

تقييم الأثر البيئي لتكنولوجيا تحلية المياه وعلاقته بحثيات المعالجة التمهيدية

د. شيرين قبرطاي

قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب - سورية

الملخص

ملخص

ينجم عن تكنولوجيا تحلية المياه تصريف محلول ملحي مركز Brine من شأنه أن يؤدي البيئة المائية المستقبلية، وتلعب آليات المعالجة التمهيدية في محطات التحلية دوراً هاماً في هذا الإطار، وتزيد الكيمائيات المضافة فيها عبء التلوث الحاصل، حيث تلتقى بقاياها ونواتجها المرفقة في البحر سوياً مع مياه الصرف المركزة، فتحدث آثار سلبية خاصة في الأنظمة البيئية الحساسة، ويعتمد الأثر البيئي لمحطة التحلية على كل من الخواص الفيزيوكيميائية للمياه المصرفة، والميزات الهيدروغرافية والحيوية للبيئة المستقبلية.

نستعرض في مقال المراجعة هذا الخطوط العريضة للمعالجة التمهيدية وانعكاساتها المترتبة على تقييم الأثر البيئي لمحطات تحلية المياه، ونورد أهم جوانب هذا الأثر، ونقترح إجراءات وقائية لتخفيفه.

7

1. مقدمة:

تسير معظم الدول العربية نحو نقص حاد في الموارد المائية مما يشكل عجزاً خطيراً في توفير المياه لغايات الشرب والري والصناعة، وهذا يعود لعدة أسباب يأتي في مقدمتها النمو السكاني وازدياد مناطق التحضر وتطور بلدان المنطقة صناعياً وازدياد المساحات المزروعة التي تتطلب مياهاً للري فضلاً عن نزوب المخزون الجوفي وتناقص موارد المياه السطحية وتدهور نوعيتها نتيجة الاستنزاف المستمر والتلوث.

ونحن في الوطن العربي مثلنا مثل غيرنا في هذا العالم، مهددون بنقص المياه الحاد، لا بل إن أزمة المياه في الوطن العربي تمتلك أهمية خاصة، ويعود ذلك إلى سيادة المناخ الجاف وشبه الجاف في أغلب أنحاءه، وتكرار نوبات الجفاف التي أصبحت من الظواهر الطبيعية المألوفة، والانخفاض الحاد في مستوى المياه الجوفية، وتلوث المياه السطحية والجوفية [1].

أما عالمياً، فإن حوالي 25% من سكان العالم لا يصلون لمياه عذبة مرضية كما و/أو نوعاً، وتواجه أكثر من 80 منطقة مشاكل مائية حادة، ووفقاً لـ World watch Institute فإنه مع العام 2025 م سيعاني أكثر من ثلثي سكان العالم من نقص للمياه، سيؤثر عملياً على كل مناطق العالم بما فيها المتطورة، ما لم تخف من الطلب (الاستهلاك) و/أو تحسن وتطور مصادر مياه إضافية، ويمكن أن تكون تحلية المياه حلاً لمشاكل شح ونُدرة المياه هذه [2].

وتعتبر تحلية مياه البحر في الشرق الأوسط مصدر حيوي وموثوق للمياه العذبة في مناطق مثل السعودية، الإمارات العربية المتحدة، والكويت، وعموماً يقدر أن يستهلكي المياه العذبة المنتجة بتحلية مياه البحر أو المياه المالحة يفوق الـ 75 مليون حول العالم [3].

وللإحاطة بمعظم جوانب الأثر البيئي لعملية التحلية لابد من الإلمام بحثيات آليات منظومة التحلية، التي تتضمن بشكل عام ثلاث مراحل رئيسية هي: المعالجة التمهيدية (الأولية - Pre-treatment)، وحدة التحلية، والمعالجة النهائية (اللاحقة - Post-treatment) [4].

(علماء أن أبحاث تقييم الأثر البيئي لتكنولوجيا تحلية المياه على البيئة البحرية لاتزال محدودة) [5].

تهدف المعالجة التمهيدية المبدئية إلى تهيئة المياه لعملية التحلية، وتتضمن عدداً من عمليات المعالجة الفيزيائية والكيميائية المستخدمة، بينما تهدف المعالجة النهائية إلى جعل المياه المحلاة مناسبة للاستعمالات المقصودة، ويتم تحديد المعالجات النهائية المطلوبة وفقاً لذلك، وتتوَّع ما بينهما خيارات وحدة التحلية كما يبيِّن الجدول (1): [4].

جدول (1): التقنيات المختلفة لتحلية المياه

التقنيات المختلفة لتحلية المياه						
طرق تعمل بدون تغيير الحالة الطبيعية للماء			طرق تعتمد على تغيير الحالة الطبيعية للماء			
فصل الأملاح باستخدام الخواص الانتقالية للأيونات			تحويل الماء من سائل إلى صلب		تحويل الماء من سائل إلى بخار	
التبادل الأيوني (I.E)	فصل الأملاح بالأغشية	التناضح العكسي (R.O)	تحويل الماء من سائل إلى صلب	التقطير بضغط البخار (V.C)	التقطير متعدد التأثير (M.E.D)	التبخير الوميضي متعدد المراحل (M.S.F)
	الفصل الكهروغشائي (E.D)		طريقة التجميد (F)			

تنتج كل عمليات التحلية كميات كبيرة من مياه الصرف المركزة، التي قد تكون مرتفعة درجة الحرارة، والحاقية على بقايا كيميائيات المعالجة التمهيدية والتنظيف والغسيل، ويُعتبر صرف الكيماويات إلى البيئة البحرية موضع اهتمام أساسي في محطات التحلية، فمن شأنه إضعاف توظيف وسلامة الأنظمة البيئية الساحلية والحياة البحرية [6].

2. مشاكل المياه المعدة للتحلية:

تمثل هذه المشاكل دواعي المعالجة التمهيدية وتعزى إلى نوعية المياه أو طبيعة المعالجة المعتمدة:

1.2. عسرة وملوحة المياه:

ماء البحر ماء عسير للغاية وذلك لتواجد أملاح الكالسيوم مثل كبريتات الكالسيوم التي تصبح أقل قابلية للذوبان مع ارتفاع درجة الحرارة، حيث تبدأ كبريتات الكالسيوم بالترسب على سطح الإناء أو الأنابيب التي يجري تسخين ماء البحر داخلها، وهذه الطبقة المتناسكة من الأملاح يطلق عليها اسم القشور وتعمل كعازل يقلل من كفاءة انتقال الحرارة على الجدران، وباستعمال مواد مانعة أو مؤجلة للترسبات يمكن الزيادة في درجات الحرارة والرفع من كفاءة وحدات التحلية بأساليب التقطير. [4]

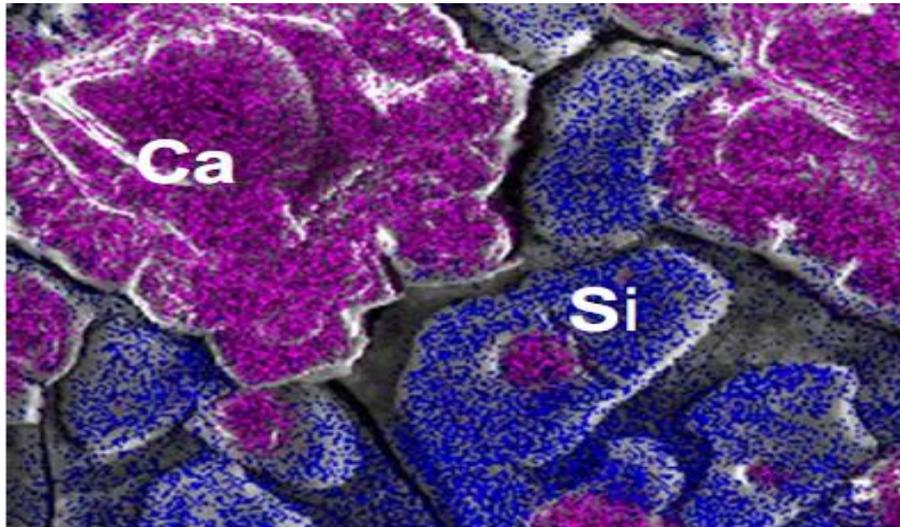
وتسبب القيم المرتفعة للـ TDS والعسرة مشاكل متأصلة لكل أنماط وحدات التحلية أكانت حرارية (MSF, ME, VC)، أم غشائية (RO, ED)، حيث يمكن أن يتشكل نوعين من القشور تبعاً لظروف تشغيل المحطة، قشور قلوية ناعمة (soft) من $(CaCO_3 - Mg(OH)_2)$ ، وقشور لاقلوية صلبة (hard) من $(CaSO_4 - CaSO_4.1/2H_2O - CaSO_4.2H_2O)$ ، ويصبح تشكل القشور اللاقلوية مفرداً في درجات الحرارة المرتفعة. [7]

ويمكن أن تتشكل القشور أيضاً من ترسبات أملاح: كربونات الكالسيوم $(CaCO_3)$ ، السيليكا (SiO_2) ، وهيدروكسيد الحديد $(Fe(OH)_3)$ على سطح الأغشية في التقنيات الغشائية [8]، ويصبح استخدام الكيمياء أمراً حتمياً من أجل تنظيف الانسداد والتقشر.

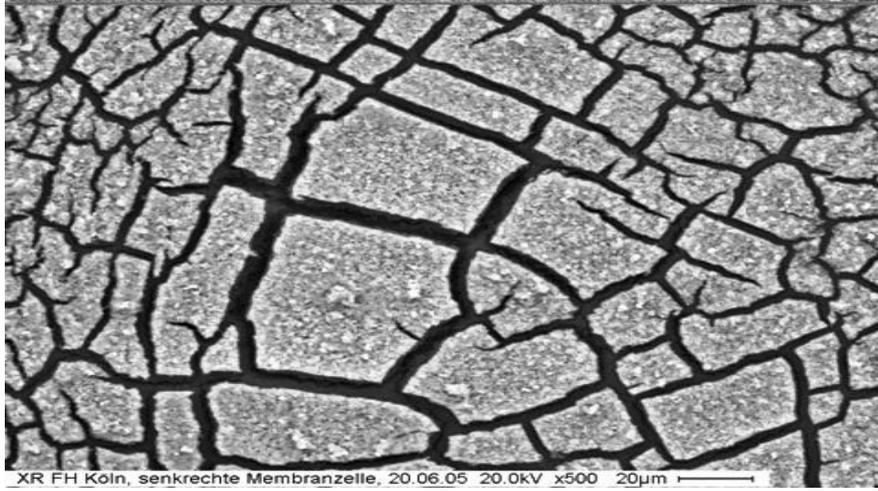
حيث يؤدي وجود مركبات السيليكا أيضاً لحدوث ظاهرة التقشر في التقنيات الغشائية للتحلية، وبالتالي مشاكل انسداد للغشاء وبما أن بعض الاستخدامات الصناعية تتطلب مياه ذات محتوى سيليكاً أقل من 1ppb، فقد أصبح اللجوء إلى المعالجة التمهيدية بهدف خفض محتوى المياه (الجوفية خاصة) من السيليكا أمراً لا غنى عنه، توطئة لاستخدامها أو دخولها آليات التحلية على اختلاف أنواعها.

وتبين الصور (1)، (2)، أن القشور والترسبات الناجمة عن مركبات العسرة والسيليكا هي من أهم العقبات التقنية التشغيلية التي تعترض عمل وحدة التحلية، وتسبب انسدادات في الأغشية. [9]

وقد يحدث الانسداد أيضاً نتيجة وجود مواد عضوية طبيعية (NOM (Natural Organic Matter)، ومواد غروانية صمغية أو انسداد بيولوجي ناجم عن تشكل فيلم بيولوجي من النمو البكتيري. [8]



صورة (1): توزيع توضع الكالسيوم والسيليكا على سطح الغشاء [9-10]
Distribution of Ca and Si in a $CaCO_3/SiO_2$ deposit on membrane



صورة (2): توضعات SiO_2 على الغشاء [9-10]
SiO₂ deposit on a membrane

ويَنجُم عن مشاكل الانسداد وتَشكل القشور كلفة تشغيلية أكبر، وانخفاض في تدفق المياه الراشحة عبر الأغشية، من أجل نفس معايير التشغيل، مما يستوجب استبدال الغشاء. [8]

2.2. تأثير الـ pH:

تؤثر حامضية أو قلوية مياه التغذية الخام بشكل ملحوظ على بُنية الغشاء وتَشكل القشور، فيمكن أن تعاني أنواع معينة من الأغشية التجارية من ضرر هيدروليتي Hydrolytic، في حال تعرضها لمياه خام ذات قيم pH خارج المجالات المتعارف عليها، فالسيليلوز يجب أن يُشغل عند قيم pH ضمن مجال ضيق (من 4 إلى 6)، بينما تتحمّل أغشية الفلم الرقيق المركبة Thin film composite membranes (من 2 إلى 11)، ولا تتأثر أغشية السيراميك والمعدنية (Ceramic and Metallic) نسبياً بالـ pH.

عملياً تضبط قيم الـ pH للمياه الخام للتحكم بظاهرة تَشكل القشور سيّما ضمن الأجزاء الموظفة للتعامل مع المحاليل الملحية المركزة المطروحة من المحطة (Brine).

3.2. تأثير المعقمات والمؤكسدات:

تضاف المؤكسدات لإمدادات المياه لتحسين الطعم والرائحة، وإزالة الحديد والمنغنيز المتواجدة بنمطها الشاردي، ولتسريع تفسّخ المواد النباتية والحيوانية، ولكن هناك أنواع معينة من الأغشية كالتالي تتضمن مركبات الفلم الرقيقة، لا تتحمّل المؤكسدات كالكلور Chlorine، في حين تتحمّلها أنواع أخرى كالتالي تعتمد السليلوز، مما يستوجب عملية إزالة للكلور Dechlorination، قبيل أغشية الـ RO.

كما يمكن اللجوء إلى وسائل تعقيم بديلة:

حيث يُستخدم الأوزون كمؤكسد في أنظمة الـ RO، على شكل فقاعات ضمن مياه التغذية الخام في نقطة مبكرة من العملية للسماح بزمن تفاعل كافي، ويمكن أن يستخدم الأوزون أيضاً لإزالة اللون، الطعم، الرائحة، وللتعقيم البكتريولوجي، ولأكسدة أنماط معادن غير مرغوب بها، وأنماط عضوية كالفينولات،

ومن المهم إزالة أي أثر للأوزون من مياه التغذية الخام قبل تماسها مع أغشية الـ RO، ويمكن استخدام التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية UV.

يُستخدم الكلور Chlorine ضمن مجال pH تشغيلي بين 4 و 6 بشكل موثوق تماما مع أغشية السليلوز أسيتات Cellulose acetate، ولكن ثاني أكسيد الكلور Chlorine dioxide والأوزون يمكن أن تؤذيها، وبالتأكيد فإن أغشية الفلم الرقيقة المركبة غير السليلوزية لا تسمح بالأكسدة، وللتعامل مع هذا التقييد تدرج عملية إزالة كلورة قبيل الأغشية، ويُعتبر نمط الـ HOCl الأكثر تدميرا للأغشية الـ Polyamide and Polyether urea membranes.

كما تكون أغشية Polyvinyl alcohol مقاومة للمؤكسيدات في الوسط الحمضي (أو منخفض القلوية) ضمن pH من 2 إلى 8. [11]

3. آليات المعالجة التمهيدية للمياه المعدّة للتحلية:

تتطلب عادةً محطات التحلية بالتقطير معالجة تمهيدية أقل مما هو ضروري في التناضح العكسي، ويُمكنها التشغيل بمياه تغذية خام ذات نوعية أقل كفاءة، ولا تتطلب إيقاف الإنتاج اللازم لتنظيف أو استبدال التجهيزات كما هو في الـ RO، وبالتالي لا يتولد عنها فضلات إضافية من عمليات الغسيل العكسي لها أو لمرشحات المعالجة التمهيدية، ويُعدّ التقشر والتآكل فيها من الاعتبارات الرئيسية للصيانة، التي تعزى إلى تعرض معدات ومكونات المبخرات لمياه تغذية حادة تسبب التآكل والحت. [12]

وتبيّن الصور (3) و(4) حالة للتآكل والحت في منشآت التحلية. [13]



صورة (3): تآكل أنابيب المكثفات (التبادل الحراري) في محطة بنغازي للتحلية

The corrosion of the condensates pipes in the Desal. No. (5) Benghazi North power & desalination



صورة (4): التآكل في منشآت التحلية (محطة بنغازي)

The corrosion in the body of the Desal. No. (5) Benghazi North power & desalination

أما محطات تحلية مياه البحر بالـ RO فيتوقف تصميمها إلى حدٍ كبير على مواصفات ونوعية المياه الخام، ولذلك تعتبر عمليات المعالجة التمهيدية عالية المستوى فيها من القضايا بالغة الأهمية في تحسين أداء منظومة التحلية. [8]

وتتبع المعالجة التمهيدية المطلوبة ميل المياه الخام لتشكيل القشور، ومحتوى الأجسام غير المنحلة فيها، وتعتبر مفتاح التشغيل الناجح للعملية برمتها، ولتجنب الانسداد فإن اختيار المعالجة التمهيدية بعناية هو أمر ضروري قبل السماح لمياه التغذية بالتماس مع سطح الأغشية. [14] ويتوقف كل من أداء الأغشية وعمرها المفيد في الخدمة إلى درجة كبيرة على نوعية ومواصفات مياه التغذية الخام في التقنيات الغشائية، مما يؤكد أهمية إجراء معالجة تمهيدية مرضية وكافية لإطالة عمر الغشاء، [11] فهذه الأغشية حساسة جدا للانسداد الناجم عن المواد الصلبة المعلقة، والمواد البيولوجية، وتشكل القشور الكيميائية، والمواد الغروانية، مما يتطلب إجراء معالجة تمهيدية فعالة لمياه التغذية الخام (كما أسلفنا)، تبعا للمواصفات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لهذه المياه، لضمان عمر طويل للأغشية، حيث يتغير عمر الغشاء من محطة لأخرى، ويعكس ظروف تشغيلها، وهو يتراوح بين 5 إلى 20 سنة، والتنظيف الكيميائي المنتظم هو أمر هام لإطالة عمر الغشاء. [14]

وعليه توظف المعالجة التمهيدية لإزالة الملوثات والشوائب التي من شأنها أن تحدث تداخلات ومشاكل تقنية، وتتخذ لذلك الإجراءات والخطوات التالية:

أولاً: المصافي: لحماية المضخات من الانسداد، وإزالة المواد الخشنة الطافية من مياه التغذية الخام، وهي كالعادة إما قضبان متوازية أو شبكة أو صفائح مثقبة، بشكل دائري أو مستطيل، وتتراوح مقاسات فتحات المصافي بين 100 ملم في المصافي الخشنة إلى أقل من 20 ملم في المصافي الناعمة، ويجب الانتباه إلى ضرورة عدم تراكم أو مرور البحص ضمنها.

ثانياً: أحواض الترسيب الأولية: وتستخدم لإزالة الشوائب المعلقة، وهي مستطيلة، مربعة، أو دائرية، ويتراوح زمن المكوث فيها عادةً بين 90 و 150 دقيقة، إلا أنه يمكن أن يكون أقصر من ذلك (30 إلى 60 دقيقة) في بعض الحالات.

ثالثاً: التخثير الكيميائي: ويُطبق لإزالة المواد الصلبة المعلقة الناعمة في المياه الخارجة من أحواض الترسيب البسيط الأولية، بالإضافة إلى المواد العضوية والسامة المنحلة، وغيرها من المعادن.

ومن المخثرات الشائعة الاستخدام: الشبّة، Ferric chloride، الكلس، بولي الإلكتروليتات، وغيرها من المواد الكيميائية، ويحتاج التخثير الكيميائي إلى عدّة تجهيزات كالمضخات ووسائل المزج والتعديل والحقن.

رابعاً: التنديف (تشكيل الندف): يتم إنجازه بالاستعانة بتجهيزات مزج ميكانيكية بطيئة، باستخدام محركات بمحاريك أو مراوح، محققة بذلك تشكيل ندف وتكتل الجزيئات والندف الصغيرة إلى ندف أكبر، ويكون هناك عدّة حجرات للتنديف على التسلسل تحقق بنجاح شرع مزج منخفضة تدريجياً، مما يرفع من كفاءة الأداء، ولأن الأجزاء المعدنية المغمورة والداخلة في تصميم أحواض التنديف يمكن أن تصدأ، وتسبب مشاكل جدية في الصيانة، تستخدم أنواع محدّدة من الستانلس ستيل 8-18 (فولاذ غير قابل للصدأ)، لكل تلك الأجزاء، ويُستخدم الترسيب لاحقاً لفصل الندف المتشكلة، كما يمكن استخدام التطويق أيضاً لنفس الغرض.

خامساً: الترشيح: لحجز الشوائب الناعمة الموجودة في المياه، وتستخدم المرشحات الرملية البطيئة والسريعة، وللمرشحات الرملية البطيئة نشاطاً بيولوجياً في الإزالة، إلى جانب الآليات الفيزيائية والكيميائية، وتستخدم بنجاح مع المياه ذات العكارة غير المرتفعة (المرتفعة هي أكثر من 50 NTU)، وإلا فإنها تحتاج لمعالجة تمهيدية قبل الترشيح الرمي البطيء. [11]

كما تستخدم عدّة أنماط من المرشحات، منها مرشحات أحادية الطبقة (وسط واحد) Single-media filtration عادةً تكون من رمل السيليكا، أو من الرمل الأخضر Green sand لإزالة مركبات الحديد، وهناك المرشحات ثنائية الطبقات Dual-media filtration تتألف من طبقتين من أوزان نوعية مختلفة، حيث يستخدم رمل السيليكا أو الرمل الأخضر في إحدى الطبقتين، والأنتراسيت Anthracite للأخرى، وسيسمح استخدام المرشحات ثنائية الطبقات بإزالة كميات أكبر من المواد التي يتم ترشيحها، كما تستخدم مرشحات Mixed-media filtration، عندما يكون هناك ثلاثة أوساط، ومن الشائع أن يشكل رمل السيليكا العالي الكثافة والعقيق Garnet والأنتراسيت Anthracite سريراً لها، [15] كما يُمكن إدراج الترشيح الغشائي NF-UF-MF في المعالجة التمهيدية الأكثر تقدماً. [7]

سادساً: التعقيم: (يمكن أن يُدرج كمعالجة تمهيدية أو لاحقة)، يتضمّن الكلورة بإضافة الكلور إما كمحاليل مباشرة، أو غاز مع محلول، أو غاز مجرّد، ويستخدم أيضاً هيبوكلوريت الصوديوم وهو آمن في التعامل أكثر من غاز الكلور.

ويمكن توليد كل من الكلور Chlorine والهيبوكلوريتات في الموقع بالتحليل الكهربائي من المحلول الملحي المصروف من المحطة، باستخدام خلايا مصمّمة خصيصاً لهذا الغرض ومنع للتيار الكهربائي.

يمكن أيضاً التعقيم بالأوزونة، حيث يُعتبر الأوزون O₃ من أكثر وسائل الأكسدة فاعلية، ويتفاعل بسرعة مع الأحياء الدقيقة والمواد العضوية في الماء بدون أن يترك أي طعم أو رائحة، إلا أن من مساوئه أن توليده يستهلك طاقة كبيرة وبكلفة رأسمال مرتفعة، ولا أثر متبقي ثابت له في شبكة توزيع المياه يضمن استمرار سلامة المياه من الناحية البكتريولوجية لعدة أيام (في حال استعماله للمعالجة اللاحقة). [11]

قد يكون لقتل البكتريا بالكلورة، أثرا خفيفا على كمية الفلم البيولوجي المتشكل على أغشية الـ RO، حيث يمكن أن يحدّ من نمو البكتريا المكلورة على السطح إلا أن أجسامها تبقى ملتصقة به، لتشكل الفلم البيولوجي، لذلك يمكن استخدام طرائق تعقيم أخرى كالأشعة فوق البنفسجية UV، التي تدمر بنية الأحياء الدقيقة الـ DNA [16] ويبلغ هذا النشاط التدميري ذروته عند طول موجة 265nm، [11] وبذلك لا تتمكن البكتريا من إعادة التوالد، كما يمكن تخفيض الفلم البيولوجي بالأوزنة، ولا تتحمل الأغشية غير السليلوزية الأوزنة المباشرة، لذلك فهي تتطلب تدخل الـ UV أو خطوة إزالة الأوزون بالكربون المنشط (الفحم الفعّال) قبيل الـ RO، وإذا لم يكن بالإمكان منع طبقات الانسداد فيمكن إزالتها لاحقا بالتنظيف الكيميائي، [16] ولا تستحسن الكلورة في المعالجة التمهيدية للمياه ذات المحتوى العضوي المرتفع.

وعندما يُستعمل الكلور Chlorine كمعقم، يجب إجراء عملية إزالة للكلورة بالكامل قبيل التحلية في أنظمة الأغشية البوليميرية Polyaromatic، وهذا يتم كيميائيا بواسطة إضافة مركبات الكبريت sulfite compound، أو تمرير المياه على حبيبات فحم فعّال. [15]

وتجدر الإشارة إلى أن إضافة الحموض إجراء كيميائي ضروري في بداية المعالجة التمهيدية لمنع التقشر الناجم عن كربونات الكالسيوم، حيث يُضبط pH المياه على القيمة 6 نمودجيا فتكون الكربونات في معظمها إما على شكل بيكربونات أو CO₂، وبهذا لن تتشكل قشور بالكالسيوم. [17]

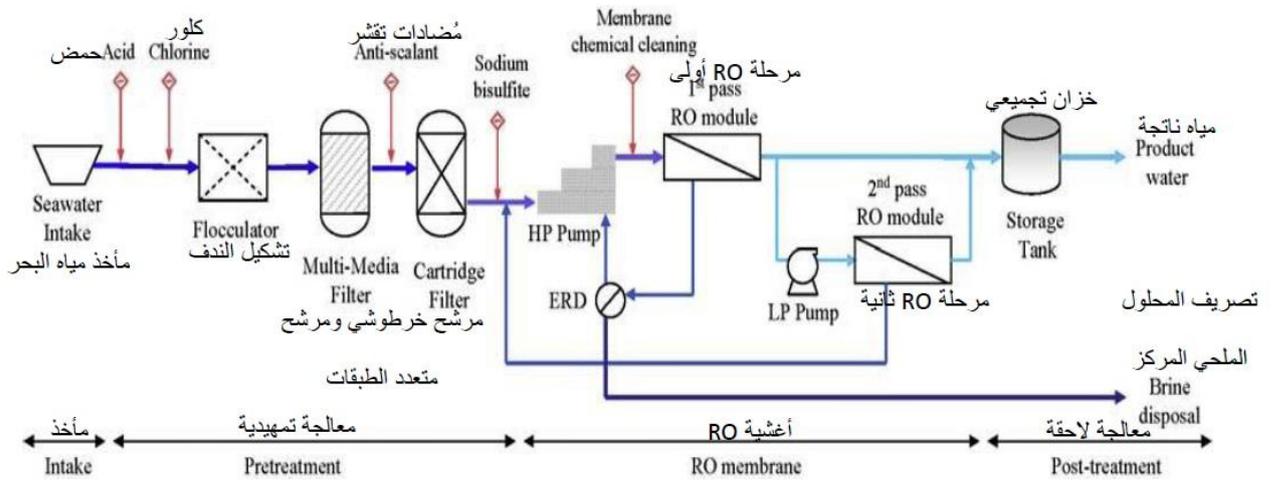
ونشير في الجدول (2) إلى قائمة من المواد الكيميائية شائعة الاستخدام في عمليات معالجة المياه، خاصة تلك التي تضاف قبيل الترشيح أو عمليات الـ RO. [11] (لما لها من أهمية في تقييم الأثر البيئي لاحقا).

جدول (2): أهم الكيمائيات المستخدمة في المعالجة التمهيدية

WATER TREATMENT CHEMICALS AND THEIR FUNCTIONS

Function (الوظيفة)	Chemicals
Water softening (تطرية (إزالة عسرة)	Lime, sodium phosphate and polyphosphate
Flocculation (تنديف)	Aluminium and iron sulphates, polyelectrolytes and silicates
Disinfection (تعقيم)	Chlorine, chlorine dioxide, sodium hypochlorite, chlorinated cyanurates and sulphites
General-purpose treatment (أغراض أخرى للمعالجة عموما)	Activated carbon

ويُبيّن الشكل (1) مخططا توضيحيا نمودجيا لسير العمل في محطات تحلية المياه بنظام الـ RO: [8]



شكل (1): نموذج مخطط توضيحي لسير العمل في منظومة الـ RO [8]

Schematic diagram of a typical SWRO desalination process

إن الإبقاء على الغشاء نظيف يُطيل من عمره وفعاليتته، وكقاعدة: فإنه يجب المباشرة بتنظيف عناصر الغشاء متى تغيرت معايير التشغيل بنسبة 10 إلى 15%، كهبوط معدّل التدفق النافذ من الغشاء، وتغير مواصفات المياه المحلاة الناتجة كما ونوعاً، فأغشية الـ RO والـ NF مثلاً يتم تنظيفها عادةً كل 6 إلى 12 شهراً، أما من أجل إزالة البكتيريا المتعددة (المضاعفة) والأحياء الدقيقة فإن أقصى حد للغسيل هو مرة كل ثلاثة إلى أربعة أسابيع، وتتنوع محاليل الغسيل من غشاء إلى آخر تبعاً لنوعه. [11] ومن شأن هذا الغسيل لجزيئات المعالجة التمهيدية الكيميائية-الفيزيائية، وما يترتب عليه من استخدام كيميائيات إضافية أن يزيد من عبء التلوث الثانوي والحمل الكيميائي الناتج، وهو أحد عيوب المعالجة الكيميائية.

[9]

4. الأثر البيئي الناجم عن تكنولوجيا تحلية المياه:

تبعاً لدرجة الملوحة يتطلب إنتاج متر مكعب من المياه العذبة المحلاة حوالي 1.3 إلى 1.4 م³ من المياه المالحة، و 2 إلى 2.5 م³ من مياه البحر، وهذا يُفرض على معدّلات استرداد للمياه العذبة بمقدار 70 إلى 75% للمياه المالحة، و40 إلى 50% لمياه البحر. [14]

توجد خيارات تقنيّة مختلفة لتخفيف وطأة التأثيرات البيئية لمياه صرف محطات التحلية أو الحدّ منها، بما في ذلك اعتماد أنظمة متقدّمة لمأخذ سحب مياه البحر، تشتيت الفضلات الناتجة، وخيارات المعالجة التمهيدية اللاكيميائية، إلا أن اختيار الموقع الصحيح لمشروع التحلية مهم لدرجة تضاهي أو تفوق أهمية الخيارات التقنيّة. [6]

علاوةً على كون ملحقات الإنشاء وحركة السفن في محطات التحلية تزج وتخفق البيئة البحرية بإعادة تحريك الرواسب الراكدة، [5] وعلى كون الانبعاثات الغازية كـ (CO₂) الناجمة عن التقنيات الحرارية للتحلية تؤدي الغلاف الجوي وتعزز ظاهرة الانحباس الحراري [9]، فإن الأثر البيئي لمحطات تحلية المياه على البيئة المائية المستقبلية يتضمّن الجوانب الأهم الآتية:

1.4. الملوحة العالية:

تكون ملوحة مياه صرف محطات التحلية الحرارية والغشائية أكبر من ملوحة المصدر المائي. [6] ومن شأن الاختلاف في كثافات المياه أن يُعيق الخلط الطبيعي لها، ويزعج البيئة تحت سطح البحر [8].

على سبيل المثال: تبلغ ملوحة مياه ساحل كاليفورنيا على المحيط الهادي 33 ppt (جزء بالألف)، بتغيرات نموذجية حوالي 10% زيادة أو نقصاناً، إلا أن تصريف مرافق التحلية يمكن أن يزيد محلياً مستويات الملوحة لأكثر من 100%، أو ضعف ما هي عليه مستويات الملوحة الطبيعية لمياه البحر.

تتكيف الأنواع البحرية المحلية عادةً ضمن مساحات بمستويات ملوحة طبيعية، ولكن القليل منها (إن وُجد) من المحتمل أن يتكيف مع الملوحة المتزايدة الناتجة عن تصريفات محطة التحلية، وقد تتكيف هذه الأنواع وتتحمّل التغيرات الطبيعية في الملوحة إذا كانت ناجمة عن تغيرات فصلية أو غيرها من ظواهر زيادة التدفق الناجمة عن مصبات المياه العذبة، ولكنها قد لا تتكيف مع التعرّض المفاجئ لنفس هذه المستويات من الملوحة عندما لا تحدث بفعل الطبيعة.

وقد لا تتأذى الأسماك البالغة كثيراً بتركيز الملوحة الأعلى أو أنها تستطيع السباحة بعيداً عنها، في حين يمكن أن تتأذى البيوض واليرقات من أجل نفس التراكيز. [12]

2.4. الكتلة الحية (العضوية) المؤلفة من الكائنات الحية المجرورة:

تعمل آلية التحلية إما على تسخين مياه البحر أو دفعها عبر الأغشية تحت ضغط عالي، وفي الحالتين يؤدي ذلك إلى قتل الأحياء الدقيقة الموجودة في مياه البحر، وتصبح هذه الأحياء الميتة جزءاً من تصريف المحطة، مما قد يُنتج في المحطات الكبيرة كمية كبيرة من المواد العضوية، ويسبب مشاكل لنوعية المياه أو أنها قد تشكل قاعدة خصبة لنمو البكتيريا وأحياء دقيقة أخرى، وربما يكون هذا النوع من التصريف مؤدياً لصحة الإنسان. [12]

3.4. المركبات الكيميائية والمنظفات:

وتشمل كيميائيات المعالجة التمهيدية واللاحقة والتنظيف، سواءً في المحطات الحرارية أو الغشائية، ويتم صرف هذه المواد كجزء من المحلول الملحي Brine إلى البيئة البحرية، فغالبا ما تخط مواد المعالجة والتنظيف مع المحلول الملحي المركز لتلقى عبر المصرف إلى المحيط. [5] حيث تتطلب مرافق تحلية مياه البحر (كما أسلفنا) تنوعاً من المركبات الكيميائية لمعالجة المياه، وتنظيف معدّات التحلية، وتحضير وتأهيل المياه المحلاة للتوزيع عبر نظام إمداد المياه. [12]

وتحتوي المياه في كلا الحالتين (حرارية - غشائية) على بقايا كيميائية من مضادات (مانعات) التقشر، كما قد يسبب التلوث بالنحاس قلحا في تصريفات محطات التحلية بالتقطير، عندما تكون المبادلات الحرارية من النيكل النحاسي عُرضة للتآكل.

فيما يخص عمليات الغسيل و التنظيف : يتوقف الإجراء المتبع في التنظيف على نمط الانسداد، حيث تستخدم في محطات الـ RO محاليل قلووية ذات pH بين 11 و 12 لإزالة التوضعات السيلتية والفلم البيولوجي من الأغشية، بينما تستخدم المحاليل الحمضية ذات pH بين 2 و 3 لحل (إذابة) الأكاسيد المعدنية أو القشور.

تحتوي هذه المحاليل غالباً على مواد كيميائية إضافية لتحسين عملية التنظيف كـ (sodium perborate, sodium hypochlorite)، أو المؤكسيدات كـ (dodecylsulfate, dodecylbenzene sulfonate).

وتغسل محطات التقطير نموذجيا بمياه بحر دافئة حمضية لإزالة القشور القلوية من أسطح المبادلات الحرارية، وبذلك يمكن أن تكون محاليل التنظيف بإضافاتها ضارة للحياة المائية إذا ما تم تصريفها للمساحات المائية بدون معالجة. [6]

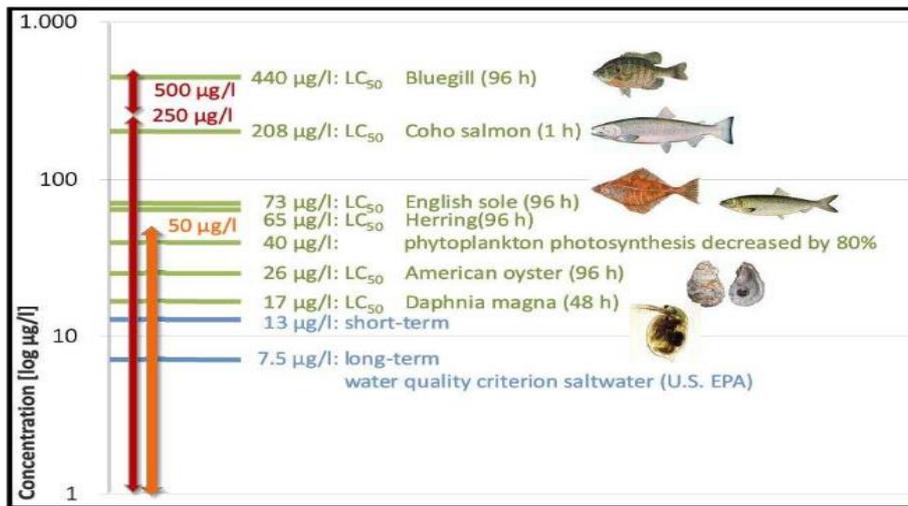
4.4. التعقيم - الكلورة:

يعتبر الكلور chlorine مؤكسد قوي ومبيد بيولوجي biocide فعال ويمكن أن يكون سام للحياة البحرية حتى في التراكيز الممددة (المخففة)، وقد يتفاعل أيضا مع المركبات العضوية في مياه البحر ليشكل مركبات أخرى كالنواتج الثانوية للهالوجينات العضوية Halogenated organic by-products، الضارة للحياة البحرية. [5] ويضاف في معظم محطات التحلية عند مأخذ المياه لتخفيف الانسداد البيولوجي، مما يؤدي إلى تشكيل هيبوكلوريت وبشكل أساسي هيبوبروميت في مياه البحر، وتبلغ مستويات الـ(FRC (The sum of Free and Combined available Chlorine Residuals) في مياه الصّرف 200 إلى 500 µg/L، أي حوالي 10 إلى 25% من تركيز الجرعة.

وعندما تتم الكلورة لمياه مأخذ محطة تحلية بالـ RO تجرى عملية إزالة الكلورة ثنائية باستخدام Sodium bisulfite قبل ولوجها وحدات الـ RO لتفادي تضرر الغشاء، [6] ففي محطات الـ RO الحديثة يتم تحييد الكلور بـ sodium metabisulphite قبل دخوله الأغشية مما يفضي لاحقا إلى تراكيز منخفضة في المحلول الملحي المصروف. [5]

وبسبب قضايا بيئية وصحية حول الكلورة ونواتج التعقيم العَرَضية المرافقة By products، أخذت عدّة طرائق معالجة تمهيدية بديلة بعين الاعتبار بما في ذلك: (sodium bisulfite, monochloramine, copper sulfate, ozone).

يبين الشكل (2) مستويات سمية الكلور على بعض الأنواع البحرية:



شكل (2): مستويات سمية الكلور على بعض الأنماط البحرية [18]
Chlorine toxicity levels for a range of marine species

5.4. مضادات (مانعات) التقتير:

وُهي تضاف لمياه التغذية الخام في المحطات الحرارية والغشائية لمنع تشكل القشور، كالمواد البوليميرية (حموض بولي كربونيك، بولي فوسفات .. الخ)، وسُميَّة مضادَّات التَّقشر على الحياة المائية منخفضة، وُلكن بما أن هذه المواد تخفُّض تشكل القشور باليَّة عزل شوارد الكالسيوم والمغزيريوم وتشكيلها معقدات، فهي تُؤثر على العمليات الطبيعية لهذه الشوارد وغيرها من المعادن ثنائية التكافؤ في البيئة البحرية. [6] وتكون الفوسفات في تصريفات محطات تحلية المياه المالحة، ضارَّة في الحالات التي تستخدم فيها بولي الفوسفات كمضادَّات أو مانعات تَقشر، حيث يمكن أن يتراوح تصريف الفوسفور P لبعض محطات التحلية بين 0.5 و 24 طن في السنة (حسب الحالة). [19]

6.4. المخثرات (في محطات الـ RO):

تُضاف المخثرات كـ Ferric-III-chloride ومساعدات التخثير من المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي المرتفع كـ Polyacrylamide لمياه التغذية الخام، بغرض التخثير.

تغسل المرشحات عكسيًا بشكل متقطع، ثم تحمّل مياه الغسيل بالمواد المعلقة والمخثرات وتصرف إلى مياه المحيط بدون معالجة، والكيميائيات حدّ ذاتها ضعيفة السُميَّة، لكن يمكن أن يُسبب صرفها تلوث حادّ لمياه الصرف إذا استخدمت أملاح الحديد، (محاليل ملحّية حمراء) التي قد تزيد العكارة وتخفُّض من اختراق الضوء للمياه، أو قد تدفن الأحياء الدقيقة Sessile benthic organisms في موقع التصريف [6]. صورة (5) [18]



صورة (5): عكارة المياه - تأثير مياه صرف المحطات على الحياة البحرية

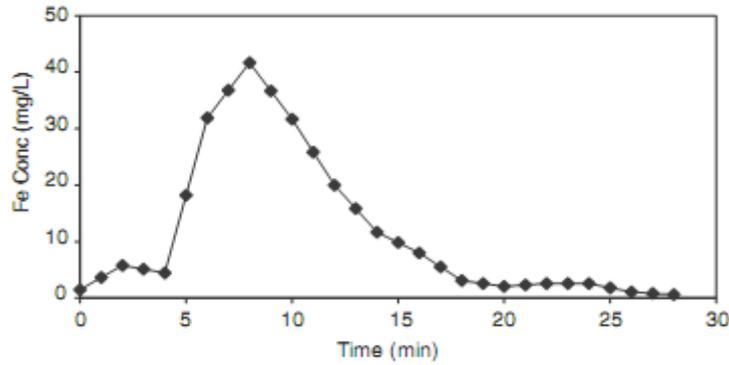
Impact of the Sur plant effluent on a nearby coral reef: Transition to the impact zone (left) and close-up view of dead corals within the impact zone (right) (courtesy of Michel Claerboudt)

ينجم عن تصريفات محطات تحلية مياه البحر تغيُّر اللون بسبب التركيز المرتفع للحديد، وزيادة العكارة والمواد الصلبة المعلقة.

وقد تم رصد ظاهرة المحلول الملحي الأحمر في محطة Ashkelon لتحلية مياه البحر في فلسطين المحتلة، حيث لوحظت ظاهرة تصريف محلول ملحي ضارب للاحمرار، [19] صورة (6) [18] لمدة 10 - 20 دقيقة مرة كل ساعة بينما يتم صرف مياه الغسيل العكسي غير المعالجة والحاوية على تركيز حديد حتى 42 ملغ/ل مع المحلول الملحي كما يوضح الشكل (3)، ويُعزى هذا التركيز المرتفع للحديد إلى استخدام Ferric Sulfate كمخثر مضاف. [19]



صورة (6): تصريف مياه غسيل المرشحات (ظاهرة المحلول الملحي الأحمر) Ashkelon RO plant with negatively buoyant brine discharge during backwash through an open channel at the coast into the Mediterranean.



Ferric (Fe) concentration in the brine during sand-filter backwash.

شكل (3): تغيير تركيز الحديد في المحلول الملحي المُصْرَف لغسيل المرشحات في محطة Ashkelon للتحلية (فلسطين المحتلة)

والحديد بحد ذاته ليس مركبا ساما للحياة البحرية ولكن التراكيز والحمولات المرتفعة منه يمكن أن تؤثر على البيئة، حيث يمكن أن تتراوح حمولة تصريفات الحديد Fe لبعض محطات التحلية بين 265 و 650 طن في السنة (حسب الحالة). [19]

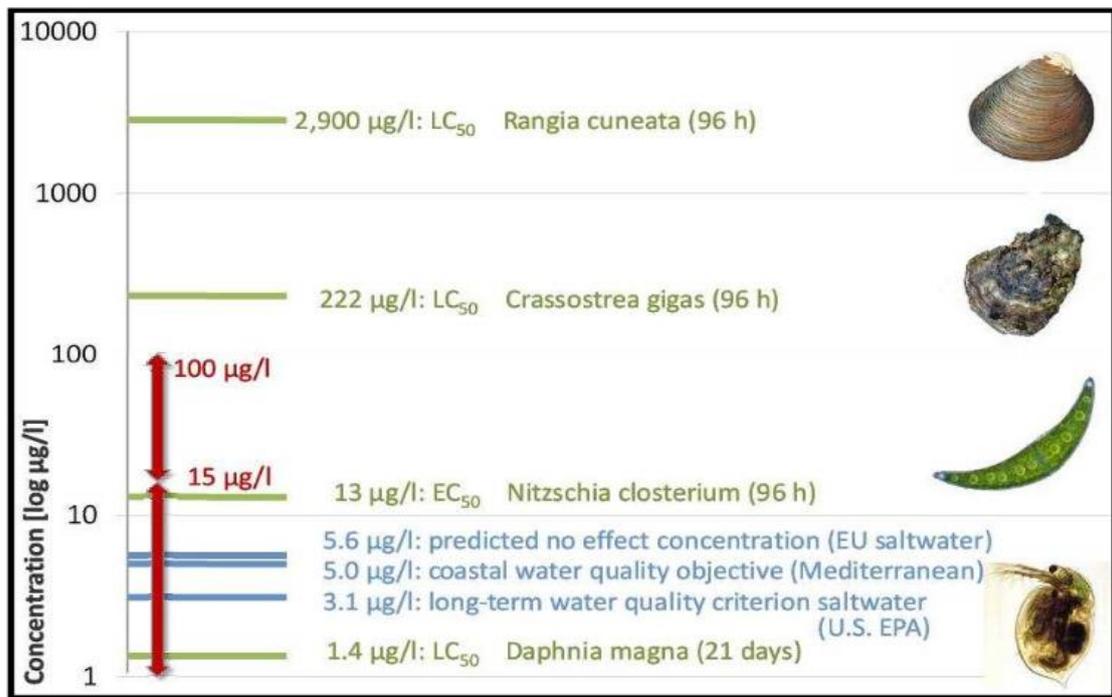
7.4. المعادن الثقيلة:

تنتج في تصريف كل من محطات التقطير والـ RO بتركيز منخفضة نسبيا، إلا أنها تزيد في التقنيات الحرارية حيث تؤدي الحرارة المرتفعة إلى حت وتآكل معادن المنشأة كسبائك النحاس، النيكل، الكروم، الموليبدنيوم، الحديد، والزنك.

إن منشآت الـ RO هي أقل عرضة لتحرير المعادن الثقيلة عندما يتم إنشاؤها من الستانلس ستيل المقاوم للتآكل، ولكن في حال استخدام ستانلس ستيل منخفض النوعية يمكن أن يزيد التآكل قليلا مستويات الحديد، الكروم، النيكل، والموليبدنيوم في المحلول المصروف.

كما تتضمن عمليات الـ RO إضافات مواد للمعالجة التمهيدية واللاحقة والتنظيف الكيميائي، من شأنها أن تحوي معادن كالحديد. ويمكن لتمديد (تخفيف) سريع للمياه على مدى أمتار من مصرف المحلول الملحي أن يخفف من وطأة المشكلة (خاصة في المحطات ذات السعات الصغيرة). [5]

أما في محطات الـ MSF فإن المعدن السائد لأنابيب المبادلات الحرارية هو النحاس - النيكل، ولكليهما مقاومة ضعيفة للتآكل والاحت، الأمر الذي يفضي إلى تلوث كبير بالمعادن الثقيلة، خاصة مع التشغيل بدرجات حرارة مرتفعة، ويميل النحاس إلى أن يترسب ويُمتص من قِبل الأحياء القاعية مما يعزز من إمكانية انتقاله في النهاية عبر السلاسل الغذائية. يبين الشكل (4) مستويات سمية النحاس على بعض الأنماط البحرية.



شكل (4): مستويات سمية النحاس لبعض الأنماط البحرية [18]
Copper toxicity levels for a range of marine species

8.4. درجة الحرارة:

نتيجة لتسخين المياه في المحطات الحرارية يمكن لعمليات التحلية أن ترفع درجة حرارة المحلول الملحي المصروف Brine ما بين 5 إلى 15 °C فوق ما هي عليه مياه البحر. [5]

من شأن الزيادة في درجات حرارة المياه أن تنقص من انحلالية الأكسجين، وبالتالي فإن المستويات المنخفضة من الأكسجين قد تكون ضارة بالأنواع، ففي الشتاء يحفز ارتفاع درجة حرارة المياه من النشاطات البيولوجية، في حين يكون له تأثير قاتل في الصيف للأحياء غير المتحركة وغير المتكيفة.

[18]

9.4. الـ pH:

قد تخفض خطوة إزالة الكلور de-chlorination المدرجة ضمن مراحل المعالجة التمهيدية بشكل هامشي من pH مياه صرف المحطة، إلا أن عملية الخلط يمكن أن تعيده إلى قيمة pH مياه البحر عبر أمتار من موضع المصب.

10.4. الأكسجين المنحل:

هناك احتمالية لحدوث انخفاض في كمية الأكسجين المنحل مما ينعكس على الحياة البحرية، فمحطات التحلية بالتقطير غالباً ما تصرف محلول ملحي بمستويات منخفضة للأكسجين المنحل نتيجة عملية التسخين، الأمر الذي قد لا يحدث في محطات الـ RO، إلا أنه ومن جهة أخرى فإن إضافة المواد الكيميائية المستهلكة للأكسجين كـ sodium bisulphite (والتي تضاف لمياه تغذية الـ RO لمنع الحث والتآكل، ولإزالة الكلور المتبقي) من شأنه أن يخفض مستويات الأكسجين المنحل في تصريف محطات الـ RO أيضاً، عندئذٍ يمكن اللجوء إلى تخفيف (تمديد) سريع للمياه لتعديل القيمة بحيث تصبح قريبة من تلك التي في البيئة المستقبلية. [5]

11.4. مضادات (مانعات) الرغوة (في المحطات الحرارية):

تضاف لتخفيض الرغوة في المحطات الحرارية وسائل مانعة لها كبولي الإثيلين وبولي البروبيلين غليكول، وبولي الغليكول [6] والحموض الدهنية بجرعات نموذجية حوالي 0.1 ملغ/ل، وتعتمد هذه الجرعة بشكل أساسي على نوعية المياه الخام والتغيرات الموسمية في بنيتها العضوية. وتعتبر المواد المضادة للرغوة غير سامة لذلك فهي لا تشكل اعتباراً مهماً يؤثر على البيئة البحرية. [18]

وعموماً:

يمكن تصنيف مستويات الخطورة لحيثيات منظومة التحلية كما في الجدول (3): [18]

جدول (3): مستوى الأضرار المحتملة للملوثات الرئيسية في محطات الـ MSF و الـ RO

Potential harmfulness of major pollutants in MSF and RO effluents

	MSF	RO
Very critical	Chlorine	Cleaning solution
Critical	Temperature, Antiscalants, Copper, THM	Salinity, Antiscalants, THM
Less critical	Salinity, Cleaning solution, Nickel	Coagulants
Non-critical	Antifoaming, Other metals	Temperature, Metals

يتضح مما سبق مدى تأثير مخلفات تقنيات التحلية على البيئة ولنا أن نقدر حجم هذا التأثير إذا علمنا أن محطة تحلية تنتج 50 مليون غالون يومياً من مياه الشرب، ستسحب على الأقل 100 مليون غالون من مياه البحر يومياً لتصرف على الأقل 50 مليون غالون من المحلول الملحي عالي التركيز يومياً، مما يفضي إلى آثار عكسية على الحياة البحرية ونوعية المياه في المنطقة. [12]

5. أهم الإجراءات الوقائية المقترحة لحماية البيئة وخفض الآثار السلبية لمحطات التحلية:

تتضمن أهم القضايا الرئيسية المتعلقة بمبادئ وقاية وحماية البيئة في محطات التحلية مراعاة بعض الإجراءات والنقاط، منها:

- تتطلب محطات التحلية بالـ RO مأخذ كبير لمياه البحر مما قد يؤدي إلى اصطدام ودخول أحياء البيئة البحرية، ولتجنب ذلك تستخدم مصافي بشبكة 5 مم تقريبا عند مدخل المياه لمنع الحيوانات البحرية الكبيرة من دخول المأخذ، وقد بينت دراسة أجريت في محطة Sydney للتحلية أن معدلات سرعة تدفق حدود 0.1 م/ثا يمكن أن تجنب الأسماك والحيوانات الكبيرة الارتطام بالمأخذ أو دخوله، لكن من المحتمل دخول حيوانات أصغر مثل (phytoplankton, zooplankton, ichthyoplankton).

على سبيل المثال: يمكن للسلاحف الخضراء الصغيرة أن تسبح بمعدل سرعة 0.4 م/ثا وبالتالي تكون قادرة على السباحة بعيدا عن المأخذ (ذي سرعة السحب 0.1 م/ثا أو أقل)، وعليه فإن اعتماد المصافي مع معدلات سرعة تدفق منخفضة من شأنه أن يخفف من المشكلة. [5]

- استبدال بولي الفوسفات بمائعات تقشر وإضافات أخرى صديقة للبيئة.

- إزالة الحديد ليس فقط لأغراض جمالية لتجنب اللون، ولكن لمنع الخطر المحتمل على البيئة البحرية بسبب الحمولات العالية وتراكمها مع الوقت أيضا. [19]

- يجب أن يتوضع مصرف المحطة بحيث لا يؤدي الحياة البحرية الحساسة القريبة المجاورة.

- تقنين استخدام الكيماويات أو استخدام معالجات بديلة، وهذا يتضمن استخدام مواد غير حادة (ذات إمكانية حث أقل)، ومعالجة الكيماويات بشكل كافي قبل صرفها. [12]

- يجب أن يؤخذ استخدام طرائق معالجة تمهيدية بديلة عمليا بعين الاعتبار، كالترشيح المسبق بأغشية الـ UF والـ MF، فهذا قد يلغي أو يُخفف بشكل ملحوظ الحاجة للمعالجة التمهيدية الكيميائية. [6]

- ويمكن الاستفادة من النواتج المرفقة (الأملح)، الناجمة عن عملية التحلية على اعتبار أن المحلول المصروف يحوي على كمية ضخمة من الملح كنواتج صلب يمكن استخلاصه، من خلال ضخ المياه المالحة المصروفة إلى برك تبخير كبيرة وضحلة، حيث بمقدور محطة SWRO ثنائية الغرض مثلا أن تنتج 30 إلى 40 كغ من الملح لكل 1 م³ من المياه العذبة، ويستعمل الملح ذو النقاوة العالية للطعام، بينما يستعمل الأقل نقاوة في إزالة الجليد، وفي الغالب يكون استعمال الملح كمواد أولية في الصناعات الكيميائية. [20]

- ومن المهم جدا سنّ تشريعات بيئية تفرض اشتراطات متعلقة بإنشاء وتشغيل منظومة التحلية، تلزم الجهة المسؤولة عن تصميم محطة التحلية مراعاة سلامة البيئة البحرية قدر الإمكان، ومن بعض الاعتبارات التي تؤخذ بالحسبان:

- يجب أن يتم التصريف عبر مصب عميق في البحر، ويمنع التصريف إلى الشاطئ، باستثناء مصبات مياه التبريد لمحطات الطاقة.
- يجب أن ينتهي المصب بناشر لتحقيق تشتيت وتمديد أفضل، ومن أجل المحلول الملحي المصروف الأثقل من مياه البحر فإن نهاية المصب تكون على الأقل أعلى من قاع البحر بـ 2م، لتمديد أفضل.
- يتم تحديد طول المصب وفقاً لبعده أصغري 300م عن خط الشاطئ، ويجب تجنب الأذى للشاطئ قدر المستطاع بمصب يمتد إلى عمق 30 م، أو لمسافة ميل بحري، وتدرس الخصائص الأوقيانوغرافية كتغيرات المياه والتيارات وغيرها.
- يجب عدم إنشاء المرافق الساحلية المتعلقة بخط الأنابيب (كمرافق المعالجة والضخ) على الشاطئ، (في شريط 100م)، إلا في حال كونها ضمن ميناء أو موقع مرافق هندسية موجودة سلفاً، وتم إنشاؤها بكل الأحوال. [21]

6. الخلاصة:

استعرضنا في هذا المقال أهم جوانب الأثر البيئي لمنظومة التحلية على البيئة المائية، وارتباطاتها بتفاصيل المعالجة التمهيدية، فمن المهم أن ندرك بأن للمعالجة التمهيدية المعتمدة في تكنولوجيا تحلية المياه دور كبير في تقييم الأثر البيئي الناجم عنها، لما يتخللها من إضافات وآليات تنعكس سلباً على البيئة البحرية لاحقاً، وعليه: يجب الإلمام بحثيات هذه المعالجة قبل البدء بالتقييم، وحصص خطواتها في الإطار الذي يُحجم من انعكاساتها البيئية.

ويبدو أن البحث عن بدائل للمعالجات الكيميائية والتقنين من إضافاتها في المراحل الأولى هو أمر حيوي لا بد منه إذا أردنا توظيف هذه التكنولوجيا بأقل الأضرار الممكنة، حفاظاً على سلامة الأنظمة البيئية والحياة البحرية، كما أن اتخاذ التدابير الوقائية لدى إنشاء وتشغيل محطات التحلية من شأنه أن يكون إيجابياً في هذا السياق.

7. المراجع:

1 – زنبوعة محمود – 2007 – الأمن المائي العربي – مجلة جامعة دمشق للعلوم الاقتصادية والقانونية، المجلد 23، العدد الأول، 175-197.

2 – Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos – 2008 – **Water desalination cost literature: review and assessment** – *Desalination* **223**, 448–456.

3 – Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong-Mihn Wie – 2008 – **Advances in seawater desalination technologies** – *Desalination* **221**, 47–69.

4 – المعالج محمد، بوقشة صالح – واقع وأفاق تحلية المياه في الوطن العربي ومدى إمكانية استخدام الطاقات المتجددة – المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم – إدارة برامج العلوم والبحث العلمي – جامعة الدول العربية.

5 – Report prepared by RPS, for Chevron Australia PTY LTD – 2009 – **Effects Of A Desalination Plant Discharge On The Marine Environment Of Barrow Island** – Report No: N09504 – Version/Date: Rev 2, August 2009.

6 – Sabine Lattemann, Thomas Höpner – 2008 – **Environmental impact and impact assessment of seawater desalination** – *Desalination* **220**, 1–15.

7 – A. M. Hassan, M. AK. Al-Sofi, A. S. Al-Amoudi, A. T. M. Jamaluddin, 1st. M. Farooque, A. Rowaili, A. G. I. Dalvi, N.M. Kither, G.M. Mustafa and I. A. R. Al-Tisan – 1998 – **A NEW APPROACH TO MEMBRANE AND THERMAL SEAWATER DESALINATION PROCESSES USING NANOFILTRATION MEMBRANES (PART -1)** – Research and Development Center, Saline Water Conversion Corporation – Kingdom of Saudi Arabia – Published in the International Desalination & Water Reuse Quarterly, May/June Issue, 1998, Vol. 8/1, p.53-59, and also in August/September Issue 1998, Vol. 8/2 p. 39-45. Paper based on this work

was presented at Conference on membrane in Drinking and Industrial Water Production, Amsterdam, The Netherlands, September 21-24, 1998, Proceedings Vol. 2, and published in *Desalination* Vol. 118 (1998) 35-51.

8 – Young M. Kim, Seung J. Kim, Yong S. Kim, Sangho Lee, In S. Kim, Joon Ha Kim – 2009 – **Overview of systems engineering approaches for a large-scale seawater desalination plant with a reverse osmosis network** – *Desalination* **238** , 312–332.

9 – قبرطاي شيرين – 2011 – **أثر المعالجة التمهيدية في تحسين كفاءة تقنيات تحلية المياه** – الأيام العلمية لكلية الهندسة المدنية، 20-21 نيسان 2011 – جامعة حلب.

10 – Wolfgang Hater, Christian zum Kolk, Claire Dupoirion, Gerd Braun, Timo Harrer, Thomas Götz – **SILICA SCALING ON REVERSE OSMOSIS MEMBRANES - INVESTIGATION AND NEW TEST METHODS** – www.bkgwater.com.

11 – ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR WESTERN ASIA – 2001 – **WATER DESALINATION TECHNOLOGIES IN THE ESCWA MEMBER COUNTRIES** – New York, United Nations.

12 – **Seawater desalination and the California Coastal Act** – California Coastal Commission March 2004.

13 – Mohamed M. ELabbar – 2008 – **The Libyan experimental on the environmental impact assessment for desalination plants** – *Desalination* **220**, 24–36.

14 – A Review of Key issues and Experience in Six Countries – 2004 – **Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia**, Final Report, Main Report, December 2004, This report was prepared by a consortium of consultants, consisting of DHV Water BV, Amersfoort, the Netherlands (leading partner), and BRL Ingénierie, Nîmes, France.

15 – TECHNICAL MANUAL – 1986 – **WATER DESALINATION** – Headquarters Department of the Army, WASHINGTON, USA, Technical Manual TM 5-813-8, Water Desalination.

16 – David Paul, Abdul Rahman M. Abanmy – **REVERSE OSMOSIS MEMBRANE FOULING - THE FINAL FRONTIER** – Published in *Ultra Pure Water*, vol 7 No 3, pp 25-36, 1990.

17 – Simon Gare – 2002 – **RO Systems: the Importance of Pre-treatment** – *feature article*, January/February 2002, www.filtsep.com.

18 – Wi-Ing. Frank Münk – **Ecological and economic analysis of seawater desalination plants** – Diploma Thesis – Matri. No.: 1157140 – UNIVERSITY OF KARLSRUHE – Institute for Hydromechanics, April 2008.

19 – Iris Safrai, Alon Zask – 2008 – **Reverse osmosis desalination plants — marine environmentalist regulator point of view** – *Desalination* **220**, 72–84.

20 – ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR WESTERN ASIA (ESCWA) – ESCWA WATER DEVELOPMENT REPORT 3, **ROLE OF DESALINATION IN ADDRESSING WATER SCARCITY** – United Nations, New York, 2009.

21 – Iris Safrai, Alon Zask – **Environmental Regulations for discharging Desalination Brine to the Sea and its Possible Impacts-** Ministry of the Environmental Protection.