الفصل الثاني
التلوث المائي وطرق المعالجة

- ملوثات المياه
- مكافحة التلوث المائي
- الماء فائق التأين
- معالجة مياه الصرف الصحي
- استخدامات المياه المعالجة
- فوائد المياه المعالجة
- مجالات استخدام المياه المعالجة
- طرق تحلية المياه المالحة

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثاني

التلوث المائي وطرق المعالجة

يتعرض الماء لعدة عوامل تسبب تلوثه، وهي ظاهرة خطيرة تؤدي إلى انخفاض كميات الماء الصالح للشرب الذي تكون أغلب مصادره من الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية. ومعلوم أن النسب العالية من المخلفات التي ترميها المصانع في المياه تمثل أهم أسباب التلوث المائي.

ويمثل تلوث المياه مشكلة في جميع أنحاء العالم، حيث تتسبب في وفاة عديد من السكان والكائنات الحية. وعلى الرغم من استفحال المشكلة وضخامة حجمها إلا أنها تزداد سوءًا يوميًّا سواء في الدول النامية أو الدول المتقدمة، وتعتبر المياه ملوثة عندما تحتوي على مكونات تفسدها؛ بحيث لا تصلح للاستهلاك البشري كمياه الشرب، أو بحيث تؤثر على الأحياء التي تعيش فيها كالأسماك والأحياء المائية الأخرى.

ملوثات المياه

وتتضمن الملوثات الآتية:

- النفايات المستهلكة للأكسجين وتشمل الكائنات الحية المسببة للأمراض والمواد العضوية الناتجة عن الأغذية، ومخلفات النباتات وبقايا المحاصيل والمياه العادمة (المنزلية، والصناعية والزراعية). وهذه المواد قابلة للتحلل؛ إذ يمكن أكسدتها في المياه، ولذلك تسمى مواد مستهلكة للأكسجين. يؤدي استهلاك الأكسجين المذاب في الماء إلى استنزافه، وبالتالي موت الأحياء المائية خنقًا، مثل: الأسماك والكائنات الحية الدقيقة الهوائية، وفي الوقت نفسه تزداد الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية في الماء فتحلل المواد العضوية لا هوائيًّا، وينتج غازات سامة وروائح كريهة.
- المواد السامة العضوية وتشمل النفط، والعصارة في أماكن الطمر الصحي. وتلوث المياه بالنفط يصيب مياه البحار والمحيطات؛ بسبب تسربه من السفن المحمَّلة بالنفط أو من آبار النفط بالبحر. أما العصارة فتصيب المياه الجوفية بسبب تسربها من مكبات الطمر الصحي وترشّحها خلال الصخور ومن ثم وصولها إلى المياه الجوفية.
- المواد السامة غير العضوية بعض هذه المواد مصدرها الصخور؛ إذ تتحرر بالتجوية وتحمل بالمياه الجارية أو الأنهار إلى البحيرات، أو تتخلل مسامات التربة والصخور فتلوث المياه الجوفية. غير أن الإنسان سرّع بعمليات التعدين والمعالجة في تحرير المواد السامة من الصخور بمعدل آلاف المرات، مقارنة

بالعمليات الطبيعية. بالإضافة إلى ما تضيفه المصانع والمستشفيات والمزارع، وغيرها من المواد السامة إلى النظام البيئي.

مكافحة التلوث المائى

- تتخلص المصانع من نفاياتها بكبها بالبحار أو الأنهار القريبة منها.

فيما يلي سوف نلقي الضوء على طرق مكافحة التلوث المائي:

مكافحة تلوث المياه في المصافي

عادة في الزيوت تكون المواد الذاتية كمثل السلفيدات ومركبات فينول النيتروجين والأحماض المختلفة وتتم المعالجة بالوسائل الآتية:

- تخصيص شبكات لصرف المياه بالمصافي، بوجود شبكات منفصلة للمياه الخالية من الزيت والمياه الملوثة به.
- تقليل كمية مياه التبليل.
- نزع الغازات من المياه الحمضية وحرقها.
- فصل الزيت عن الماء.
- التخلص من المصافي القديمة التي لا تحتوي معدات تحويلية.
- التوسع في عمليات تحويل زيت الوقود.

مكافحة بقع النفط في مياه البحار والمحيطات

تتم معالجتها بواسطة عدة طرق، من أهمها ما يلي:

- **حواجز الزيت المصمتة**: حيث تقوم بحصر بقع النفط الطافية، وتساعد على تركيزها في مكان واحد، يسهل تجميعها وضخها ميكانيكيا.
- **حواجز الزيت غير المصمتة**: لا تختلف عن الأولى إلا لكونها تحتاج إلى جهد بشري كبير، متمثل في عملية نشر هذه الحواجز.
- **التجميد والتبريد**: أي مبدأ تجميع بقع الزيت الطافية على الماء، بواسطة تحرير غاز ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي يسهل جمعها والتخلص منها.
- **الحريق**: يمضي إحراق البقع الزيتية، وهذا بالإضافة لبعض المواد المساعدة عن الاحتراق وتستخدم هذه الطريقة إذا كان حجم البقع الزيتية كبيرة.
- **التحليل البيولوجي**: يقوم هذا الأسلوب على مبدأ رش المواد الحيوية الدقيقة، مثل البكتيريا، والتي تتمتع بخاصية التغذي بالملوثات النفطية على سطح البقع الزيتية.

الماء فائق التأين

الماء فائق التأين هو أحد أطوار الماء تحت ضغط ودرجة حرارة عاليتين، ويمتلك هذا النوع من الماء خواص الحالة السائلة والصلبة. وما تزال فكرة الماء فائق التأين نظرية، ولكن هناك تصورات حول خواصه. ففي حال وجوده على الأرض فإنه سيمدد بسرعة وينفجر، ويعتقد أنه سيكون قاسيًا كالحديد وذا لون أصفر ذهبي. فعند درجة الحرارة والضغط الكبيرين كما هو الحال في داخل الكواكب الغازية فإن الماء يتواجد على شكل ماء متأين؛ حيث تتكسر الجزيئات وتتواجد شوارد الهيدروجين والأكسجين في السائل. وكلما ازداد الضغط؛ يتشكل الأكسجين على شكل بلورات، وتطفو شوارد الهيدروجين ضمن البنية الشبكية.

معالجة مياه الصرف الصحي

أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم وزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه .. ورغم أن بعض الدول لا تعاني من هذه المشكلة بسبب تنوع مصادر المياه التقليدية فيها، ووجود هذه المياه بكميات تفي بالطلب، إلا أن توزيع المياه المصالحة للاستعمال على سطح الكرة الأرضية ليس متساويًا. وقد أدى ذلك إلى اختلال التوازن بين الكميات المتوافرة من المياه والطلب الفعلي عليها؛ الأمر الذي أدى إلى التفكير في تنويع مصادر المياه، واستغلال أكبر كمية ممكنة منها بشتى الطرق. وتعد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة من طرق استغلال المياه، التي تلاقي قبولاً ملحوظًا في الآونة الأخيرة.

إن الغرض من معالجة مياه الصرف الصحي هو إسراع العمليات الطبيعية، التي تحدث لتلك المياه تحت ظروف محكمة وبحجم صغير. ومن الأسباب المهمة لتطوير طرق معالجة تلك المياه تأثيرها على الصحة العامة والبيئة؛ حيث كانت المعالجة تنحصر في إزالة المواد العالقة والطافية، والتخلص من المواد العضوية المتحللة، وبعض الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض. ونتيجة لتقدم العلم في مجال الكيمياء والكيمياء الحيوية وعلم الاحياء الدقيقة وزيادة المعرفة بتأثير الملوثات على البيئة، سواء على المدى القريب أو البعيد إضافة إلى التقدم الصناعي، وإنتاج مواد جديدة جعل من الضروري تطوير طرق معالجه لتلك المياه، تكون قادرة على إزالة معظم الملوثات، التي لم يكن من السهل إزالتها بالطرق المستعملة قديمًا.

يتم تجميع مياه الصرف الصحي من عدة مصادر، وتعتمد الكميات التي يتم جمعها من تلك المصادر على المصدر، ونوعية نظام التجميع المستعمل فيها.

ومن مصادر تلك المياه ما يلي:

١. مياه استعمالات الأغراض المنزلية والتجارية وغيرها كالمدارس والفنادق والمطاعم.

٢. مياه الاستعمالات الصناعية.

٣. مياه الأمطار في حالة دمج شبكة المجاري بشبكة تصريف السيول.

٤. المياه المتسربة من عدة مصادر وخاصة الجوفية.

تحتوي هذه المياه على عدة عناصر صلبة وذائبة، يمثل الماء فيها نسبة ٩٩٪، والبقية عبارة عن ملوثات، أهمها:

١. مواد عالقة.

٢. مواد عضوية قابلة للتحلل.

٣. كائنات حية مسببة للأمراض.

٤. مواد مغذية للنبات، مثل: النيتروجين، والفوسفور والبوتاسيوم.

٥. مواد عضوية مقاومة للتحلل.

٦. معادن ثقيلة.

٧. أملاح معدنية ذائبة.

تشهد معالجة مياه الصرف الصحي مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والإحيائية، التي يتم فيها إزالة المواد الصلبة والعضوية والكائنات الدقيقة أو تقليلها إلى درجة مقبولة، وقد يشمل ذلك إزالة بعض العناصر الغذائية ذات التركيزات العالية مثل الفوسفور والنيتروجين في تلك المياه. ويمكن تقسيم تلك العمليات حسب درجة المعالجة إلى عمليات تمهيدية وأولية وثانوية ومتقدمة، وتأتي عملية التطهير للقضاء على الأحياء الدقيقة في نهاية مراحل المعالجة. وتتضمن هذه المراحل شكل ما يلي:

١. **المعالجة التمهيدية**: تستخدم في هذه المرحلة من المعالجة وسائل لفصل وتقطيع الأجزاء الكبيرة الموجدة في المياه لحماية أجهزة المحطة ومنع انسداد الأنابيب، وتتكون هذه الوسائل من منخل متسع الفتحات، وأجهزة سحق، وتحتوي هذه المرحلة أحيانًا على أحواض أولية للتشبع بالأكسجين. ومن خلال هذه العملية فإنه يمكن إزالة ٥- ١٠٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل إضافة إلى ٢-٢٠٪ من المواد العالقة. ولا تعد هذه النسب من الإزالة كافية الغرض لإعادة استعمال المياه في أي نشاط.

٢. **المعالجة الأولية**: الغرض من هذه المعالجة إزالة المواد العضوية والمواد الصلبة غير العضوية القابلة للفصل، من خلال عملية الترسيب. ويمكن في هذه المرحلة من المعالجة إزالة ٣٥ – ٥٠ ٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل، إضافة إلى ٥٠ – ٧٠ ٪ من المواد العالقة.. وحتى هذه الدرجة من المعالجة، فإن الماء لا يزال غير صالح للاستعمال. وتحتوي الوحدة الخاصة بالمعالجة الأولية على أحواض للترسيب، بالإضافة إلى المرافق الموجودة في وحدة المعالجة التمهيدية وربما تحتوي أيضًا على وحدات تغذية لبعض المواد الكيميائية إضافة إلى أجهزة لخلط تلك المواد مع المياه.

٣. **المعالجة الثانوية**: هذه المرحلة من المعالجة عبارة عن تحويل إحيائي للمواد العضوية إلى كتل حيوية، تزال فيما بعد عن طريق الترسيب في حوض الترسيب الثانوي، وهناك عدة أنواع من المعالجة الثانوية؛ يمكن تقسيمها، حسب سرعة تحليل المواد العضوية إلى:

- عمليات عالية المعدل: ومن أمثلتها عملية الحمأة المحفزة والترشيح بالتنقيط، والتلامس الحيوي الدائري الحركة.
- عمليات منخفضة المعدل: ومن أمثلتها البحيرات الضحلة ذات التهوية وبرك الاستقرار. ويمكن من خلال المعالجة الثانوية إزالة ما يقرب من ٩٠ ٪ من المواد القابلة للتحلل، إضافة إلى ٨٥ ٪ من المواد العالقة.

٤. **المعالجة المتقدمة**: يتم تطبيق هذه المرحلة من المعالجة، عندما تكون هناك حاجة إلى ما نقي بدرجة عالية، ويحتوي هذه المرحلة على عمليات مختلفة لإزالة الملوثات، التي لا يمكن إزالتها بالطرق التقليدية سابقة الذكر. ومن هذه الملوثات: النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية والمواد العالقة الصلبة الزائدة إضافة إلى المواد التي يصعب تحللها بسهولة والمواد السامة، وتتضمن هذه العمليات ما يلي:

- التخثر الكيميائي والترسيب: التخثر الكيميائي عبارة عن إضافة مواد كيميائية تساعد على إحداث تغير فيزيوكيميائي للجسميات، ينتج عنه تلاصقها مع بعضها، وبالتالي تجمعها، ومن ثم ترسيبها في أحواض الترسيب؛ نظرًا لزيادة حجمها وتستخدم. وتستخدم عدة مخثرات كيميائية، من أهمها: مركبات الحديد والألمونيوم والكالسيوم والبوليمر.
- الترشيح الرملي: عبارة عن عملية تسمح بنفاذ الماء خلال وسط رملي بسماكة لاتقل عن ٥٠ سم، ويتم من خلال هذه العملية إزالة معظم الجسميات

العالقة، والتي لم يتم ترسيبها في أحواض الترسيب؛ نظرًا لصغر حجمها إضافة إلى إزالة المواد الصلبة المتبقية بعد عملية التخثر الكيميائي. كما أن هذه العملية ضرورية لتنقية المياه قبل معالجتها في عمليات لاحقة، مثل: الامتصاص الكربوني والتبادل الأيوني، والتناضح العكسي.

- الامتصاص الكربوني: ويتم في هذه العملية استخدام كربون منشط لإزالة المواد العضوية المذابة؛ حيث يتم تمرير المياه من خلال خزانات تحتوي على الوسط الكربوني ويتم من خلال الكربون المنشط امتصاص المواد العضوية المذابة الموجودة في مياه الفضلات. وبعد تشبع الوسط الكربوني يتم إعادة تنشيطه بواسطة الحرق أو استخدام مواد كيميائية.
- التبادل الأيوني: من خلال هذه العملية يتم إحلال أيونات معينة في الماء من مادة تبادل غير قابلة للذوبان بأيونات أخرى. وعملية التبادل الأيوني مشابهة لعملية الامتصاص الكربوني. إلا أن الأولى تستعمل لأغراض إزالة المواد غير العضوية.
- التناضح العكسي: يتم في هذه العملية ضخ الماء تحت ضغط عال من خلال غشاء رقيق ذى فتحات صغيرة جدًّا يسمح بمرور جزيئات الماء فقط، ويمنع مرور جزيئات الأملاح.

ويوضح جدول (١) نسب إزالة بعض الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي من خلال طرق المعالجة المختلفة الأولية والثانوية والمتقدمة.

٥. **عملية التطهير**: تتم عملية التطهير من خلال حقن محلول الكلور إلى حوض التطهير؛ حيث تتراوح الجرعة ما بين ٥ – ١٠ مليجرام للتر الواحد، وعادة ما تكون فترة التطهير لمدة ١٥ دقيقة كحد أدنى في حالة عدم استخدامها، وفي حالات استخدام المياه في الأغراض الزراعية، فإن مدة التطهير تصل إلى ١٢٠ دقيقة.

جدول (١)

نسب إزالة بعض الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي
من خلال طرق المعالجة المختلفة الأولية والثانوية والمتقدمة

الطريقة عنصر لإزالة	معالجة أولية٪	معالجة ثانوية عملية الحمأة المحفزة٪	معالجة متقدمة باستخدام		
			المرشحات الرملية٪	امتصاص كربوني بعد التبادل الأيوني٪	أكسدة كيميائية وتناضح عكسي٪
الأكسجين الكيموحيوي	42	94	96	100	100
الأكسجين الكيميائي	38	83	88	98	100
المواد العالقة الصلبة	63	91	99	100	100
نتروجين الأمونيا	18	70	80	100	100
الفوسفور	27	60	83	100	100
الكربون العضوي	34	89	90	100	100
الزيوت والدهون	65	94	94	97	100
العكر	31	90	97	100	100
القلوية	تزداد	38	89	لا تغير	لا تغير
اللون	15	56	70	93	93
المواد المسببة للزبد	27	79	79	92	92

استخدامات المياه المعالجة

يمكن استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في عدة أغراض، سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة .. وبصفة عامة، فإن نسبة إعادة استعمال المياه المعالجة من قبل القطاعات المختلفة تتمثل في الآتي:

١. أغراض زراعية ٦٠ ٪

٢. أغراض صناعية ٣٠ ٪

٣. أغراض أخرى كتغذية المياه الجوفية ١٠ ٪

فوائد المياه المعالجة

من أهم فوائد استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة المحافظة على احتياطي المياه؛ حيث إن استعمالها في الزراعة أو أي استعمالات أخرى، بدلاً عن المياه الصالحة للشرب، يؤدي إلى توفير هذه المياه والتوسع في المساحات الزراعية لإنتاج محاصيل متنوعة وبسعر أقل، كما يؤدي أيضًا إلى التقليل من التكاليف المتعلقة بإنتاج واستيراد واستعمال الأسمدة؛ بسبب وجود العناصر الضرورية للنبات في تلك المياه، والتقليل من تكاليف الحصول على المياه في الزراعة؛ خاصة إذا كانت مصادر تلك المياه جوفية.

مجالات استخدام المياه المعالجة

تختلف درجة معالجة مياه الصرف الصحي حسب الاستعمال المطلوب، وقد اقترحت منظمة الصحة العالمية طرق معالجة خاصة بالاستعمالات الشائعة لتلك المياه، وتتضمن مجالات استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الشرب؛ خاصة في المناطق المعرضة للجفاف، والمرافق السياحية والري والزراعة.

طرق تحلية المياه المالحة

أولا: تحلية المياه بطرق التقطير

ثانيًا: التحلية باستخدام طرق الأغشية

ثالثًا: تحلية المياه بطريقة البلورة أو التجميد

أولاً : تحلية المياه بطرق التقطير

تكمن الفكرة الأساسية لعمليات التقطير في رفع درجة حرارة المياه المالحة إلى درجة الغليان، وتكوين بخار الماء الذي يتم تكثيفه بعد ذلك إلى ماء، ومن ثم معالجته ليكون ماءً صالحًا للشرب أو الري.

طرق التقطير نذكر، منها ما يلي:

١. **التقطير العادي**: يتم غلي الماء المالح في خزان ماء دون ضغط. ويصعد بخار الماء إلى أعلى الخزان، ويخرج عبر مسار موصل إلى المكثف، الذي يقوم بتكثيف بخار الماء الذي تتحول إلى قطرات ماء يتم تجميعها في خزان الماء المقطر. وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الصغيرة.

٢. **التقطير الومضي متعدد المراحل**: اعتمادًا على الحقيقة التي تقرر أن درجة غليان السوائل تتناسب طرديًّا مع الضغط الواقع عليها فكلما قل الضغط الواقع على السائل انخفضت درجة غليانه. وفي هذه الطريقة تمر مياه البحر بعد تسخينها إلى غرف متتالية ذات ضغط منخفض، فتحول المياه إلى بخار ماء يتم تكثيفه على أسطح باردة، ويجمع ويعالج بكميات صالحة للشرب. وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الكبيرة (٣٠٠٠٠ متر مكعب أي حوالي ٣٥ مليون لتر مياه يوميًّا).

٣. **التقطير باستخدام الطاقة الشمسية**: تعتمد هذه الطريقة على الاستفادة من الطاقة الشمسية في تسخين مياه البحر حتى درجة التبخر ثم يتم تكثيفها على أسطح باردة وتجمع في مواسير.

٤. **التقطير بطريقة البخار المضغوط**: بينما تستخدم وحدات التقطير متعدد التأثير والتبخير الفجائي مصدر بخار خارجي للتسخين كمصدر أساسي للحرارة، فإن التقطير بانضغاط البخار – والذي يختصر عادة إلى التقطير بالانضغاط –يستخدم

بخاره الخاص كمصدر حراري بعدما يضغط هذا البخار. وفي هذه الطريقة، يمكن الحصول على اقتصادية عالية للطاقة. ولكن، من الضروري الحصول على الطاقة الميكانيكية باستخدام ضاغط (أو أي شكل للطاقة المستفادة بأجهزة أخرى مثل ضاغط الطارد البخاري. وبرغم اختلاف هذه العملية للتقطير عن العملية المثالية، فإنه يلزم التنويه بأن هناك مصادر حرارية، كما هو الحال في عمليات التقطير الأخرى والتي نوقشت أعلاه.

يسخن ماء البحر مبدئيًّا في مبادل حراري أنبوبي، مستخدمًا كلاً من الماء المالح والماء المطرود والماء العذب الخارجي من الوحدة ثم يغلى ماء البحر داخل أنابيب المقطر. وتضغط الأبخرة، ثم ترجع إلى المقطر حيث تتكثف خارج الأنابيب؛ مما يوفر الحرارة اللازمة لعملية الغليان. وتسحب الغازات غير القابلة للتكثيف من حيز البخار والتكثيف، بوساطة مضخة سحب أو طارد بخاري أيهما يلائم.

ويعتبر الضاغط هو قلب وحدة التقطير؛ فإذا لم تضغط الأبخرة .. فإنه لا يمكنها التكثف على الأنابيب الحاملة لماء البحر المغلي؛ لأن درجة حرارة تكثيف البخار النقي عند ضغط معين تقل عن درجة حرارة غليان الماء المالح عند هذا الضغط. فمثلاً، إذا كان ضغط البخار ١ ضغط جوي، فإن بخار الماء يتكثف عند درجة ١٠٠ م، ولكن ماء البحر بتركيز مضاعف يغلي عند حوالي ١٠١ درجة مئوية. وحتى يتسنى للأبخرة التكثف عند درجة حرارة ١٠١ درجة مئوية، فإنه يلزم على الأقل لهذه الأبخرة أن تضغط إلى ضغط ١٠٣ ضغط جوي.

ثانيًا: التحلية باستخدام طرق الأغشية

١ - **التناضح العكسي**: تعتبر عملية التناضح العكسي حديثة بالمقارنة مع عمليتي التقطير والديلزة؛ حيث تم تقديمها تجاريًّا خلال السبعينات. وتعرف عملية التناضح العكسي على أنها فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط، من خلال غشاء. ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل.

ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية في وعاء مغلق؛ حيث يضغط على الغشاء، وعندما يمر جزء من الماء عبر الغشاء تزداد محتويات الماء المتبقي من الملح. وفي الوقت نفسه، فإن جزءًا من مياه التغذية يتم التخلص منه دون أن يمر عبر الغشاء. ودون هذا التخلص، فإن الازدياد المطرد لملوحة مياه التغذية يتسبب في مشاكل كثيرة، مثل: زيادة الملوحة والترسبات وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية. وتتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه الطريقة ما بين ٢٠ إلى ٧٠٪ من التغذية اعتمادا على كمية الأملاح الموجودة فيها.

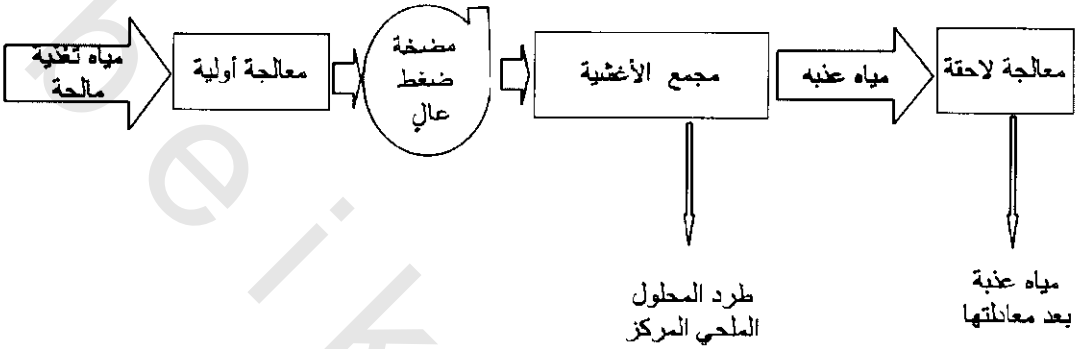
ويتكون نظام التناضح العكسي من الآتي:

١. معالجة أولية.

٢. مضخة ذات ضغط عال.

٣. مجمع أغشية.

٤. معالجة نهائية.



والمعالجة الأولية مهمة لأن مياه التغذية يجب أن تمر عبر ممرات ضيقة أثناء العملية، كذلك يجب إزالة العوالق، ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها على الأغشية. وتشمل المعالجة الكيمائية التصفية، وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخرى لمنع الترسيب. والمضخة ذات الضغط العالي توفر الضغط اللازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح. ويتكون مجمع الأغشية من وعاء ضغط وغشاء، يسمح بضغط الماء عليه، كما يتحمل الغشاء فارق الضغط فيه. والأغشية نصف المنفذة قابلة للتكسير وتختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب وحجز الأملاح. وليس هناك غشاء محكم إحكامًا كاملاً في طرد الأملاح؛ ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة. والجدير بالذكر أن أغشية التناضح العكسي تصنع من أنماط مختلفة.

أما المعالجة النهائية فهي للمحافظة على خصائص الماء وإعداده للتوزيع. وربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات، مثل: سلفايد الهايدروجين وتعديل درجة القلوية.

وهناك تطوران ساعدا على تخفيض تكلفة تشغيل محطات التناضح العكسي، أثناء العقد الماضي، هما: تطوير الغشاء الذي يمكن تشغيله بكفاءة عند ضغوط منخفضة، وعملية استخدام وسائل استرجاع الطاقة، وتستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه الآبار على نطاق واسع.

٢- **الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة)**: عُرفت الديلزة الكهربائية تجاريًّا منذ الستينات من القرن العشرين الفائت؛ أي عشر سنوات قبل التناضح العكسي. وثمة أسلوب تكلفة فعال لتحلية مياه الآبار المالحة وفسح المجال للاهتمام في هذا الشأن.

وتعتمد تقنية الديلزة الكهربائية على الأسس العامة التالية:

١. أغلب الأملاح الذائبة في الماء متأينة إيجابيا (أو سلبيًّا).

٢. هذه الأيونات تنجذب نحو القطب الكهربائي، حسبما تحمله من شحنة كهربائية

٣. يمكن إنشاء أغشية تسمح انتقائيًّا بمرور الأيونات، حسب شحنتها الكهربائية (سالبة أو موجبة).

إن محتويات الأيونات الذائبة في المحلول الملحي مثل: الصوديوم (+) والكلور (-) والكالسيوم (++) والكربونات (--) تظل منتشرة في الماء لتتولى معادلة شحناتها الخاصة. وعند توصيل الأقطاب الكهربائية إلى مصدر تيار خارجي، مثل البطارية المتصلة بالماء، فإن الأيونات تتجه نحو الشحنات المعاكسة لشحناتها والموجودة في المحلول، من خلال التيار الكهربائي الساري في المحلول سعيًا وراء التحييد. ولتتم تحلية المياه المالحة من خلال هذه الظواهر، فإن الأغشية التي تسمح بمرور أيونات من نوع واحد فقط (وليس النوعين) توضع بين قطبين كهربائيين، على أن يتم وضع هذه الأغشية بطريقة متعاقبة؛ أي غشاء واحد لانتقاء الأيونات ذات الشحنة الموجبة السالبة، مع وضع لوح فاصل بين كل غشاءين، يسمح بانسياب الماء بينهما، ويشكل أحد اللوحين الفاصلين قناة تحمل مياه التغذية والمياه المنتجة، بينهما يشكل اللوح الفاصل الآخر قناة تحمل مياه الرجيع. وحيث إن الأقطاب الكهربائية مشحونة، وتناسب مياه التغذية المالحة عبر اللوح الفاصل بزاوية مستقيمة على القطب، فإن الأيونات تنجذب وتتجه إلى القطب الإيجابي. وهذا يؤدي إلى تركيز أملاح قناة الماء المنتج. وتمر الأيونات ذات الشحنة السالبة خلال الغشاء الانتقائي لها، ولكنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء الخاص بالأيونات الموجبة، والذي يقفل خطها، وتبقى للأيونات السالبة في الماء المالح (الرجيع).

وبالمثل، فإن الأيونات الموجبة تحت تأثير القطب السلبي تتحرك في الاتجاه المعاكس، من خلال الغشاء المنتقي للأيونات الموجبة إلى القناة ذات الماء المركز في

الجانب الآخر، وهنا يتم اصطياد الأيونات الموجبة حيث إن الغشاء التالي ينتقي الأيونات السالبة ويمنع أي تحرك نحو القطب. وبهذا الأسلوب يتم إيجاد محلولين أحدهما مُركز والآخر قليل التركيز بين الغشاءين المتعاقبين المتجاورين. وتتكون وحدة الديلزة الكهربائية من عدة مئات من أزواج الخلايا مربوطة مع بعضها البعض بأقطاب كهربائية، تسمى مجمع الأغشية. وتمر مياه التغذية متحاذية في آن واحد، عبر ممرات من خلال الخلايا؛ لتوفير انسياب المياه المنتجة المحلاة، كما يمر الماء المركز من المجمع.

ثالثًا: تحلية المياه بطريقة البلورة أو التجميد

تعتمد عملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد على الحقيقة الثابتة فى أن بلورات الثلج المتكونة بتبريد ماء مالح تكون خالية من الملح؛ مما يجعل هناك تشابها بين هذه العملية وعملية التقطير التي تنتج بخارًا خاليًا من الأملاح من محلول من الماء المالح. هذا التشابه يظهر فقط من ناحية خلو الناتج في كلتا العمليتين من الأملاح، ولكنهما بالطبع يختلفان من الناحية العملية؛ حيث تتم عملية التقطير عند درجة حرارة أعلى من الدرجة المحيطة، بينما تتم عملية التجميد عند درجة حرارة أقل من الدرجة المحيطة. هذا الاختلاف في درجة حرارة التشغيل، في كلتا العمليتين، يؤثر على تصميم الأجهزة والمعدات الخاصة بكل عملية؛ إذ يراعي في تصميم عملية التقطير تقليل كمية الحرارة المفقودة من وحدة التقطير إلى الجو المحيط، بينما يراعي في تصميم عملية إزالة الملوحة بالتجميد التقليل من كمية الحرارة المكتسبة بوحدة التجميد من الجو المحيط. وأهم عيوب إزالة ملوحة المياه بالتجميد هي المشاكل الناجمة عن نقل وتنقية الثلج، وأهم مميزاتها التقليل من الترسب والتآكل؛ إذ يتم التشغيل عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا.

الخلاصة

لا شك أن مصر والدول العربية الأخرى وبعض الدول العربية والأفريقية تتعرض لأزمة في توفير مصادر المياه الأزمة للشرب وأغراض التنمية في شتى الأمور الحياتية. وهذا يتطلب تضافر الجهود والاهتمام بالبنية التحتية لمد شبكة المياه وتجديدها باستمرار، وتقديم المشروعات التي تهدف إلى معالجة تلوث المياه وإعادة تدويرها. ومن المتوقع ارتفاع تكلفة بناء المرافق وصيانتها؛ من أجل ذلك لابد من دعم المشاركة المجتمعية ومساهمة القطاع الخاص؛ لإدارة شئون معالجة المياه خاصة مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي، مع وضع قانون يمنع الاحتكار مع انتعاش الاقتصاد ومعايير جودة المياه.

ومن خلال ما سبق، اقترح ما يلي:

- إعادة تأهيل وتدريب الكوادر البشرية.

- توسيع نظام معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الريفية .
- تطوير تقنيات معالجة تلوث المياه.
- خفض وإعادة تدوير مياه الصرف الصحي.
- تطوير نظم مراقبة مياه الأمطار.
- تحسين البنية التحتية لنظام الصرف الصحي.
- زيادة مستويات المياه المعاد تدويرها.
- تحسين الكفاءة في إدارة ومرافق الصرف الصحي القائمة.
- الاستثمار في ترميم وإعادة التأهيل، وإعادة بناء مرافق الصرف الصحي.
- تنقية المياه باستخدام التكنولوجيا الحديثة التي تقتل البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية.
- توفر تقنية للقضاء على آثار المواد الخطرة مثل الديوكسين واختلال الغدد الصماء.
- إزالة الصدأ وبطانة أنابيب المياه.
- المعالجة البيولوجية لمياه البحيرات.
- توليد الوقود الحيوي من فضلات الصرف الصحي.
- الاستفادة من الخبرات والمؤسسات العالمية في مجال معالجة المياه.

obeikandl.com