الماء عن طريق التقطير فمن أجل زيادة كفاءة التقطير ولزيادة كم الماء المقطر لجأوا إلى استغلال الحقيقة العلمية التي تقول بأن درجة غليان السوائل تتناسب طردياً مع الضغط الواقع عليه فكلما قل الضغط كلما قلت درجة الغليان .

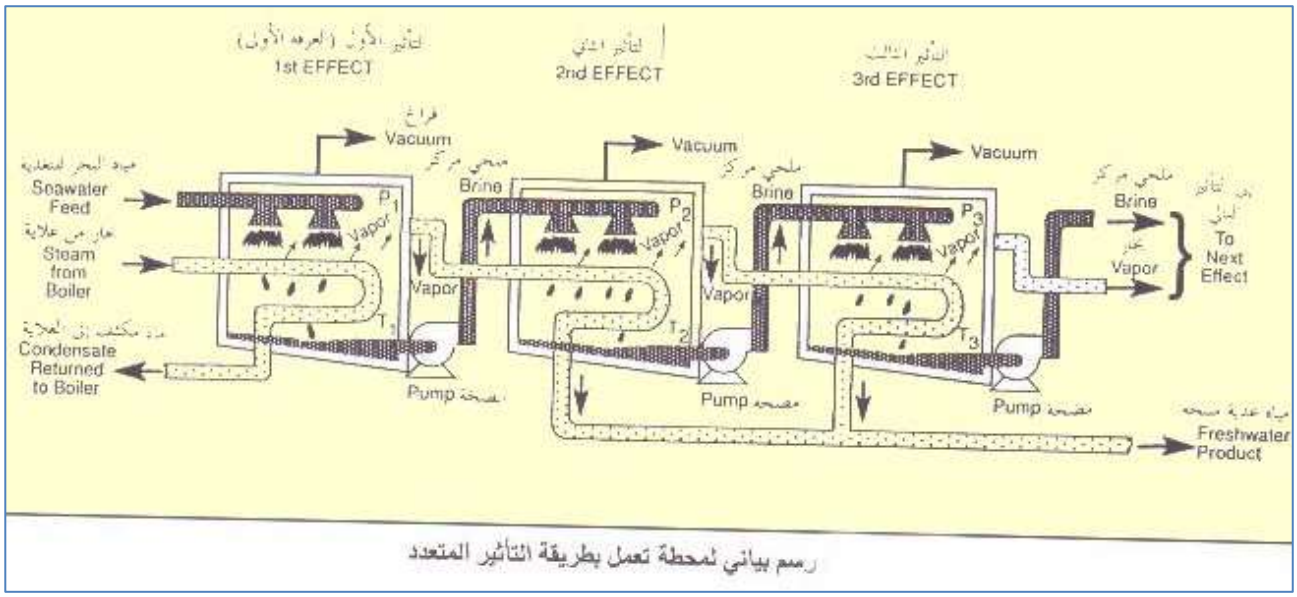
يتم تسخين المياه أولاً الذى يتحول جزء منه إلى بخار، ثم نستعين بالماء المتبقي في السخان لوضعه في وعاء آخر ولكن تحت ضغط منخفض بحيث يغلى الماء لكن بدون تسخين هذه المرة ونحصل منه على بخار ومن ثَّم ماء مقطر مثل المرة الأولى عند تسخينه، وبتكرار إدخال الماء في أوعية متتالية وجعل الضغط في كل وعاء أقل

من ضغط الوعاء السابق بالمعدلات التي تسمح بغليانه وتحوله إلى بخار فهذا نسميه بالتسخين الومضي أو التقطير الومضي متعدد المراحل للحصول على ماء صالح للاستخدامات المتعددة بعد تجميعه وعلاجه



د- التقطير متعدد التأثير:(Multi-effect distillation)

ويُطلق عليه أيضاً التبخير متعدد التأثير حيث تتم الاستفادة من الأبخرة المتصاعدة في وحدة التقطير الأولى (المبخر الأول) بالتكثف في وحدة التقطير الثانية حيث تعمل وحدة التقطير الثانية مكثف لبخار الماء القادم من وحدة التقطير الأولى وفي نفس الوقت يتم الاستفادة من الحرارة المنبعثة من تكثيف البخار القادم من الوحدة الأولى في غلى ماء الوحدة الثانية، ويحدث نفس الشيء في الوحدة الثالثة للأبخرة القادمة من الوحدة الثانية



رسم بياني لمحطة تعمل بطريقة التأثير المتعدد

هـ- التقطير بالبخار المضغوط :

في أنواع التقطير السابقة يتم الاستعانة بمصدر للطاقة خارجي لكي يتم تسخين الماء وبالتالي غليانه ليتحول إلى بخار ثم إلى ماء مقطر، لكن عملية التقطير هنا تتم باستخدام بخار الماء نفسه المتصاعد بعدما يُضغط – أي أن البخار هو مصدر الحرارة التي يسخن بها الماء ولذا تسمى عملية التقطير هنا التقطير بالانضغاط، الأمر الذى يؤدى إلى الاقتصاد في استخدام الطاقة بشكل كبير وعليه التقليل من نفقات عملية التحلية التي ترتبط الطاقة، لكنه على الجانب الآخر يتم الاستعانة بالطاقة الميكانيكية لتوليد الحرارة باستخدام جهاز ضاغط الطارد البخاري (Compressor steam-ejector)، حيث يعتبر الضاغط هو أساس وحدة التقطير وتتم عملية التقطير على النحو التالى بشكل مبسط: يُسخن الماء المالح في مبادل حراري أنبوبي في ظل توافر كل من العوامل التالية مجتمعة مع بعضها:

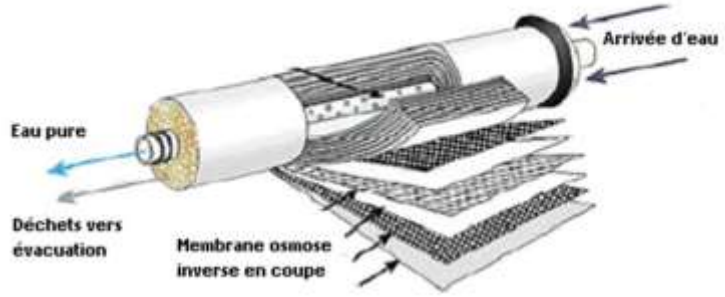
- الماء المالح و
- الماء المطرود و
- الماء العذب الخارجي من الوحدة ثم يغلى ماء البحر داخل أنابيب المقطر، وتضغط الأبخرة وترجع الى المقطر حيث تتكثف خارج الأنابيب مما يوفر الحرارة اللازمة لعملية الغليان

2. التحلية بالأغشية:

وفي هذه التقنية يتم تمرير الماء المالح من خلال أغشية خاصة دقيقة المسام تسمح بنفاذ الماء العذب من خلال المسام وبقاء الأملاح.

أ. التناضح العكسي:(Osmose inverse)

تُستخدم هذه الطريقة في تحلية مياه البحر قليلة الملوحة وبالمثل في تحلية مياه الصرف الصحي حيث تساعد على إزالة أنواع البكتريا والملوثات المختلفة التي تتواجد فيها. مصطلح التناضح أو الأسموزية مصطلح مشتق من الحضارة الإغريقة القديمة (Osmose) الذى يترجم إلى النبض، والأسموزية العكسية هي عملية انتقال المذيب عبر غشاء شبه مسامي إلى المذاب وتحلية مياه البحر تتم باستخدام هذه الخاصية ولكن في وجود وسيط من الأغشية المختلفة التي يُصنع البعض منها من البوليمرات وهى أغشية شبه مسامية تسمح فقط بمرور الماء دون أيونات الأملاح الذائبة تحت تأثير ضغط هيدروليكي



La plus grande station au monde de dessalement d'eau de mer par osmose inverse d'El Mactâa (Oran) inaugurée en Algérie (2014)

تتم تقنية تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي على المراحل التالية :

في المرحلة الأولى من مراحل تحلية مياه البحر عن طريقة الأغشية يتم إزالة العوالق والأتربة من خلال فلاتر، مع إضافة بعض المواد الكيميائية والأحماض لمنع الترسيب وبهذا تكون المياه أكثر ملائمة لعمل الأغشية

في المرحلة الثانية، يتم استخدام مضخة ذات ضغط عالٍ لازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح

في المرحلة الثالثة يبدأ الدور الفعلي للأغشية المسامية التي تسمح بنفاذ المياه دون نفاذ الأملاح الذائبة كما تمنع مرور الفيروسات والجراثيم والملوثات الكيميائية من النفاذ مع المياه وعن مدى كفاءة هذه الأغشية في تنقية مياه البحر من الملوحة والمواد الملوثة فهى تصل إلى ما يقرب من 75 - % أي أنه مازالت توجد نسبة من الملوثات تنفذ مع المياه من خلال الأغشية وذلك لعدم كمالها حيث أنه لا يوجد غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأملاح وعليه نجد بعض من الملوحة في المياه التي تحويلها إلى مياه عذبة، كما أن هذه الأغشية قابلة للكسر

ووجود أكثر من نوع للأغشية يجعل قدرات كل نوع مختلف عن الآخر في درجة تنقية المياه من الأملاح والملوثات، فنجد: الأغشية المسطحة والأغشية الأنبوبية والأغشية المجوفة الشعرية والأغشية الحلزونية، وآخر نوعين هما الأكثر استخداماً.

المرحلة الرابعة والنهاية من مراحل تحلية ماء البحر بواسطة الأغشية بالوصول إليها يكون قد تم بالفعل معالجتها أو إزالة الأملاح والملوثات منها، ويتم في هذه المرحلة المحافظة على خصائص الماء وإعداده للتوزيع بضبط درجة الحموضة ودرجة القلوية مع إزالة بعض الغازات منه، وإضافة الكلور لتعقيم الماء أثناء تخزينه وبعدها يصبح الماء جاهز للاستخدام

وهذه الطريقة تتوافر لها ميزات عدة عن طرق التحلية بالتقطير، والتي تتمثل في:

- غياب الكم الاستهلاكي العالي من الطاقة
- عدم الحاجة إلى إحداث تغيير في الحالة الطبيعية للماء من حيث التحول من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية و بالتالي متطلبات أقل من الطاقة
- قلة تكلفة المكونات المستخدمة في محطات التناضح العكسى وذلك لأنها مصنعة من البلاستيك
- تستغرق تحلية مياه البحر عن طريق التناضح العكس وقتاً أقل عن التي تسغرقه في التحلية بطريقة التقطير الحرارية
- فاعلية أكثر مع نظام التحلية بالتناضح العكسى، حيث تقل الترسبات الناتجة من خطوات معالجة المياه مع قوة تحمل مكونات محطات التناضح التي تتعرض للتآكل والتلف لكن بمعدلات أقل بكثير من الأنظمة الأخرى.

ب- تحلية المياه بالديلزة الكهربائية:(ElectroDialyse) أو يمكن تسميتها بالفرز الغشائي الكهربائي أو بالتحليل الكهربائى وهذه الطريقة كانت سابقة على تقنية التناضح العكسي بحوالي عشر سنوات حيث كان الاستخدام الأول لها لتحلية مياه الابار التي بها نسبة عالية من الأملاح .

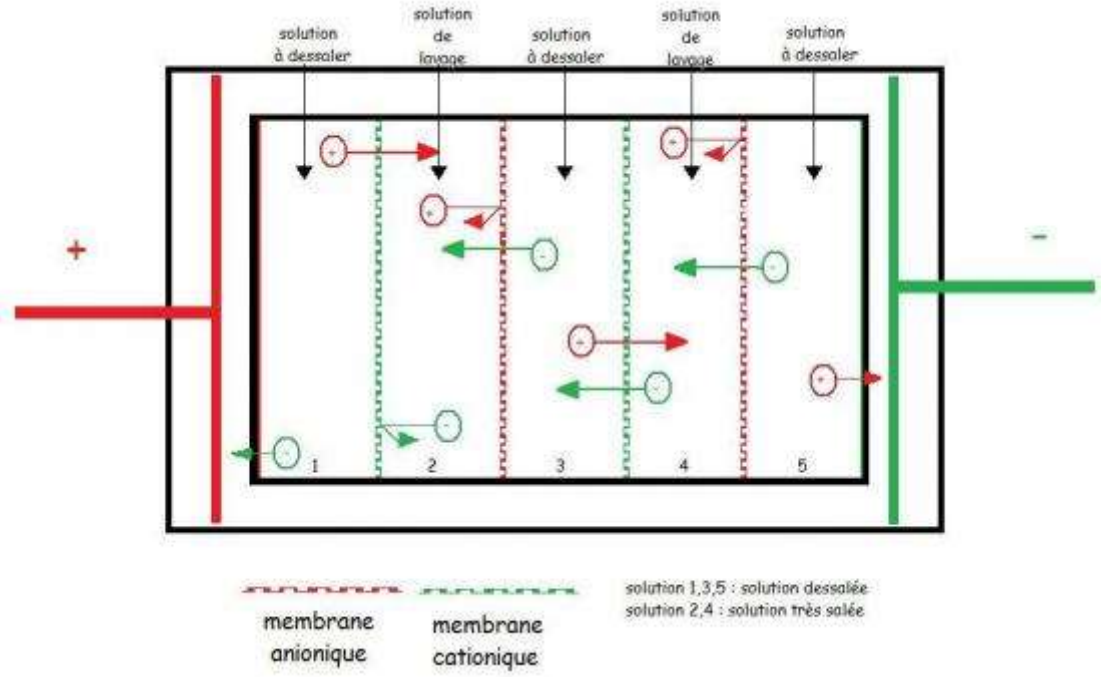
وفي التعريف العام لعملية الديلزة هو فصل المواد الكيميائية باستخدام غشاء نصف مسامى يسمح بمرور الجزيئات الصغيرة ويحول دون مرور الجزيئات الكبيرة فهو غشاء يعمل عمل المنخل، وتستخدم عملية الديلزة في العديد من المجالات في مجال الطب وأشهر التطبيقات الغسيل الكلوى للمرضى الذين يعانون من الفشل الكلوى، وفي مجال تحلية مياه البحر كان أول عالم قد توصل إل مفهوم الديلزة وقام بالتطبيق الفعلى لها هو;توماس جراهام ;Thomas Graham/في عام 1866 الذى استخدم غشاء لفصل السكر عن الصمغ .

وتعتمد تقنية الديلزة الكهربائية على الأسس العامة التالية .

- أغلب الأملاح الذائبة في الماء متأينة إيجابيا (Cathodique) أو سلبياً (Anionique) .
- هذه الأيونات تنجذب نحو القطب الكهربائي (Electrode) حسبما تحمله من شحنة كهربائية (Charge électrique).
- يمكن إنشاء أغشية تسمح انتقائياً بمرور الأيونات حسب شحنتها الكهربائية (سالبة أو موجبة).

وتحتوي الخلية المستخدمة لتحلية المياه على عدد من الحجرات المتتالية، تشتمل على عدد من الأغشية الموجبة والسالبة توضع بالتناوب؛ وعند تطبيق الجهد الكهربائي ينتقل الملح من حجرة إلى الحجرة المجاورة ويتركز

فيها، وهكذا أي أن التحليل الكهربائى يُستخدم في تحلية مياه البحر بتجميع الصوديوم حول قطب كهربائي سالب والكلوريد حول قطب كهربائي موجب، وتحتاج هذه الطريقة إلى طاقة كهربائية عالية، وهي أفضل طرق التحلية



3. الأضرار الصحية من التحلية:

لا شك أن أي تقنية جديدة تحمل في طياتها الأمل الذى تقدمه للبشرية من حلول لمشاكل وصعوبات تواجهها في مختلف المجالات، وعلى الجانب الآخر فد تثير الشكوك حول آثارها السلبية المحتملة وما تلحقه من ضرر لبيئة الإنسان التي يعيش فيها. فالبيئة هي الضحية الأولى لكل ما يتوصل إليه الإنسان من اختراعات واكتشافات ونظريات علمية .. فهى حقل تجاربه! إلا أن كل ما يحدث في البيئة يكون مردوده إلى الإنسان وإلى صحته الذى يتنفس هوائها ويأكل من طعامها، ومع تقنيات تحلية مياه البحار المستحدثة هل توجد سلبيات لها؟

بالطبع مثل أي تكنولوجيا، ومن المخاوف التي تتعلق باستخدام تقنيات تحلية مياه البحر:

أ. حدوث اختلال في التوازن الطبيعي لمصادر المياه المالحة والعذبة على حد سواء، فدائماً ما يشير العلماء إلى احتياطي الماء العذب وما تساهم به تقنية تحلية مياه البحر في اختلال توازنه نتيجة للاستهلاك المفرط للطاقة - التي ينفق عليها أيضاً ملايين الدولارات – مع تصاعد الغازات الضارة من محطات تحلية المياه مثل غاز ثاني أكسيد الكربون يلحق الضرر بطبقة الأوزون وإلى تفاقم أزمة الاحتباس الحرارى وزيادة درجات الحرارة على سطح الأرض، إلى جانب ذوبان الجليد في قطبي الكرة الأرضية – مصدرا المخزون الاحتياطي من المياه العذبة والذى يشكل 69% من إجمالي الاحتياطي لها

ب. الاستهلاك المفرط للطاقة خطراً آخر من الأخطار المرتبطة بتحلية مياه البحار وما يحدثه من تلوث بالبيئة

ت. عدم توافر العمالة المتخصصة التي تتقن أساليب معالجة مياه البحر المالحة بتحليتها بكثرة: تتطلب تقنيات تحلية مياه البحر إضافة مواد كيميائية بنسب محددة وإن زادت هذه النسب نتيجة لعدم المعرفة الجيدة بها، فهذا سيؤدى إلى حدوث اختلال في صحة الإنسان وإصابته بالعديد من الاضطرابات، فبدلاً

من أن نقدم الحلول لمشكلاته نضيف إليها مشكلة جديدة، كما تكمن المخاطر في كيفية التخلص من هذه المواد

ث. عدم التخلص الصحيح والملائم من مخلفات التحلية، وخاصة المحاليل الملحية المركزة التي تضر بالتربة والحياة النباتية عليها، أو بالبيئة البحرية وتهدد بفناء الثروة السمكية فيها.

4. الصعوبات التي تواجه تحلية مياه البحر:

مياه البحر مصدر مائي لا حدود له، وبالتالي فإن الاستخدامات والتطبيقات المرتبطة بها عند القيام بتحليتها هي تطبيقات لا حدود لها بالمثل، لكن السؤال الذى يطرح نفسه: هل حققت تقنيات تحلية مياه البحر معدلات وفيرة من المياه الصالحة للاستخدام أم أن المُعالج منها مازال محدوداً للغاية بالرغم من الطفرات الهائلة في التقنيات المرتبطة بتحليتها؟

معالجة مياه البحر مازالت محدودة للغاية نظراً للصعوبات التي تواجه تقنيات التحلية.

وأولى هذه الصعوبات ارتفاع ثمن المياه المحلاه مقارنة بمصادر المياه الأخرى، وبالتالي عدم القدرة على الاستفادة منها في تطبيقات عدة

وثانيها صعوبات في خطوات المعالجة التي تتميز بتكاليفها الباهظة:

أ- إقامة محطات المعالجة، ومن بين الصعوبات المرتبطة بإنشاء محطات التحلية بخلاف التكاليف الباهظة تتمثل في إيجاد الأماكن المناسبة لإقامة مثل هذه المحطات والتي تتطلب أراضي على شاطىء البحر .

ب- الطاقة الكبيرة التي يتم استخدامها في خطوات التحلية تتطلب إنفاق ضخم بالمثل وبالإضافة إلى التركيز العالي من الأملاح في مياه البحر، فإن عنصر البورون يتواجد بتركيزات عالية للغاية فيها ولابد من العمل على خفض معدلات هذا العنصر إلى التركيز المقبول الذى يوجد في مصادر الماء العذب وغيره من مصادر المياه الأخرى – البورون هو عنصر كيميائي يتواجد بوفرة عالية في ملح بورات الصوديوم.