

إنتاج كيميائي

تحلية المياه

٢٤١ هـ



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التتموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " تحلية المياه " لمتدربي قسم " كيمياء أنتاج " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالإستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تحلية المياه

المصادر الطبيعية للمياه

المصادر الطبيعية للمياه

تهييد

تحاول دول كثيرة في العالم توفير الماء العذب بتتمية مواردها الطبيعية و بترشيد الاستهلاك -خاصة الزراعي - وإعادة الاستخدام للصرف الصناعي والزراعي و الصحي بعد معالجته، وكذلك بتحلية المياه المالحة من الآبار و البحار.

وتعتبر تحلية المياه المالحة من الآبار و البحار أحد البدائل المطروحة للحصول على الماء العذب في العالم، كما أنها بديل استراتيجي لكثير من الدول العربية و العالم الثالث.

ولقد تم تطوير تقنيات التحلية بشكل ملحوظ خلال الستين سنة الماضية وزادت عدد محطات التحلية في العالم.

وحسب تقرير الجمعية العالمية لتحلية المياه International Desalination Association: IDA- لسنة ٢٠٠٠ ، فإن أكثر من ١٢٠ دولة من دول العالم تستخدم تقنيات التحلية لتوفير الماء العذب. وتصل عدد الوحدات في العالم إلى أكثر من ١٤٠٠٠ وحدة تنتج حوالي ٣٠ مليون متر مكعب في اليوم. و تعتبر الدول العربية أكثر الدول استخداما للتحلية (خاصة دول الخليج والتي تعتمد على هذا المصدر للماء العذب) حيث تنتج حوالي ٥٠ ٪ من إنتاج العالم. بل إن المملكة العربية السعودية وحدها تنتج حوالي ٢١٪ من إنتاج العالم من ماء التحلية.

والمقارنة الاقتصادية هي أحد المعايير التي تفصل بين الخيارات المختلفة لحصول المستهلك على الماء العذب. ومن ثم، فقد يكون من الأوفر تحلية الماء المالح مثلا عن نقل الماء العذب إلى مناطق الاحتياج إليه و البعيدة عن المصادر الطبيعية.

وتعني عملية التحلية للمياه فصل الماء العذب عن الأملاح الذائبة في الماء المالح (سواء ماء البحار أو الآبار)، ولذا تسمى أحيانا (إعذاب الماء، أو إزالة الملوحة). وتتعدد تقنيات تحلية المياه المالحة، إلا أنها كلها مشتقة من الظواهر الطبيعية التي سخرها الله للإنسان. ويكفي الإنسان حمداً لله أن يعلم أن الله خلق له أكبر و أعظم محطة تحلية لمياه البحار و المحيطات (حيث يتبخر الماء بحرارة الشمس و حركة الرياح ويسقط على صورة أمطار عذبة) و تعمل هذه المحطة الريانية منذ بدأت الحياة على الأرض و تستمر إلى أن يرث الله الأرض و من عليها (وتسمى بالدورة المائية). وهذه المحطة تمد البشرية كلها بالماء وتنتج حوالي ٤٠٠ مليون متر مكعب سنويا. إلا أن ما يصلنا منها من أمطار على الأرض اليابسة هو حوالي ١٠٪ من إنتاج المحطة. وهذه الكمية من الماء تكفي لحياة ٤٠ مليار من البشر. إلا أن الاستفادة من هذه الكميات

الساقطة من الأمطار أقل كثيراً من هذا الرقم كما إن توزيع سقوط الأمطار (والثلوج) لا يتناسب مع توزيع تجمعات البشر مما يسبب مشكلات عدم توفر مصادر الماء العذب في كثير من دول العالم. أما بالنسبة لتقنيات التحلية المستخدمة تجارياً فهي إما حرارياً (أي تعتمد على الحرارة لتبخير الماء المالح ثم تكثيف البخار إلى ماء عذب، كمحاكاة للدورة المائية) وإما عن طريق أغشية تفصل الماء العذب عن الملح باستخدام الطاقة الكهربائية أو الميكانيكية. ولكل من هذه الطرق مميزات وعيوب ويتم اختيار الأنسب منها حسب معايير كثيرة منها السعة الإنتاجية لوحدة التحلية ونوعية وملوحة الماء المالح (بحر أم بئر أم صرف)، وجودة الماء المطلوب وبالطبع حسب سعر إنتاج المتر المكعب (ويدخل في ذلك سعر الوحدة الابتدائي و سعر التشغيل و الصيانة وغيرها). ولا يوجد ما يسمى بأفضل طريقة للتحلية حيث تدخل هذه العوامل الكثيرة وغيرها لاختيار نوعية التقنية الأمثل لتطبيق معين. و عموماً فالطرق الحرارية (كالتبخير الومضي) و طرق الأغشية تستخدم لتحلية مياه البحر بينما طرق الأغشية (كالديليزة الكهربائية و التناضح العكسي) تفضلان لتحلية المياه القليلة الملوحة مثل مياه الآبار.

وعلى كل فاختيار التقنية المناسبة يحتاج إلى دراسة شاملة و معمقة و ربما تلعب الظروف البيئية المحلية دوراً بارزاً في تحديد أفضل الطرق والتي تكون أكثر اقتصادية طبعاً. كما يلزم أن يعمل النظام بإنشائه و يستمر في العمل بكفاءة لتوفير كميات المياه العذبة المطلوبة بالنوعية و الكمية و التكلفة المتوقعة طيلة عمر المحطة.

تيسير الإلمام بالأسس الفنية العديدة لتقنية تحلية المياه و المساعدة على اتخاذ القرارات الصحيحة لتشغيل محطات التحلية والسهر على عملها بكفاءة عالية.

الأهداف:

في نهاية دراسة هذه لوحة يكون الطالب قادراً على:

- ١ - التعرف على الطرق المتعددة لتحلية المياه في الصناعة،
- ٢ - المقارنة بين طرق التحلية،
- ٣ - معرفة قواعد اختيار تقنية التحلية،
- ٤ - حساب كفاءة عملية التحلية،
- ٥ - كيفية حل مشاكل التشغيل المؤقتة و المستمرة لمحطات التحلية.

مستوى الأداء المطلوب:

أن لا تقل نسبة إتقان الجدارة عن ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

اثنان و عشرون ساعة اتصال

الوسائل المساعدة:

استخدام التعليمات المشار إليها في الوحدة.

متطلبات الجدارة:

- الفهم الدقيق و الجيد لأسس حسابات الهندسة الكيمائية -موازنات المادة و الطاقة -
وأساسيات انتقال الحرارة قبل دراسة هذه الوحدة التدريبية.

المصادر الطبيعية للمياه

بالرغم من أن الماء يغطي ٨٠٪ من سطح الأرض إلا أننا لا يمكننا استخدام هذا الكم الهائل منه استخداما مباشرا، إذ أن ٩٧٪ من هذا الماء موجود في البحار والمحيطات، و أن حوالي ٢٪ منه مجمد في الطبقات الجليدية في القطبين الشمالي و الجنوبي.

وينقسم الماء حسب مصادره إلى الأقسام الثلاثة التالية:

(١) مياه تسقط على سطح الأرض من السحب على هيئة مطر أو ثلج.

(٢) مياه سطحية و تنقسم إلى:

(أ) مياه تجري في مسارات، مثل الأنهار، تمتد من منابع عالية و تأخذ طريقها إلى مصابها، وتأتي هذه المياه من الأمطار التي تهطل على أعالي الجبال، أو تتج عن ذوبان الثلوج الموجودة على قمم المرتفعات، وسواء كانت من مطر أو ثلج فمائها أصلا من أنقى أنواع المياه، ولكنه يتبخر في الصخور التي يجري خلالها فتحمله بمواد متعددة بكميات تختلف حسب نوع هذه الصخور و طبيعتها، ويبقى بعضها عالقا في الماء فيما يذوب البعض الآخر فيه. كما أن النهر يتعرض خلال مساره من المنبع حتى المصب إلى تغيرات في تكوينه و محتواه بما قد يتسرب إليه من مواد صلبة كانت أو سائلة.

(ب) مياه تتجمع على هيئة بحيرات، وهذه إما أن تكون مياهها عذبة أو مالحة، و يبقى محتوى هذه البحيرات ثابتا في نوعيته إذا ما كانت تصب فيه الأنهار ما يعوض الذي تفقده من مياه عن طريق التبخر. إما إذا كان ما يصلها من مياه عذبة أقل مما يتبخر منها فإنها تزداد على الأيام تركيزا.

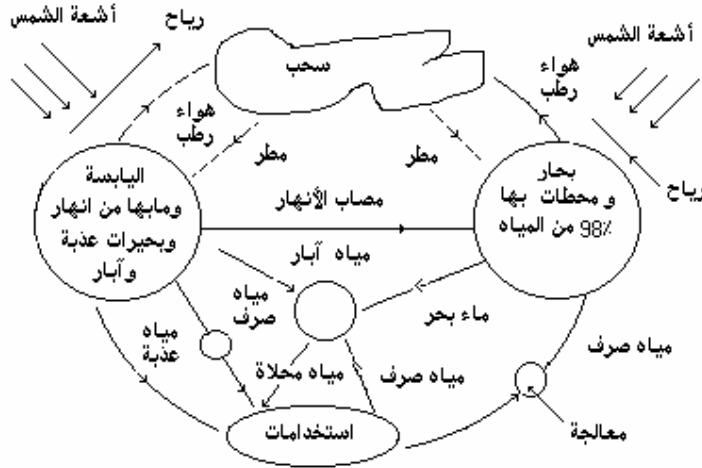
(ج) مياه البحار و المحيطات و هي مياه مالحة تختلف ملوحتها من مكان إلى آخر.

(د) مياه متجمدة في المناطق القطبية و هذه مياه عذبة على أكبر جانب من النقاء.

(٣) مياه جوفية تتكون مما يتسرب خلال طبقات الأرض المسامية من المياه السطحية، وهذه تختلف في نوعيتها حسب نوعية المياه السطحية التي بدأت منها و حسب نوعية الصخور التي تسربت خلالها و تجمعت بينها.

الدورة الهيدرولوجية للماء

بالرغم من أن البحار والمحيطات التي تحتوي على أكثر من ٩٨٪ مما على الأرض من ماء لا تسمح ملوحة مائها باستخدام النباتات والحيوانات لها، إلا أنها تبقى المصدر الرئيسي للمياه العذبة. ويتم ذلك عن طريق ما يعرف بالدورة الهيدرولوجية للماء. وخلال هذه الدورة يتبخر ماء البحار والمحيطات بواسطة الطاقة الحرارية التي تصل إلى الأرض مع أشعة الشمس حيث تمتص المياه هذه الطاقة مما يسبب البخار الذي يسبب بدوره زيادة درجة رطوبة الهواء الملاصق لسطح الماء، وتحرك الرياح هذا الهواء الرطب إلى أماكن أخرى من طبقات الجو حيث تسود درجات الحرارة المنخفضة. وعندما يبرد الهواء الرطب يفصل محتواه من الماء ليتساقط على هيئة مطر أو ثلوج حسب مدى انخفاض درجة الحرارة.



الشكل ١: الدورة الهيدرولوجية للماء.

والجزء من هذا الماء الذي يتساقط على اليابسة هو الذي يعوض ما يستهلكه الإنسان من مياه الأنهار والبحيرات والآبار والينابيع. وبعد أن يستخدم الإنسان الماء يأخذ الجزء الأكبر منه طريقه إلى البحار كمياه صرف فتكتمل بذلك الدورة الهيدرولوجية (شكل ١).

مواصفات المياه من مصادرها الطبيعية و الشوائب الموجودة فيه :

١ - مياه الأمطار و الأنهار

مياه المطر أو الثلوج المتساقطة من أنقى أنواع المياه، فمصدرها بخار الماء النقي. و لكن القدرة الفائقة للماء على الإذابة تمكن مياه المطر من إذابة ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو حتى قبل أن تصل هذه المياه إلى سطح الأرض، كما أنها قد تذيب بعض الغازات الأخرى الموجودة في الجو. وما أن تصل المياه إلى سطح الأرض و تلامس مواد قابلة للذوبان حتى تبدأ في إذابتها. وكلما طال مسار المياه على سطح الأرض أو خلالها كلما زاد هذا المحتوى. ففي حين نجد أن مياه البحيرات الجبلية قد لا يزيد محتواها من المواد الصلبة الذائبة عن ١٠٠ جزء في المليون، فإن هذا المحتوى يزيد بعد أن تأخذ هذه المياه طريقها نحو المصب، وذلك لسببين: أولهما إذابة بعض المواد الموجودة في السطوح التي تجري عليها، و السبب الآخر هو ما تتعرض له من تبخر يزيد من تركيز محتواها من المواد الصلبة الذائبة. كما أن نوعية الماء في الأنهار قد تتدهور بفعل ما يصرف فيها من مياه صرف. فمن المعروف أن استخدام الإنسان للماء يزيد محتوى الماء من المواد الصلبة الذائبة بمقدار ٢٠٠ إلى ٣٠٠ جزء في المليون عن محتواه الأصلي.

٢ - مياه البحار:

إن ماء البحر و غيره من أصناف المياه المالحة التي منها يستخلص الإنسان مياهه العذبة ما هي في الحقيقة إلا محاليل مائية للأملاح، ويختلف التركيز الكلي للأملاح من مياه البحر من مكان إلى آخر. وكما يتضح من الجدول (١) فهو في البحر الأحمر و مياه الخليج العربي يعادل تقريبا ستة أضعاف قيمته في بحر البلطيق و يعزى هذا الاختلاف الكبير في التركيز الكلي للأملاح إلى عوامل متعددة أهمها:

أ - كمية المياه العذبة التي تصب في البحر، فبحر البلطيق مثلا تأتيه مياه عذبة كثيرة من الأنهار التي تصب فيه، ومن الأمطار التي تهمر عليه، ومن الثلوج الذائبة التي تجد طريقها إليه، أما البحر الأحمر فلا تصب فيه أنهار، وحظه من المطر قليل.

ب - أثر العوامل المناخية على كمية المياه المتبخرة، والأحوال الجوية السائدة في المناطق الحارة كمنطقة الخليج و البحر الأحمر التي تساعد على كثرة التبخر، وبالتالي على زيادة تركيز الأملاح. وبالرغم من أن الاختلاف في التركيز الكلي للأملاح كبير إلا أن تحليل عينات كثيرة من مياه البحار في أنحاء مختلفة من العالم أثبتت أن التركيب الكيماوي لمكونات الأملاح لا يختلف كثيرا من مكان لآخر بحيث يمكننا أن نعتبر التركيب المبين في الجدول (٢) لعينة من مياه البحر ممثلاً للتركيب النسبي لمياه البحر على وجه العموم.

هذا وبالرغم من أنه أمكن إثبات وجود حوالي ٤٠ أيونا من مياه البحر إلا أن أحد عشر فقط من هذه الأيونات هي التي يزيد تركيزها عن جزء واحد في المليون، و يبين الجدول (٣) التركيب الأيوني لعينة قياسية من مياه البحر.

وتأكيدا لما سبق ذكره من أن مياه البحر مهما اختلف مصدرها و التركيز الكلي للأملاح بها فإن نسبة وجود الأيونات فيها لا تختلف إلا اختلافا بسيطا عن بعضها البعض، يبين الجدول (٤) التركيز الأيوني لعينة قياسية لمياه البحر مقارنة بالتركيز أيوني لعينة من مياه الخليج عند الجبيل، وأخرى من مياه البحر الأحمر عند ينبع.

جدول: ١ تركيز الأملاح (جزء في المليون) في بعض البحار و المحيطات

| | |
|-------|------------------------|
| ٧٠٠٠ | بحر البلطيق |
| ١٣٠٠٠ | البحر الأسود |
| ٢٥٠٠٠ | البحر الأدرياتيكي |
| ٣٣٦٠٠ | المحيط الهادي |
| ٣٣٨٠٠ | المحيط الهندي |
| ٣٩٤٠٠ | البحر الأبيض المتوسط |
| ٤٢١٠٠ | الخليج العربي (الكويت) |
| ٤١٢٠٠ | البحر الأحمر (جدة) |
| ٤٢٣٠٠ | البحر الأحمر ينبع |

الجدول ٢: التركيب النسبي لمكونات الأملاح الذائبة في عينة قياسية من مياه البحر:

| النسبة المئوية | التركيز (جزء في المليون) | المركب |
|----------------|--------------------------|--|
| ٦٨,٠٨ | ٢٣٤٧٦ | كلوريد الصوديوم NaCl |
| ١٤,٤٤ | ٤٩٨١ | كلوريد الماغنسيوم MgCl _٢ |
| ١١,٣٦ | ٣٩١٧ | كبريتات الصوديوم Na _٢ SO _٤ |
| ٣,٢٠ | ١١٠٢ | كلوريد الكالسيوم CaCl _٢ |
| ١,٩٢ | ٦٦٤ | كلوريد البوتاسيوم KCl |
| ٠,٥٦ | ١٩٢ | بيكربونات الصوديوم NaHCO _٣ |
| ٠,٢٨ | ٩٦ | بروميدي البوتاسيوم KBr |

| | | |
|------|-------|------------------------------------|
| ٠,٠٨ | ٢٦ | HBO _٣ حامض البوريك |
| ٠٠٧ | ٢٤ | SrCl _٢ كلوريد السترشيوم |
| ٠,٠١ | ٣ | NaF فلوريد الصوديوم |
| ١٠٠ | ٣٤٤٨١ | المجموع الكلي |

جدول ٣: التركيب الأيوني لعينة قياسية من مياه المحيطات

| جزء في المليون | Cations | الأيونات الموجبة |
|----------------|------------------|-------------------------|
| ١٠٥٥٦ | Na ⁺ | الصوديوم |
| ١٢٧٢ | Mg ⁺⁺ | الماغنسيوم |
| ٤٠٠ | Ca ⁺⁺ | الكالسيوم |
| ٣٨٠ | K ⁺ | البوتاسيوم |
| ١٣ | Sr ⁺⁺ | سترنشيوم |
| ١٢٦٢١ | - | مجموع الأيونات الموجبة: |

| جزء في المليون | Anions | الأيونات السالبة |
|----------------|-------------------------------|-------------------------|
| ١٨٩٨٠ | Cl ⁻ | كلوريد |
| ٢٦٤٩ | SO _٤ ⁻⁻ | كبريتات |
| ١٤٠ | HCO _٣ ⁻ | بيكربونات |
| ١,٤ | F ⁻ | فلوريد |
| ٦٥ | Br ⁻ | بروميد |
| ٢١٨٣٥,٤ | | مجموع الأيونات السالبة: |
| ٢٦ | - | حامض بوريك |
| ٣٤٤٨٢,٤ | - | المجموع الكلي |

جدول ٤: مقارنة التركيب الأيوني لمياه البحار

| النسبة المئوية (%) | | | جزء من المليون | | | |
|--------------------|--------|-----------|----------------|--------|---------|-------------------------------|
| ينبع | الجبيل | ماء البحر | ينبع | الجبيل | ماء بحر | |
| ٣٠,٩١ | ٣٠,٦٠ | ٣٠,٦١ | ١٢٣٦٠ | ١٣١٦٢ | ١٠٥٥٦ | Na ⁺ |
| ٠,٩٣ | ١,١٠ | ١,١٠ | ٤٠٠ | ٤٧٣ | ٣٨٠ | K ⁺ |
| ١,١٠ | ١,١٦ | ١,١٦ | ٤٧٥ | ٤٩٧ | ٤٠٠ | Ca ⁺⁺ |
| ٣,٦٠ | ٣,٦٩ | ٣,٦٩ | ١٥٥٥ | ١٥٨٤ | ١٢٧٢ | Mg ⁺⁺ |
| ٥٤,٣٧ | ٥٤,٩٢ | ٥٥,٠٤ | ٢٣٥٠٠ | ٢٣٥٩٠ | ١٨٩٨٠ | Cl ⁻ |
| ٨,٥٠ | ٨,٠٥ | ٧,٦٨ | ٣٦٧٥ | ٣٤٥٨ | ٢٦٤٩ | SO ₄ ⁻ |
| ٠,٣٤ | ٠,٤٠ | ٠,٤١ | ١٤٦ | ١٧٣ | ١٤٠ | HCO ₃ ⁻ |
| ١٠٠ | ١٠٠ | ١٠٠ | ٤٢٢٢١ | ٤٢٩٥٣ | ٣٤٤٨٢ | TDS |

٢-٤: مياه مالحة من مصادر أخرى:

ليست البحار و المحيطات هي المصدر الوحيد للمياه المالحة، فهي قد تأتي أيضا من جوف الأرض أو من الآبار و الينابيع، غير أن هذه المياه تختلف عن مياه البحر ليس فقط في كون التركيز الكلي للأملاح فيها أقل بكثير من مياه البحر، ولكنها تختلف في نسب أملاحها عن مياه البحر كما تختلف أيضا فيما بينها من حيث التكوين الكيماوي (جدول ٥) وهذا يرجع إلى اختلاف الطبقات الجيولوجية التي تمر خلالها هذه المياه، والتي تختلف في محتواها من المواد، ويطلق على المياه التي يكون التركيز الكلي للأملاح فيها أقل من مياه البحر، ولكنه أعلى مما يسمح باستخدام الكائنات الحية له اسم المياه متوسطة الملوحة (Brackish Water) كما يطلق عليها أيضا اسم الماء الزعاق أو الماء الأخصم أو المياه الصليبية.

جدول ٥: الماء متوسطة الملوحة (Brackish Water) والاختلاف في التركيز (جزء في المليون) و المكونات تبعا لمصدره.

| مصدر ٥ | مصدر ٤ | مصدر ٣ | مصدر ٢ | مصدر ١ | الأيونات الموجبة |
|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| ٧٤ | ٥٤٢ | ٤٩٤ | ٥٠٠ | ١١٧٠ | الصوديوم |
| ٢٠٤ | ١٠٢ | ٦٥ | ١٢٠ | ١٤٨ | الكالسيوم |
| ١٢٧ | ٥٤ | ٤٠ | ٧٢ | ٤٨ | الماغنسيوم |
| - | - | - | ٩ | - | البوتاسيوم |
| - | - | ٢ | - | ١ | الحديد |
| - | - | ١ | - | - | المنجنيز |
| - | - | - | ٣ | - | البورون |
| ٤٠٥ | ٦٩٨ | ٦٠٢ | ٧٠٣ | ١٣٦٦ | المجموع |

| مصدر ٥ | مصدر ٤ | مصدر ٣ | مصدر ٢ | مصدر ١ | الأيونات السالبة |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| ٥٠ | ١٠٩٠ | ٧٢ | ٢٥٢ | ٢٠٤٠ | الكلوريد |
| ٩٨٤ | ٣٨ | ١٠٦٠ | ١١٧٠ | ١٣٧ | الكبريتات |
| ١٥٩ | ١١٠ | ٢٦٠ | - | ٩٦ | البيكربونات |
| - | - | - | - | - | الكربونات |
| - | - | ٤ | ٠,٨ | - | النترات |
| - | - | - | ٠,٢ | - | الفلوريد |
| ١١٩٣ | ١٢٣٨ | ١٣٩٦ | ١٤٢٣ | ٢٢٧٣ | المجموع |
| - | - | - | - | ٢٥ | السيليكا |
| ١٥٩٨ | ١٩٣٦ | ١٩٩٨ | ٢١٢٧ | ٣٦٦٤ | المجموع |
| ٧,٢ | ٧,٨ | ٧,٤ | - | ٧,١ | الرقم الهيدروجيني |

ومن الممكن تقسيم المياه حسب درجة ملوحتها إلى الأقسام التالية:
ماء عذب: به ٥٠ - ١٥٠٠٠ جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء متوسط الملوحة به ١٥٠٠ - ٢٥٠٠٠٠ جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء بحريه ٢٥٠٠٠ - ٥٠٠٠٠٠ جزء في المليون أملاح ذائبة
محاليل محلية (Brine) به أكثر من ٥٠٠٠٠ جزء في المليون

٤ -٤ العوالق والشوائب الأخرى الموجودة في مياه البحر:

يوجد في مياه البحر عدد كبير من الكائنات الحية منها ماله قابلية واضحة للالتصاق و النمو على الأسطح، وضيق المسارات التي يمر فيها الماء. كما أن هناك بعضا من الأحياء المائية لديها القدرة على حفر ثقوب في الخشب و البلاستيك، بل و في الخرسانة، وتوجد طرق عديدة يمكن استخدامها للتغلب على هذه المتاعب، و من هذه الطرق استخدام إيون النحاس، كما تستخدم الدهانات الواقية المحتوية على النحاس أو غيره من المواد السامة للكائنات الدقيقة، هذا بالإضافة إلى أن المعالجة بالكلور تجد استخدامها واسعا في هذا المجال.

وبالإضافة إلى المواد العضوية التي توجد في مياه البحر على هيئة كائنات حية أو ميتة سواء كانت من اصل حيواني أو نباتي، فإن مياه البحر تحتوي على تشكيلة كبيرة من المركبات العضوية الذائبة مثل الهيدروكربونات (التي تأتي من تلوث مياه البحر بالنفط الخام المتسرب من الناقلات) و غيرها من المركبات التي تشتمل عليها المخلفات و العوادم التي تجد طريقها إلى البحر. و في الحالات العادية فإن تركيز المواد العضوية يكون في حدود ٢ جزء في المليون.

ومن المحتويات الأخرى لمياه البحر العوالق الصلبة، وبالذات في المياه القريبة من الشواطئ التي قد تحتوي على مواد معدنية نقلتها مياه الأنهار أو نتجت عن نحر التيارات و الأمواج للشواطئ. بالإضافة إلى أن مياه البحر تحمل جسيمات غروية و هي جسيمات أحجامها بين أحجام المواد الذائبة و المواد العالقة و تتراوح هذه الأحجام بين ١٠ - ١٠٠ انجستروم، وهذه عادة تكون مواد طينية تتكون أساسا من سيلسكات الألومنيوم. و المواد الغروية هذه تسبب مشاكل كثيرة في وحدات التحلية التي تستخدم أغشية مثل التناضح العكسي على وجه الخصوص لأنها قد تصل إلى سطح الأغشية و تتراكم عليه في حالة غياب المعالجة الكيماوية مسببة غلق مسام هذه الأغشية التي تقوم بدور رئيسي في عملية فصل الماء العذب من المياه المالحة.

استخدامات الماء المختلفة والمواصفات اللازمة لها

١ - أنماط استهلاك الماء :

تختلف أنماط استهلاك المياه في العالم اختلافا كبيرا، ففي حين يصل في البلاد المتقدمة صناعيا إلى ٦٠٠ لتر للفرد في اليوم، فإنه ينخفض إلى حوالي ٣٠ لترا للفرد في اليوم في البلاد الفقيرة في مصادرها المائية، ويبين الجدول التالي أنماط الاستهلاك في بعض بلدان العالم.

| الاستهلاك | | الدولة |
|-------------|-----------|----------------------------|
| جالون/اليوم | لتر/اليوم | |
| ١٥٠ | ٥٦٨ | الولايات المتحدة الأمريكية |
| ١١٠ | ٤٦٥ | اسكتلندا |
| ٩٠ | ٣٤٠ | الدانمارك |
| ٨٠ | ٣٠٣ | اليابان |
| ٧٧ | ٢٩٠ | إنجلترا |
| ٦٥ | ٢٤٥ | المملكة العربية السعودية |
| ٦٠ | ٢٢٥ | تركيا |

وفي الولايات المتحدة الأمريكية تمثل الاستخدامات المنزلية ٤٠٪ من مجموع الاستهلاك في حين أن حوالي ٣٣٪ يستخدم للأغراض الصناعية. ويعطي الجدول التالي صورة لتوزيع الاستهلاك المنزلي في إحدى مدن الولايات المتحدة الأمريكية على الأوجه المختلفة لاستعمال المياه.

| نوع الاستهلاك | ٪ |
|---------------------|----|
| تنظيف المنزل | ٣ |
| ري الحدائق | ٣ |
| الشرب وإعداد الطعام | ٥ |
| غسل الملابس | ٤ |
| غسل الأوعية | ٦ |
| الاستحمام و الغسيل | ٣٨ |
| دورات المياه | ٤١ |

٥- ٢- الاستخدامات الأدمية

لقد حددت هيئة الصحة العالمية وغيرها من الهيئات القومية و العالمية مواصفات مياه الشرب الصالحة لاستعمال الإنسان، وقد اتفقت جميع هذه المواصفات على اعتبار ٥٠٠ جزء في المليون هو الحد المرغوب فيه لمجموع المواد الصلبة الذائبة في ماء الشرب. والذي يجب أن ندرکه هو أنه ليس كل ما يستعمله الإنسان في جميع أنحاء العالم مطابقا لهذه المواصفات، ففي مناطق كثيرة من العالم هناك من يعيشون على مياه تزيد ملوحتها عن ١٥٠٠ جزء في المليون. ففي شمال المكسيك يستعمل السكان ماء تزيد ملوخته عن ٤٠٠٠ جزء في المليون وفي السنغال ٣٤٠٠ جزء في المليون، وفي بعض أجزاء أستراليا ٣١٣٠ جزء في المليون، بل وفي وقت من الأوقات استعمل المستوطنون في أستراليا ولفترات طويلة ماء وصلت ملوخته إلى ٦١٠٠ جزء في المليون.

وتختلف الأملاح الذائبة في تأثيرها على الإنسان أو خطورتها عليه، فكربونات الكالسيوم مثلا ليس لها أثر فسيولوجي، في حين أن الكربونات القلوية ضررها كبير، والكبريتات القلوية قليلة الضرر، والكلوريدات القلوية ومنها ملح الطعام متوسطة في هذا الخصوص، وكبريتات الماغنسيوم تعطي طعما مرا للماء، أما الحديد فإن نصف جزء في المليون منه يجعل طعم الماء غير مستساغ. وتتخلص المواصفات العالمية لمياه الشرب فيما يلي:

أولا - المواد السامة والمواد التي حدد لها أعلى تركيز مسموح به هي:

| المادة | أعلى تركيز مسموح به (ملجم/لتر) |
|----------|-----------------------------------|
| رصاص | ٠,٠٥ |
| سيلينيوم | ٠,٠١ |
| زرنبيخ | ٠,٠٥ |
| سيانيد | ٠,٠١ |
| كادميوم | ٠,٠١ |
| زئبق | ٠,٠٠١ |

ثانيا - الفلوريدات تتوقف الحدود المقترحة لتركيزها في الماء على درجة الحرارة السائدة في المنطقة:

| الاستهلاك | | الدولة |
|--------------------------------|--------------------------------|--|
| الحد الأدنى للفلور ملجم/لتر | الحد الأعلى للفلور ملجم/لتر | المتوسط السنوي للحد الأعلى لحرارة الجو (درجة مئوية) |
| ٠,٩ | ١,٨ | ١٠ - ١٢ |
| ٠,٨ | ١,٥ | ١٢,١ - ١٤,٦ |
| ٠,٨ | ١,٣ | ١٤,٧ - ١٧,٦ |
| ٠,٧ | ١,٢ | ١٧,٧ - ٢١,٤ |
| ٠,٧ | ١,٠ | ٢١,٥ - ٢٦,٢ |
| ٠,٦ | ٠,٨ | ٢٦,٣ - ٣٢,٣ |

ثالثا - رأت منظمة الصحة العالمية أن تضع في مواصفاتها حدين، أحدهما الحد المطلوب أو المرغوب فيه، والحد الآخر هو الحد الأعلى الذي لا يسمح بتخطيه (الجدول ٧ و ٨).
الجدول ٧: الحد الأقصى المسموح به للمواد الضارة من أملاح ومعادن ثقيلة ومركبات كيميائية و سموم في ماء الشرب طبقا لمواصفات الهيئات العالمية (مليجرام/لتر)

| المواصفات العالمية | المواصفات الاتحاد الأوروبي | المواصفات الكندية | المواصفات الأمريكية | المواصفات الروسية | |
|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------|
| ١,٥ | ١,٥- ٠,٧ | ١,٥ | ٢ | ١,٥ | فلوريد |
| - - | ١ | ٥ | - - | - - | بورون |
| ٠,١ | - - | ٠,٢ | - - | ٠,١ | سيانيد |
| - - | ٠,٢ | - - | - - | - - | الومنيوم |
| - - | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | - - | ارسنك |
| - - | ٠,١ | ١ | ١ | - - | باريوم |
| ٠,٠٠١ | ٠,٠٠٥ | ٠,٠٠٥ | ٠,٠١ | ٠,٠٠١ | كادميوم |
| ٠,٥- ٠,١ | ٠,٠٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | كروميوم |
| ٠,١ | - - | - - | - - | - - | كوبلت |
| ١ | ٠,١ | ١ | ١ | ١ | نحاس |
| ٠,٥ | ٠,٣ | ٠,٣ | ٠,٣ | ٠,٣ | حديد |
| ٠,٠٣ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | رصاص |
| - - | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | ٠,٠٥ | منجنيز |
| ٠,٠٠٠٥ | ٠,٠٠١ | ٠,٠٠١ | ٠,٠٠٢ | ٠,٠٠٠٥ | زئبق |
| - - | ٠,٠٥ | - - | - - | - - | بيكل |
| - - | ٠,٠١ | ٠,٠١ | ٠,٠١ | ٠,٠١ | سليسيوم |
| ١ | ٠,١- ٣ | ٥ | ٥ | ١ | زنك |

الجدول ٨: الحد الأقصى للملوثات العضوية حسب المواصفات العالمية

| المنتجات العضوية | مواصفات هيئة الصحة العالمية | مواصفات الاتحاد الأوروبي | مواصفات كندا | مواصفات أمريكا | مواصفات روسيا |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| المنتجات البترولية | - - | ٠,٠١ | - - | - - | ٠,٣ |
| مجمعة المبيدات | - - | ٠,٥ | ٠,١ | - - | - - |
| المبيدات منفردة | - - | ٠,١ | - - | - - | - - |
| الدرين و ديلرين | ٠,٠٣ | - - | ٠,٧ | - - | - - |
| مادة ددتي | ١ | - - | ٣٠ | - - | - - |
| الليندان | ٣ | - - | ٤ | ٠,٤ | - - |
| ميثوكسشلدور | ٣٠ | - - | ١٠٠ | ١٠٠ | - - |
| البنزين | ١٠ | - - | - - | ٥ | - - |
| الهيكساكلورو بنزين | ٠,٠١ | - - | - - | - - | - - |
| البنيتاكلوروفينول | ١٠ | - - | - - | - - | - - |
| الفينول | - - | ٠,٥ | ٢ | - - | ١ |
| المنظفات | - - | ٠,٢ | - - | ٠,٥ | ٠,٥ |



المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تحلية المياه

طرق تحلية المياه المالحة

طرق تحلية المياه المالحة

٢

بداية التخلية وتاريخها ومراحل تطورها

تجري عمليات معالجة المياه لإزالة الملوحة بواسطة طرق مختلفة، بعضها معروف فكرته منذ قرون مضت، وبعضها حديثة. والطريقة الأكثر شيوعاً لإزالة الملح من مياه البحر والتي ظلت مستخدمة لعدة قرون هي تخلية المياه ثم تكثيفها على أسطح باردة.

ونماذج المقطرات العاملة بالحرارة الشمسية تعود إلى القرن الماضي.

ولقد عرف الإنسان تخلية مياه البحر منذ العصور القديمة، ففي القرن الرابع الميلادي أمكن العثور على أدلة تفيد استعمال الإنسان لطريقة التبخير للحصول على ماء للشرب.

ولقد حدد جابر بن حيان قواعد التقطير وصنفها في أواخر القرن السابع الميلادي، كما أن العالم المسلم أبا منصور الموفق بن علي الحروي قال منذ ذلك الزمان: "إن التبخير هو الوسيلة للحصول على ماء عذب". و على أية حال، فإن أول محطة بدائية لتخلية المياه كانت في تونس في عام ١٦٥٠م، ثم أخذت عجلة التطوير في مجال تخلية المياه المالحة بالتقطير تزداد مع دخول عصر الصناعة عام ١٨٠٠م وما بعدها.

وفي القرن التاسع عشر أثبت تقطير مياه البحر في الناقلات العابرة المحيطات جدواه اقتصادياً، حيث يقل في العادة وزن الوقود و محطة التبخير عن وزن المياه العذبة التي يجب أن تحملها الناقل في حالة عدم وجود محطة للتبخير، وذلك لأن رحلاتها تستغرق زمناً طويلاً في السفر بعيدة عن اليابسة.

أما أول محطة تخلية كبيرة بسعة ٦٢٥٠٠٠ جالون يومياً، فقد أنشأتها شركة غريسكوم -راسل الأمريكية في جزر الأنتيل الهولندية في عام ١٩٣٠م.

ولقد تزامن هذا مع جهود كثير من العلماء للبحث عن طرق أخرى للتخلية غير طريقة التقطير، فسجلت براءة اختراع عام ١٩٣٦م لكل من العالمين وولف ومار (WOLF AND MARR) اللذين اكتشفا إمكانية الحصول على الماء العذب بالتبريد.

وفي الأربعينيات و خلال الحرب العالمية الثانية جاءت الخطوة العظمى في تطوير تقنية تخلية المياه المالحة، عندما احتاجت مؤسسات عسكرية عديدة في أماكن قاحلة لإمداد فرق جنودها بالماء. و عندئذ عرف على نطاق واسع الإمكانيات التي قدمتها التخلية، واستمر العمل بعد الحرب في هذا المجال في أقطار شتى.

وفي عام ١٩٥٠م اخترع البروفيسور سيلفر طريقة التبخير الومضي المتعدد المراحل.

وقد أجريت أبحاث عديدة للبحث عن طرق أخرى لتخلية المياه المالحة أسفرت فيما بعد عام ١٩٥٠م عن اكتشاف طريقة التناضح العكسي بواسطة العالمين لوب و سوريراجان.

وكذلك تم اكتشاف طريقة الفرز الغشائي الكهربيائي.

كما كانت هناك جهود مكثفة من جانب الحكومة الأمريكية من خلال إنشاء مكتب المياه المالمة في أوائل الخمسينيات، و تبعه مكتب أبحاث وتقنية المياه و قد مولت الحكومة الأمريكية الأبحاث الأساسية و التطوير لمختلف التقنيات في مجال تلمية مياه البحر المالمة و مياه الآبار المولمعة.

وفي أواخر الستينيات - وفي أماكن متعددة من العالم - بدأ العمل في تركيب وحدات تلمية مرافق المياه بسعة تصل إلى ٨٠٠٠ متر مكعب من المياه المالمات يوميا (أي ما يعادل ٢ مليون جالون يوميا). و كان معظم هذه الوحدات تدار بالطاقة الحرارية لتلمية مياه البحر، غير أنه في خلال السبعينات بديء في استخدام عمليات الأغشية تجاريا لتلمية المياه.

وعندما أدخلت طريقة الفرز الغشائي الكهربيائي لتلمية مياه الآبار المولمعة، اتضح أنها أكثر اقتصادية و وجدت لها تطبيقات، وبالمثل فإن طريقة التناضح العكسي استخدمت في البداية لتلمية مياه الآبار المولمعة، غير أنها برهنت على صلاحيتها لمياه البحر أيضا.

وفي الثمانينات صارت تقنية التلمية عملا تجاريا مكتملا. و قد استفادت تقنية التلمية من خبرة التشغيل، و التي تم الحصول عليها من الوحدات التي تم إنشاؤها و تشغيلها في العقود الماضية.

التخلية بالتبخير الومضي

طريقة التخلية بالتبخير الومضي

تعتمد طريقة التخلية بالتبخير الومضي (حسب اسمها) على عملية التبخير الومضي (flashing) أي يلزم تسخين الماء المالح إلى درجة حرارة أعلى من درجة الغليان (عند ضغط معين) ثم فجأة يضح هذا الماء المالح الساخن إلى غرفة عند ضغط أقل من ضغط الغليان ، فيحدث التبخير الفجائي (الومضي) ويتكون البخار والذي يتم تكثيفه ليصبح الماء المنتج.

الشكل (١) يوضح غرفة تبخير ومضي عند ضغط محدود وثابت ويدخل المحلول الملحي (ماء البحر الساخن) عند درجة حرارة أعلى من درجة الغليان لضغط الغرفة فيحدث التبخير الفجائي (الومضي). ويسحب البخار حرارة التبخير من المحلول الذي تصل درجة حرارته إلى درجة الغليان (أو التشبع) ، ويخرج ماء البحر الساخن بعد ذلك من الغرفة بعد أن أتم مهمته بأن ترك كمية من البخار. يصعد البخار لأعلى ليقابل مجموعة من أنابيب التكثيف باردة السطح (وعادة ما يكون بداخلها ماء البحر للتبريد ، وهو نفسه المحلول الملحي الذي سيدخل إلى الغرفة بعد تسخينه كما سيذكر لاحقاً) وعليه يتكثف البخار إلى ماء مقطر (distillate) ويتم تجميعه وخروجه كماء منتج (product water) للاستفادة منه.

نظراً لأن عملية التبخير الومضي تدفع بالبخار لأعلى فجأة، فكثيراً ما يحمل هذا البخار معه بعض القطرات الصغيرة من المحلول الملحي. لذا عادة ما توضع شبكة (مصفاة) من الصلب لفصل هذا البخار عن قطرات المحلول الملحي وتسمى فاصل الرذاذ (demister) وتتجمع قطرات المحلول الملحي على المصفاة ، ثم تسقط مرة ثانية إلى قاعدة الغرفة مع باقي المحلول لذا فأهمية هذه الشبكة هي خروج البخار شبه نقي من الماء المالح ، ومن ثم يكون ماء مقطراً خالياً من الأملاح .

شرح وحدة تحلية تعمل بالتبخير الومضي متعدد المراحل M.S.F

تعتمد كفاءة أي محطة تحلية على كيفية الاستفادة القصوى من الطاقة المتاحة لها ، كما تعتمد اقتصادياتها على أقل مساحة لأسطح انتقال الحرارة (غالبية الثمن) . وكلما زادت الاستفادة من الطاقة لإنتاج كمية ماء أكبر أو لتسخين المحلول ثانية كلما انخفض سعر إنتاج الماء . وتتكون وحدة التبخير الومضي متعددة المراحل (multi stage flash-MSF) من مجموعة ملتصقة من غرف التبخير الومضي ، والتي سبق شرحها في الشكل (١) ، بحيث إن الحرارة التي يحملها البخار يمكن بها تسخين ماء البحر (ماء التغذية) . كما أن المحلول الملحي الخارج من غرفة التبخير الومضي يمكنه إنتاج كمية أخرى من البخار بخفض الضغط أكثر وأكثر في مراحل (غرفة تبخر) أخرى ، ومن ثم تسمى الوحدة متعددة المراحل (multi stages).

والشكل (١) يبين نموذج لوحدة تحلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل (MSF) وفيه يدخل ماء مالح من البحر عند النقطة (١) إلى داخل مواسير التكثيف (أعلى غرفة التبخير الومضي) . ويقوم الماء المالح من البحر بتبريد أنابيب المكثف (لتكثيف البخار الناتج في كل غرفة) ويمتص حرارة التكثيف للاستفادة منها في رفع درجة حرارته إلى نقطة (٢) وعند النقطة (٢) يدخل الماء المالح مسخن المحلول الملحي brine heater لرفع درجة حرارته إلى درجة أعلى من درجة غليان المحلول . ويخرج الماء المالح من مسخن المحلول الملحي عند نقطة (٣) وهذه هي أقصى درجة حرارة للماء المالح في الدائرة وتسمى top brine temperature (TBT) ، والتي قد تصل من (٩٠ - ١٢٠ م) . ويجب أن يكون الماء المالح عند ضغط أعلى من الضغط المناظر لدرجة غليان الماء عند درجة TBT ، حتى لا يغلي الماء قبل دخوله غرفة التبخير الومضي ، ومنها يدخل إلى أول غرفة تبخير ومضي .

عند النقطة (٣) يدخل المحلول الملحي (الساخن عند (٩٠ - ١٢٠ م)) إلى أول غرفة تبخير ومضي ، وضغطها يكون أقل قليلاً من الضغط المناظر لدرجة الغليان عند درجة TBT (أي درجة الغليان في الغرفة أقل من (٩٠ م - ١٢٠ م) . ونظراً لأن الماء المالح الساخن تكون درجة حرارته أعلى من درجة الغليان للغرفة (ماء فوق الغليان superheated water) ، فإنه فور دخوله الغرفة (من خلال بوابات) يحدث عملية التبخير الفجائي (الومضي) flashing ويتبخر جزء من الماء إلى بخار يصعد لأعلى ويتكثف على أسطح أنابيب المكثف (الباردة) عند النقطة (٤) ، وتنتقل حرارة التكثف إلى الماء المالح داخل أنابيب المكثف للاستفادة منها كما سبق ذكره .

يمتص البخار الصاعد حرارة تبخيره من الماء المالح (المحلول الملحي) ، في قاعدة الغرفة حيث يبرد إلى درجة حرارة الغليان (التشبع) عند الغرفة (المرحلة) الأولى نقطة رقم (٥) . فإذا استطعنا عمل

تخلخل في ضغط الغرفة (المرحلة) الثانية ، وخفض الضغط إلى ضغط أقل من ضغط الغرفة الأولى فهذا معناه أن المحلول الملحي الخارج من الغرفة الأولى ، نقطة (٥) ، يكون ماء فوق الغليان superheated water ، أي أن درجة حرارته أعلى من درجة غليان ضغط الغرفة الثانية وعليه فإنه فور دخوله إلى الغرفة الثانية يحدث تبخير ومضي ثاني (حتى يحدث التوازن) وتنخفض درجة حرارة المحلول إلى درجة تشبع الغرفة الثانية ، نقطة (٦) ، وينتج عن هذا تبخر كمية جديدة من البخار ، والذي يصعد ويتكثف على أسطح المكثف في الغرفة الثانية ، نقطة (٧) ، ويعطي البخار (الأقل درجة حرارة) حرارة التكثيف إلى الماء داخل أنابيب المكثف . وهكذا تكرر العملية في مجموعة المراحل (متعددة المراحل) ، وكل غرفة تنتج كمية إضافية من البخار (الماء المقطر) لتتجمع جميع الكميات كمنتج للوحدة ، ويخرج من فتحة خروج الماء المنتج ، نقطة (٨) كما يخرج باقي المحلول الذي لم يتبخر إلى مضخة طرد الرجيع ، نقطة (٩) . وعادة ما تكون عدد المراحل في الوحدات الكبيرة من ١٥ - ٢٥ مرحلة .

وتسمى هذه الطريقة بطريقة الاتجاه الواحد once through وفيها يدخل ماء البحر ويسخن (بامتصاص حرارة التكثف للبخار المنتج من غرفة التبخر الومضي) ، ثم يدخل إلى مسخن المحلول الملحي ومنه إلى غرفة التبخير الومضي للاستفادة من حرارته لإنتاج الماء المقطر ومنه إلى البحر ثانية. في هذه الطريقة يلزم معالجة كل كمية ماء البحر الداخل للوحدة كماء تغذية (تعالج بإزالة الغازات الذائبة لماء البحر ، وإضافة الكميات الكبيرة من موانع الترسيب وموانع التآكل وغيرها) وهذه كمية كبيرة من الماء (حوالي عشرة أضعاف معدل الإنتاج). وهذا يسبب زيادة في تكاليف التشغيل للمحطة . لذا طور الخبراء طريقة أخرى وهي إعادة دوران المحلول.

إعادة دوران المحلول (brine recycle) في وحدات التبخر الومضي.

هذه طريقة يمكن بها تقليل الكميات الكبيرة من ماء التغذية الداخلة للوحدة ، وتسمى طريقة إعادة الدوران (recirculation method) أو دوران المحلول (brine recycle) ، الشكل (٣) في هذه الطريقة تقسم الوحدة إلى جزأين ، الأول يسمى جزء (منطقة) استعادة الحرارة (heat recovery section) ، والآخر يسمى جزء منطقة طرد الحرارة heat rejection . في هذه الطريقة يدخل ماء البحر (ماء التبريد cooling water) ، نقطة (١) إلى جزء طرد الحرارة (من خلال أنابيب التكثيف - لتكثيف البخار في هذا الجزء فقط ويتم طرد معظم هذا الماء إلى البحر ثانية ، نقطة (٢) . ويستخدم فقط جزء صغير (حوالي ضعف إنتاج الوحدة) ، نقطة (٣) ، كماء التغذية للوحدة يسمى ماء التعويض (make-up water) ، ويضاف عادة إلى الغرفة الأخيرة لوحدة التبخر الومضي بعد أن يمر

على وحدة معالجة أولية (pre-treatment) ، طارد الهواء (deaerator) . ويضاف لماء التغذية بعض الكيماويات اللازمة لمنع الترسبات ومنع التآكل وغيرها .

وبعد طرد كمية من ماء المحلول في الغرفة الأخيرة ، نقطة (٤) ، (يسمى ماء المحلول المطرود reject/rejected brine أو بماء الصرف blow down) يختلط ماء التغذية هذا مع باقي المحلول الملحي في الغرفة الأخيرة ، نقطة (٥) ، ويعاد دوران الاثنين معاً ، نقطة (٦) ، إلى الجزء الثاني من الوحدة وهي منطقة استعادة الحرارة heat recovery section ليقوم بعملية التكيف للبخار المنتج داخل هذا الجزء ويستعيد حرارة التكثيف ليسخن تدريجياً حتى يخرج عند النقطة (٧) . يسخن المحلول في مسخن المحلول الملحي حتى نقطة (٨) لأعلى درجة حرارة TBT ، ومنه إلى غرفة التبخر في جزء استعادة الحرارة حتى نقطة (٩) ، ومن منطقة استعادة الحرارة يخرج المحلول الملحي إلى غرفة التبخر في جزء طرد الحرارة نقطة (١٠) حيث يطرد جزء منه عند نقطة (٤) الجزء الأكبر يخلط بماء التغذية (ماء التعويض) لتعود الدورة الثانية. ومن ناحية أخرى يخرج الماء المنتج عند نقطة (١١) ومنه إلى المضخة وخزانات الماء المنتج ..

وتقلل طريقة إعادة الدوران (recirculation method) من كمية ماء البحر المستخدمة لتغذية الوحدة (إلى حوالي ضعف الماء المنتج فقط ، بدلاً من عشرة أضعافه كما في طريقة الاتجاه الواحد السابقة) ، وعليه تقل كمية المواد المضافة للمعالجات الكيماوية لماء التغذية وتقل بذلك تكاليف معالجة هذا الماء . إلا أنه يعيبها ارتفاع جزئي في درجة ملوحة المحلول الملحي في أنابيب التكثيف في جزء استعادة الحرارة (heat recovery section) ، ومسخن المحلول الملحي (brine heater) . لذا يلزم ، أثناء التصميم التأكد من عدم زيادة نسبة الملوحة في المحلول المعاد دورانه إلى الحد الأعلى لتثبيح الأملاح (حوالي ٦٠٠٠٠ جزء في المليون) والذي يسبب زيادة في معدلات ترسب الأملاح داخل الأنابيب . والجدير بالذكر أن هذا النوع من وحدات التحلية هو الشائع حالياً في محطات التحلية في معظم دول العالم.

المواصفات الفنية لوحدات التحلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل

الجدول (١) يعرض المواصفات الأساسية لإحدى وحدات التحلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل بسعة ٥٠٠٠ م^٣ / يوم والتي تعمل بمحطة كهرباء سيدي كيرير - بالأسكندرية بمصر .
والجدول (٢) يعرض المواصفات الأساسية لوحدات التبخر الومضي سعة ٢٥٠٠٠ م^٣/يوم (٥,٥ مليون جالون في اليوم) لمحطة الجبيل بالسعودية (المحطة بها ٤٦ وحدة وبذلك تمثل أكبر محطة تحلية في العالم) .

جدول (١) مواصفات وحدة تخلية بالتبخير الومضي بسعة ٥٠٠٠ م^٣/يوم
(محطة سيدى كير - الاسكندرية - مصر)

| الوحدة | القيمة | المواصفات |
|--------------------|--------|--|
| ٣ م / اليوم | ٥٠٠٠ | السعة الانتاجية |
| كجم ماء / كجم بخار | ٨ - ٩ | معامل الأداء |
| م | ١١٠ | أعلى درجة حرارة للمحلول |
| جزء في المليون | ٢٥ | جودة الماء المنتج |
| م | ٢٧ | درجة حرارة ماء البحر التصميمية |
| ٣ م / الساعة | ١٥٧٠ | معدل سريان ماء البحر (للتبريد) |
| جزء في المليون | ٤٣٩٠٠ | ملوحة ماء البحر التصميمية |
| ٣ م / الساعة | ١٨٤٧ | معدل دوران المحلول الملحي |
| جزء في المليون | ٦٣٠٠٠ | ملوحة المحلول الملحي |
| مرحلة | ٢٠ | عدد المراحل |
| مرحلة | ١٧ | عدد مراحل جزء استعادة الحرارة |
| مراحل | ٣ | عدد مراحل جزء طرد الحرارة |
| طن / الساعة | ٢٥,٧ | معدل سريان البخار |
| م° | ١٠١ | درجة حرارة دخول المحلول لمسخن المحلول |
| م° | ٣٩,٢ | أقل درجة حرارة للمحلول (المرحلة الأخيرة) |
| م° | ٣٨,١ | درجة حرارة خروج ماء التبريد |
| طن / الساعة | ٥٤٥ | معدل سريان ماء التعويض |
| طن / الساعة | ٣٣٧ | معدل سريان المحلول المطرود |

جدول (٢) مواصفات وحدة تحلية بالتبخير الومضي بسعة ٢٥٠٠٠ م^٣ / اليوم
(محطة الجبيل - السعودية)

| المواصفات | القيمة | الوحدة |
|--|--------|------------------------|
| السعة الانتاجية | ٩٨٦ | م ^٣ / اليوم |
| معامل الأداء | ٣,٤٤ | كجم ماء / ألف جول |
| أعلى درجة حرارة للمحلول (بولي فوسفات) | ٩٠,٦ | م |
| أعلى درجة حرارة للمحلول (إضافة كيميائية عالية) | ١١٢,٨ | م |
| جودة الماء المنتج | ٢٥ | جزء في المليون |
| درجة حرارة ماء البحر التصميمية | ٣٥ | م |
| ملوحة ماء البحر التصميمية | ٤٦,٥٠٠ | جزء في المليون |
| ملوحة المحلول عند مسخن المحلول | ٦٥٠٠٠ | جزء في المليون |
| ملوحة المحلول عند المحلول المطرود | ٧٠,٢٤٥ | جزء في المليون |
| عدد المراحل | ٢٢ | مرحلة |
| عدد مراحل جزء استعادة الحرارة | ١٩ | مرحلة |
| عدد مراحل جزء طرد الحرارة | ٣ | مرحلة |

عناصر تقييم أداء وحدات التبخر الومضي متعدد المراحل

توجد عدة عناصر لتقييم أداء وحدات التحلية بالتبخير الومضي، منها السعة الانتاجية (كمية الماء المنتج في اليوم) ، معامل الأداء ، معامل الإنتاجية ، سعر إنتاج الماء إلخ ويمكن تلخيص هذه العناصر كما يلي :

أ - كمية الماء المنتج :

يمكن حساب كمية البخار المتولدة في وحدة التبخر الومضي متعدد المراحل (وهي نفس كمية الماء المنتج) ، بقسمة كمية الطاقة الحرارية الداخلة للماء المالح على ما يسمى بالحرارة الكامنة للتبخير (عند ضغط التشغيل). أي : -

كمية البخار المتولد (كمية الماء المنتج) = كمية الحرارة الداخلة للماء

الحرارة الكامنة للتبخير

وكمية الحرارة الداخلة للماء (المحلول) المالح (والمتاحة لتبخيره) تساوي حاصل ضرب معدل سريان الماء المالح × الحرارة النوعية للماء المالح × مجال التبخر flashing range (هو فرق درجات الحرارة بين أقصى درجة حرارة للمحلول الخارج من مسخن المحلول (TBT) ، وأقل درجة حرارة للمحلول عند آخر غرفة تبخير) أي أن : -

$$\text{كمية الماء المقطر المنتج} = \text{معدل سريان المحلول المالح} \times \text{الحرارة النوعية للماء المالح} \times \text{مجال التبخر}$$

متوسط الحرارة الكامنة للتبخير

وتقاس هذه الكمية بالطن / الساعة ، أو المتر المكعب / الساعة أو المتر المكعب / اليوم . وعلى سبيل المثال من الجدول (٤ - ١) فإن معدل الإنتاج اليومي يحسب كالتالي :

$$\text{كمية الماء المنتج} = \frac{1847 \text{ م}^3 / \text{الساعة} \times 4.18 \text{ كجول} / \text{كجم} \cdot \text{م} \times (110 - 40) \text{ م}^{\circ}}{2283 \text{ كجول} / \text{كجم}}$$

ب - معامل الأداء :

يعتبر معامل الأداء Performance Ratio (P.R) من العناصر الهامة لتقييم كفاءة أداء وحدات التخلية الحرارية . وهذا المعامل هو عبارة عن النسبة بين كمية الماء المنتج وكمية الحرارة (الطاقة) الداخلة للوحدات ، أي أن : -

$$\text{معامل الأداء} = \frac{\text{كمية الماء المنتج (كجم / الثانية)}}{\text{كمية الحرارة الداخلة للوحدة (كيلو وات)}}$$

وتقاس بوحدات الكيلو جرام / كيلو جول أو كجم (ماء منتج) / ألف كجول . وتستخدم أحياناً

كنسبة بين كمية الماء المنتج وكمية البخار الداخل ، وتسمى في هذه الحالة نسبة الاستفادة Gain Output (over) Ratio (G.O.R).

$$\text{نسبة الاستفادة (G.O.R.)} = \frac{\text{كمية الماء المنتج (كجم / ثانية)}}{\text{كمية البخار الداخل للوحدة (كجم / ث)}}$$

وتقاس بوحدات كجم (ماء منتج) إلى كجم (بخار مستخدم) ، وتتراوح معامل الاستفادة بين ٧ - ٩ .

أي أن كل كيلوجرام من البخار ينتج من ٧ - ٩ كجم من الماء المنتج . ويلاحظ أن هذه النسبة لا تعتمد على عدد المراحل بل فقط على مجال التبخر الومضي (Flashing Range) ، ومعدل دوران المحلول . وعلى سبيل المثال من الجدول (٤ - ١) فإن نسبة الاستفادة يمكن حسابها كالتالي :

$$\text{نسبة الاستفادة} = \frac{\text{كمية الماء المنتج}}{\text{كمية البخار المستخدم}} = \frac{24}{5680} = 9,2$$

$$= \frac{\text{معدل سريان المحلول} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{مجال}}{\text{معدل سريان المحلول} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{فرق درجات الحرارة لمسخن المحلول}}$$

$$= \frac{\text{مجال التبخر} \div \text{فرق درجات الحرارة لمسخن المحلول}}{\text{معدل سريان المحلول} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{فرق درجات الحرارة لمسخن المحلول}}$$

$$[39,2 - 110] \div [101,7 - 110] = 9,5$$

ويلاحظ أن هذه الفروق نتيجة للتقريبات المستخدمة في هذه الأمثلة.

ج - معامل الإتاحة :

من المعاملات الهامة لتقييم أداء التشغيل للوحدات هو معامل الإتاحة (Availability Factor (A.F.) ، وهو عبارة عن نسبة عدد الساعات التي تكون الوحدة في الخدمة (In Service Time) إلى عدد الساعات الكلية. وكلما زاد معامل الإتاحة (A.F.) ، كلما زاد الانتاج للوحدة وهذا العامل يعتمد على عناصر كثيرة منها التكنولوجيا المستخدمة ، الجهة المصنعة ، كفاءة طاقم التشغيل والصيانة وانتظامها ، توفر قطع الغيار وميزانية الشراء المباشر ، ... إلخ . وعادة ما يكون العامل حوالي ٨٥% عند بدء التشغيل (١٥% للصيانة الدورية) ، وتقل تدريجياً مع طول عمر الوحدة نتيجة تكرار خروج الوحدة من الخدمة لأعطال في مكوناتها.

د - سعر إنتاج الماء :

من أهم المعاملات المستخدمة لتقييم وحدات التحلية هو سعر إنتاج المتر المكعب من الماء. وهذا يعتمد على عناصر كثيرة مثل نوع التكنولوجيا المستخدمة ، جودة ونوعية الماء ، سعة الوحدة ، الجهة المصنعة ... إلخ . ويشمل سعر إنتاج المتر المكعب كل من سعر الوحدة الابتدائي وسعر التشغيل (الطاقة ، العمالة ، الكيماويات ... إلخ) ، وسعر تكاليف الصيانة (العمالة ، قطع الغيار ، الورش ... إلخ) .

التقييم الفني والإحصائي لتكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل

تتميز تكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل بأنها بسيطة ومن أكثر التكنولوجيات نضوجاً (Mature Technology) (من حيث خبرة التشغيل والصيانة) كما ثبت كفاءتها عبر أربعين سنة من التشغيل المستقر خاصة في المنطقة العربية. وتتميز بإمكانية بناء وحدات كبيرة السعة الإنتاجية (وحتى ١٠٠٠٠٠ متر مكعب في اليوم). وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء من المليون. كما تتميز بفصل عملية التبخير عن أسطح انتقال الحرارة مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح أنابيب انتقال الحرارة في مسخن المحلول المحلى، وكذلك يسمح برفع درجة حرارة المحلول الملحي (ورفع معامل أداء الوحدة). والعمر الافتراضي للوحدة هو حوالي ٢٠ سنة (وهناك وحدات تعمل في الخليج منذ ١٩٧٩ وحتى الآن بكفاءة جيدة). كما يمكن بعمليات التجديد (Rehabilitation) من زيادة عمر الوحدة إلى ٣٠ - ٤٠ سنة كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحرارية كمصدر للطاقة الحرارية لتسخين المحلول، كطاقة العادم الحرارية الخارجة من محركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها). كما تتميز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية فهي تستخدم مياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح. كما لا تحتاج إلى مهارات غير عادية للعاملين بالتشغيل والصيانة. ولا تستخدم بكثرة في محطات التوليد المشترك للماء والكهرباء نظراً لاحتياجها لبخار منخفض الضغط والمتوفر في توربينات محطات الكهرباء البخارية..

ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها لرفع درجة الحرارة القصوى للماء المالح وذلك لرفع معامل أدائها وإنتاجيتها. وتصل القيمة القصوى لهذه الدرجة إلى ١٢٠ درجة مئوية، ومع ذلك تحتاج إلى كيماويات منع الترسب وأحماض التنظيف. ولا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح لأكثر من ذلك حتى نتجنب ترسب أملاح مثل السليكا والكبريتات (صعبة الإزالة). كما يعيبها ثبوت معامل الأداء مهما زاد عدد المراحل. ويتضح من الجدولين (١)، (٢) أن معامل الأداء يتراوح بين ٧ - ١٠ وتتراوح الطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب حوالي ٨ متر مكعب من البخار (كطاقة حرارية)، بالإضافة إلى ٤ ك.و.س (طاقة كهربائية) للمعدات المساعدة.

ومن الناحية الإحصائية فتعتبر تكنولوجيا التبخر الومضي الأولى في العالم لإنتاج المياه. والشكلان (٨)، (٩) يوضحان إحصائيات السعة الإنتاجية لمحطات إغذاب المياه في العالم، وفيه يتضح أن تكنولوجيا التبخر الومضي تنتج ٦٤٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٥٠٠٠ متر مكعب في اليوم وتنتج ٧٠٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم.

والشكل (١٠) يبين السعة الإنتاجية لتكنولوجيا التبخر الومضي لدول العالم والتي يتضح أن الدول العربية لها نصيب الأسد في استخدام هذه التكنولوجيا فالسعودية بها ٣٣٪ من إنتاجية هذه التكنولوجيا ، والإمارات ٢٤٪ ، والكويت ١٤٪ .

الحسابات الأساسية المطلوبة لتصميم الحراري لوحدة تبخير ومضي متعدد المراحل

الشكل (١١) يوضح نموذج لمحطة تحلية صغيرة تعمل بالتبخر الومضي متعدد المراحل. ويتبين من الشكل أن الوحدة تتكون من الأجزاء الثلاثة التالية :

١ - جزء مصدر الحرارة ، ويتكون من غلاية (بنظام الوقود) ، ومخفض لضغط البخار ، ومزيل الحرارة الزائدة (De- superheater) للبخار ، لدخول بخار مناسب لتسخين الوحدة من خلال مسخن المحلول الملحي .

٢ - جزء استعادة الحرارة ، ويتكون من أربع مراحل (غرف تبخير ومضي) ، بمكثفاتها التي تكثف البخار المنتج ويستعيد الحرارة المكثف لتسخين المحلول الملحي المار بها.

٣ - جزء طرد الحرارة ويتكون من مرحلتين ومكثفات تطرد حرارة ماء التبريد باستثناء جزء صغير من هذا الماء يستخدم كماء تعويض Make - up عن ما فقد من الوحدة من ماء منتج (مقطر Distillate) ومحلول مطرود Blow Down .

٤ - هذا بالإضافة إلى المكونات المساعدة للمعالجة الأولية والنهائية وغيرها.

والشكل (١٢) يبين توزيع درجات الحرارة داخل هذه الوحدة حيث تمثل الرموز درجات الحرارة (T) معدلات السريان (m) .

ولتصميم وحدة تحلية للتبخر الومضي متعدد المراحل يلزم تحديد كل من معدلات الإنتاج ، درجات الحرارة القصوى المسموح بها (TBT) ، أقل درجة حرارة لماء التبريد وأقل درجة حرارة في المرحلة الأخيرة وعادة ما تكون الحسابات المطلوبة هي :

- حساب معدل إعادة دوران المحلول الملحي .

- حساب كميات البخار المطلوبة لتسخين المحلول الملحي .

- حساب ملوحة المحلول المحلي .

- حساب معدلات سريان ماء التبريد .

- حساب معاملات الأداء .

- حساب المساحات السطحية لأنابيب مسخن المحلول المحلي ، والمكثفات .

وبعد تحديد الشكل التصميمي للوحدة وأطوال الأنابيب ، يمكن حساب قدرات المضخات اللازمة لدفع الموائع داخل الوحدة.

حساب أساسيات التصميم الحراري لوحدة تحلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل

الشكل (١٣) يوضح نموذج لوحدة تبخر ومضي متعدد المراحل والشكل يبين وحدة لإنتاج ٢٠ م^٣/اليوم ، وحددت أقصى درجات حرارة للمحلول (TBT) ٧٠م^٣ وأقل درجة ٤٠م^٣ (في المرحلة الأخيرة). كما تبين الوحدة أن مصدر التسخين الحراري هو ماء ساخن (يدخل عند ٨٠م^٣) ويخرج عند ٧٠م^٣)

(أ) الحسابات الأولية للعملية (Process Calculations)

معدل الإنتاج = معدل سريان المحلول × الحرارة النوعية × مجال التبخر الومضي
متوسط الحرارة الكامنة

معدل سريان المحلول = معدل الإنتاج × متوسط الحرارة الكامنة

الحرارة النوعية للمحلول × مجال التبخر الومضي

$$= ٢٠ (طن / اليوم) × ٢٣٧٠ كجول / كجم (عند ٥٥ م^٣)$$

$$٤,١٨ كيلوجول / كجم . م × (٧٠ - ٤٠) م^٣$$

$$= ٢٠ (طن / اليوم) × ١٨,٩ = ٣٧٨ طن / اليوم$$

. Recirculation Ratio النسبة بين معدل سريان المحلول إلى الإنتاج (١٨,٩) تسمى نسبة الدوران
ويلاحظ للحسابات الدقيقة يجب عمل توازن حراري وكتلي للوحدة كلها وكذلك لكل مكونة بها .

(ب) الاتزان الحراري لمسخن المحلول

بعمل اتزان حراري لمسخن المحلول يمكن حساب كمية ماء التسخين (أو البخار إذا كان التسخين بالبخار) كالآتي :

ما فقده ماء التسخين من حرارة = ما اكتسبه المحلول من حرارة .

(معدل السريان للماء أو البخار المسخن × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة)

= (معدل السريان للمحلول الملحي × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة) .

وكما يتضح من الرسم تم فرض أن فرق درجات الحرارة هو عشرة درجات في كل منهما وعلى فرض أن الحرارة النوعية متساوية للماء والمحلول (كحسابات أولية) يتضح أن معدل السريان للماء المسخن يساوي معدل السريان للمحلول وهي ٣٧٨ طن / اليوم .

(ج) كمية الحرارة اللازمة للتسخين :

كمية الحرارة اللازمة لتسخين المحلول الملحي

$$= \text{معدل سريان الماء} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{فرق درجات الحرارة}$$

$$= ٣٧٨ \text{ طن} / \text{اليوم} \times ٤,١٨ \text{ كجول} / \text{كجم} \cdot \text{م}^{\circ} \times ١٠ \text{ م}^{\circ}$$

$$= ٤٣٧٥ \text{ كجم} / \text{الثانية} \times ٤,١٨ \text{ كجول} / \text{كجم} \cdot \text{م}^{\circ} \times ١٠ \text{ م}^{\circ}$$

$$= ١٨٢,٩ \text{ كجول} / \text{ثانية} = ١٨٢,٩ \text{ كيلوات}$$

(لو كان التسخين بالبخر عند درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية يلزم مثلاً كمية من البخر (بدلاً من

ماء التسخين) تعادل ما يلي :

$$\text{كمية البخر اللازم للتسخين} = \text{كمية الحرارة}$$

الحرارة الكامنة (عند ١٠٠ م)

$$= \frac{١٨٢,٩ \text{ كجول} / \text{الثانية}}{٢٢٥٨ \text{ كجول} / \text{كجم}}$$

$$= ٠,٠٨١ \text{ كجم} / \text{ثانية} = ٧ \text{ طن} / \text{اليوم}$$

(د) معامل الاستفادة ومعامل الأداء :

يمكن حساب معامل الاستفادة بقسمة كمية الإنتاج على كمية بخار التسخين كالتالي :

$$\text{معامل الاستفادة} = \frac{\text{كمية البخر المنتج} / \text{اليوم}}{٢,٨٥} = \frac{٢٠}{٧}$$

$$\text{كمية بخار التسخين} / \text{اليوم}$$

كما يحسب معامل الأداء بقسمة الإنتاج على وحدة الطاقة (كيلوجول/ثانية) كالتالي :

$$\text{معامل الأداء} = \frac{\text{كمية البخر المنتج} = (١٠٠٠ \times ٢٠) / (٣٦٠٠ \times ٢٤) \text{ كجم/ث}}{١,٢٧ \text{ كجم/كجول}}$$

$$\text{كمية الطاقة الداخلة} = ١٢٢,٩ \text{ كجول/ث}$$

(هـ) نسبة تركيز المحلول **Brine Concentration Ratio**

$$\text{نسبة تركيز المحلول} = [\text{تركيز المحلول}] \div [\text{تركيز ماء التغذية}]$$

$$= \text{معامل ماء التعويض} (\text{معدل دوران المحلول} - \text{معدل الإنتاج})$$

$$\text{معدل الماء المطرود} \times \text{معدل دوران المحلول}$$

وحيث إن معدل ماء التعويض = معدل الإنتاج + معدل الماء المطرود = ٢٠ + ٢٠ = ٤٠ م / ٣ اليوم

$$= \frac{(٢٠ - ٣٧٨) \times ٤٠}{٣٧٨ \times ٢٠} = ١,٨٩$$

$$٣٧٨ \times ٢٠$$

أي أن ملوحة المحلول = ١,٨٩ ملوحة ماء التغذية فإذا كان هذا الرقم مرتفع يمكن خفضه بزيادة معدل الماء المطرود فعلى سبيل المثال إذا كان الماء المطرود = ٤٠ طن في اليوم بدلاً من ٢٠ طن في اليوم كان معدل ماء التغذية يساوي ٦٠ طن في اليوم وعليه يكون نسبة التركيز كالتالي :

$$\text{نسبة التركيز} = \frac{[(٢٠ - ٣٣٨) ٦٠]}{[٣٧٨ \times ٤٠]} = ١,٤٢$$

(و) معدل ماء التبريد :

من الشكل يتضح ضرورة دخول ماء التبريد إلى المرحلتين الأخيرتين (والتي تسمى جزء طرد الحرارة) فإذا فرضنا أن كمية الإنتاج مقسمة بالتساوي على كل مرحلة من المراحل الست ، فإن كمية البخار اللازم تكثيفها في المرحلتين الأخيرتين تساوي ثلث الإنتاج (مرحلتين / ست مراحل) وبعمل توازن حراري لماء التبريد فإن :

كمية الحرارة المفقودة من بخار التكثيف = كمية الحرارة المكتسبة لماء التبريد

معدل البخار المتكثف × متوسط الحرارة الكامنة =

معدل سريان ماء التبريد × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة

إذاً: معدل سريان ماء التبريد

$$= \frac{٠,٣٣ \times ٢٠ \text{ طن} / \text{اليوم} \times ٢٤١٩ \text{ كجول} / \text{كجم} \text{ (عند } ٣٥ \text{ م)}}{٢٨٥ \text{ طن} / \text{اليوم}}$$

$$٤,١٨ \text{ كجول} / \text{كجم} \cdot \text{م} \times ١٠ \text{ م}$$

(يلاحظ أنها تقريباً تساوي كمية ماء التسخين أو المحلول حيث إن في النهاية يلزم أن تكون الحرارة الداخلة للوحدة = الحرارة الخارجة من الوحدة. والفروق البسيطة في الحسابات نتيجة فرض درجات حرارة متوسطة لحسابات الحرارة الكامنة للبخار . ويلاحظ أيضاً أنه يلزم أن يكون معدل الحرارة المطرودة من ماء التبريد أقل قليلاً من حرارة التسخين والسبب أن هناك حرارة مطرودة مع الماء المنتج ومع المحلول المطرود)

(ز) حساب المساحة السطحية لانتقال الحرارة

تحسب المساحة السطحية لأنابيب كل من مسخن المحلول وأنابيب التكثيف في كل غرفة

تبخر على أساس مبادلات حرارية من المعادلات التالية :

كمية الحرارة المنتقلة = معامل انتقال الحرارة الكلي × المساحة السطحية لانتقال الحرارة × متوسط درجة الحرارة .

(متوسط درجة الحرارة يمكن فرض المتوسط الحسابي للتبسيط) كما يمكن فرض معامل انتقال الحرارة = ٨٠٠ وات/م^٢.م (ماء - ماء) ، ٢٠٠٠ (وات / م^٢.م) (ماء - بخار). ففي مسخن المحلول فإن المساحة السطحية يمكن حسابها كالتالي
المساحة السطحية لمسخن المحلول =

$$182,9 \text{ كيلووات} \times 1000 \text{ وات / كيلووات} \div [800 \text{ (وات / م}^2 \cdot \text{م)} \times 10 \text{ (م)}] = 22,86 \text{ م}^2$$

فإن فرضنا طول أنبوب = ١م وقطر الأنبوب خمسة أثمان البوصة (١,٢٨٧٥ سم) فإن عدد الأنابيب يمكن حسابها كالتالي:

$$\text{عدد الأنابيب} = [\text{المساحة السطحية}] \div [\text{طول الأنبوب} \times \text{قطر الأنبوب} \times \text{الثابت باي}]$$

$$= 22,86 \div [1 \text{ م} \times 0,012875 \text{ م} \times 3,14] = 565 \text{ أنبوب}$$

وبأخذ نسبة أمان حوالي ٢٥٪ (تشمل احتمالات انسداد الأنابيب أثناء التشغيل) يكون عدد الأنابيب الكلي حوالي ٧٠٠ أنبوب.

وإذا فرضنا أن عملية التسخين تتم عن طريق البخار عند درجة حرارة ١٠٠م فإن عدد الأنابيب سيقبل إلى حوالي ٦٥ أنبوب ذلك نتيجة كل من زيادة متوسط درجات الحرارة إلى حوالي (٢٠٠ وات/م^٢.م) من ناحية أخرى يمكن أن تقلل عدد الأنابيب في حالة التسخين بالماء بزيادة درجات حرارة ماء التسخين حيث يدخل مثلاً عند ٩٠م ويخرج عند ٨٠م . يتضاعف متوسط درجة الحرارة وتقل عدد الأنابيب إلى النصف تقريباً.

$$\text{المساحة السطحية للمكثف المرحلة الأولى} =$$

$$\text{كمية الحرارة المنتقلة} \div [\text{معامل انتقال الحرارة} \times \text{متوسط فرق درجة الحرارة}]$$

$$\text{كمية الحرارة التي فقدها المحلول} = \text{معدل سريان المحلول} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{فرق درجات الحرارة}$$

$$= 378 \text{ (طن / اليوم)} \times 4,18 \text{ كجول / (كجم}^{\circ}\text{م)} \times 5 = 91,4 \text{ كيلووات}$$

$$\text{متوسط فرق درجات الحرارة} = (10 + 5) \div 2 = 7,5 \text{ م}$$

$$\text{المساحة السطحية لأنابيب المكثف} = 91,4 \text{ كيلووات} \div 2 \text{ كيلو / (م}^2 \cdot \text{م)} = 6,1 \text{ م}^2$$

$$\text{عدد الأنابيب} = 6,1 \div [1 \text{ م} \times 0,012875 \text{ م} \times 3,14] = 150 \text{ أنبوب}$$

وعلى فرض ٢٥٪ زيادة يكون عدد الأنابيب ١٨٨ أنبوب

ويلاحظ أنه يحسب في كل مرحلة عدد الأنابيب ويؤخذ الأكبر منها حيث تتكرر كمجموعة واحدة مكررة لتكون أقل تكلفة من تصميم مجموعات مختلفة لكل مرحلة.

النظم والمكونات الأساسية والمساعدة لوحدة التبخر الومضي متعدد المراحل

الشكل التوضيحي (٧) يبين وحدة تبخر ومضي متعدد المراحل من النوع الأكثر شيوعاً في العالم وهو إعادة الدوران للمحلول (Brine recirculation) وأهم نظم مكونات هذه الوحدة هي:

أ) المبخّر Evaporator

الشكل التوضيحي (١٤) يبين مجسم لغرفة تبخر ومضي ومكوناتها الداخلية ويتكون المبخّر من عدد من هذه الغرف تصل أحياناً إلى ٢٥ غرفة في المحطات العاملة . وتحتوي الغرفة على قاعدة تحمل المحلول الملحي الساخن والذي يدخل بوابات خاصة . كما تحتوي على فاصل الرذاذ وأنايبب المكثف ومجرى تجميع الماء المقطر بعد تكثف البخار وتتصل الغرفة بالغرفة التالية عن طريق بوابات لمرور المحلول الملحي وكذلك الماء المقطر شكل (١٥)

ب) مسخن المحلول الملحي Brine Heater

والشكل (١٦) يبين نموذج لهذا المسخن هو مبادل حراري يقوم بتسخين المحلول الملحي مقابل تكثف البخار (مصدر هذه الحرارة) . وجدير بالذكر أن المبادلات الحرارية تسمى حسب الغرض من استخدامها . فإذا كان الغرض منها تسخين مائع ماء ، تسمى مسخن (Heater) ونفس المبادل إذا استخدم بغرض تكثيف بخار يسمى مكثف (Condenser) وإذا استخدم نفسه لتبريد مائع يسمى مبرد (cooler) وهكذا.

ج) بوق طرد الهواء Ejector :

يستخدم طارد الهواء بغرض سحب الغازات غير القابلة للتكثيف من داخل الوحدة وطردها للجو (تعتبر هذه الغازات من مسببات التآكل ، وكذلك عازل حراري إذا اجتمعت حوله أنابيب التكثف مما يقلل كفاءة الوحدة) . ويستخدم عادة بخار ذو ضغط مرتفع ليمر خلال بوق هذا الطارد ويحدث التخلخل (Vacuum) اللازم لسحب الغازات من الوحدة شكل (١٧) ونظراً لاختلاط الغازات مع البخار ، فإن هذا الخليط يمر أولاً على مكثف Condenser لتكثيف واستعادة البخار ثم تطرد الغازات إلى الجو .

د) مضخات دفع الموائع Circulating Pumps

توجد بالوحدة عدة مضخات أساسية لدفع موائع الوحدة مثل مضخة إعادة دوران المحلول (Brine Recirculation Pump) مضخة طرد الرجيع Blow Down Pump مضخة الماء المنتج Product Water Pump مضخة البخار المتكثف Condensate Pump وعادة ما توجد هذه المضخات مع مثيلاتها الاحتياطي Stand-by pump حتى إذا توقفت المضخة الأساسية (للصيانة العادية أو غيرها) تعمل المضخة المساعدة الاحتياطية .

هـ) نظام ماء التبريد Seawater cooling system

يدخل ماء البحر لتبريد وطرده الحرارة من قطاع طرد الحرارة Heat Rejection Section للمبخر ، شكل (٧) ويطرد معظم ماء التبريد للبحر ثانية باستثناء جزء يستخدم كماء تعويض Make-up water لتغذية الوحدة ويستخدم جزء من ماء البحر الداخل للتبريد في مكثف طارد للهواء لتكثيف أي بخار خارج مع البخار المسحوب من الوحدة وتصميم وحدة التخلية على أساس أعلى درجة لماء التبريد وذلك لضمان تشغيل الوحدة بسعتها الكلية طوال العام (لاحظ أن ماء التبريد في الصيف يكون أعلى درجة حرارة منه في الشتاء - كذلك بين النهار والليل وعمق الماء المسحوب) وفي أثناء الشتاء البارد (مع انخفاض شديد في درجة حرارة الماء الداخل للوحدة) يمكن خلط جزء من الماء الخارج من الوحدة مع الماء الداخل للحصول على الدرجة المناسبة للتشغيل وتسمى هذه العملية Tempering .

و) منظومة ماء التعويض Make-up seawater system

يعادل ماء التعويض كل من الماء الخارج من الوحدة إما على صورة جيدة كماء منتج Product Water أو المحلول المطرود للصرف Blow Down ويدخل ماء التعويض الوحدة في المرحلة الأخيرة عادة كما يلزم معالجة ماء التعويض قبل دخوله الوحدة وذلك لمنع الترسبات وتكون القشور على أسطح انتقال الحرارة وذلك لمنع التآكل ويتم ذلك بإضافة بعض الكيماويات لمنع التآكل وكذلك ضبط الرقم الهيدروجيني PH .

ز) منظومة بخار التسخين Heating Steam System

لتسخين المحلول ، يلزم مرور مائع ذو درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة القصوى (TBT) للمحلول حول مسخن أنابيب المحلول لتسخين المحلول. ويعتبر البخار من أفضل هذه الموائع لثبوت درجة حرارته أثناء التكثف مما يحافظ على درجة حرارة مناسبة لأسطح الأنابيب (دون ترسب أملاح) ويتم إضافة من مصدر كالفلايات البخارية أو محطة قوى بخارية أو غير ذلك ويتم التحكم في كمية البخار بالتحكم في درجة الحرارة القصوى المطلوبة وذلك بواسطة صمام تحكم ويخرج الماء المتكثف ويدفع ثانية إلى الفلاية من خلال مضخة المكثف ويتم إعادة جزء صغير من المتكثف إلى مزيل الحرارة الزائدة De - superheater وذلك لتخفيف درجة حرارة البخار الداخل لمسخن المحلول (ترتفع نسبة التحميص للبخار بعد مروره في الفلاية إلى منخفض الضغط) كما يتم مراقبة التوصيلة للمتكثف Condensate حيث يطرده في حالة ارتفاع في حالة ارتفاعها عن حد معين.

ح) نظام التهوية Venting system

يهدف النظام إلى إزالة الغازات غير القابلة للتكثف من المبخر ، ومسخن المحلول الملحي ، بالإضافة إلى طارد الهواء Deaerater على التوازي أو التوالي وذلك باستخدام بوق طرد الهواء Ejector . ويستخدم كاتم للصوت لتقليل ضوضاء خروج الهواء والغازات إلى الجو.

ط) نظم ومرافق أخرى Utilities & other systems

توجد بالوحدة (مثل معظم النظم الهندسية) نظم ومراقبة أخرى مثل النظم الكيماوية لتغذية الكيماويات المطلوبة ، نظم تبريد وتزيت حوامل المضخات نظم الحماية من الحريق Fire Fighting System ، والنظم الكهربائية لإدارة المضخات Electric Metors ، وأجهزة القياس والمراقبة والتحكم ، والمحولات والخطوط والدوائر الكهربائية ، والفلاتر (المرشحات) الهوائية ... إلخ .

ك) منظومة إعادة دوران المحلول Brine Recirculation System

يختلط ماء التعويض في المرحلة الأخيرة مع المحلول الملحي المركز ، ومن ثم يخفف من ملوحته . ويتم إعادة تدوير المحلول المخفف من خلال مضخة إعادة دوران المحلول Brine Recirculation Pump إلى أنابيب المكثفات في قطاع استعادة الحرارة . يمتص المحلول الحرارة من البخار المكثف (والمكون بعد ذلك الماء المنتج) ، ومن ثم ترتفع درجة حرارته تدريجياً حتى دخوله مسخن المحلول. وفي مسخن المحلول ترتفع درجة حرارة المحلول إلى أعلى درجة في الوحدة ثم يدخل المرحلة الأولى للمبخر وحيث إن درجة حرارة TBT تكون أعلى من درجة حرارة التشبع Saturation Temperature المناظرة للضغط داخل المرحلة الأولى ، فإن جزء من المحلول يتبخر فجائياً (وميضياً) ويسحب البخار حرارة تبخره من باقي المحلول والذي تصل درجة حرارته إلى درجة التشبع (تقريباً) وينتقل بعد ذلك المحلول إلى المراحل التالية لتستمر عملية التبخر الجزئي في كل مرحلة. ومع تبخر جزء من المحلول ، تزداد ملوحته تدريجياً حتى آخر مرحلة .عندها يتم طرد جزء من هذا المحلول المركز Blow Down ، والباقي يتم خلطه مع ماء التعويض ودفعه ثانية للدائرة من خلال مضخة إعادة التدوير وتعاد الدورة ، ويتم التحكم في معدل سريان المحلول عن طريق صمام تحكم عند مخرج المضخة.

ل) منظومة الماء المنتج Product Water System

في كل مرحلة ، يتم تجميع الماء المتكثف من المكثفات في مجرى خاص ، من حيث مروره (عادة بالجاذبية الأرضية) بالمرحلة الأولى . (من خلال فتحة ، أو بوابة) إلى الثانية ثم الثالثة ... وهكذا حتى آخر مرحلة . يتم سحب هذا الماء المنتج من آخر مرحلة عن طريق مضخة الماء المنتج إلى الخزانات الخاصة

به. ويتم طبيعياً التحكم في معدل مرور الماء المنتج من كل مرحلة للأخرى عن طريق ارتفاع مستوى الماء المنتج في آخر مرحلة . كما يتم متابعة جودة الماء المنتج بقياس الموصلية حيث إذا زادت عن حد معين يتم طرد الماء المنتج إلى البحر .

م) منظومة المحلول المطرود Blow Down System

يتم فصل المحلول المركز (القادم إلى المرحلة الأخيرة) عن ماء التعويض عن كريق حاجز فصل Weir ، حيث يتم طرد جزء من المحلول المركز للصرف ، والباقي يتم خلطه مع ماء التعويض لإعادة دورانه كما في (ك) . ويتم تصميم معدل الصرف حسب التركيز المطلوب للمحلول في الدائرة ، حيث إن زيادة الصرف تقلل من نسبة تركيز المحلول في الدائرة والعكس بالعكس .

ن) منظومات المعالجة الأولية والنهائية

سيتم شرح مفصل لمنظومات المعالجة الأولية لمياه التغذية Feed Water Pre- treatment System وكذلك المعالجة النهائية للماء المنتج Product Water Post Treatment System وذلك في الفصل السادس من هذا الكتاب.

التبخير متعدد التأثير

تكنولوجيا التخلية بالتبخير متعدد التأثير (Multi (multiple) Effect (ME or MED)

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج الماء بالتقطير (التبخير والتكثيف) ، مثلها في ذلك مثل طريقة التبخير الومضي متعدد المراحل وكل الطرق الحرارية الأخرى. لكنها تستخدم عملية الغليان Boiling لتبخير الماء المالح (بدلاً من عملية التبخر الومضي) ، أي أن عملية تكوين البخار تتولد على أسطح تسخين. ونظراً لأن عملية الغليان تسبب تبخر الماء العذب ، يتبعها ترك الرواسب الملحية على أسطح التسخين (مما يقلل من كفاءتها) ، لذا فإن أقصى درجة حرارة للماء المالح على أسطح التسخين الوحدة محددة بحوالي ٧٠ م ، حتى تقلل من احتمالات ترسيب الأملاح صعبة الإزالة مثل الكبريتات والسليكات (في حين تمتاز عملية التبخر الومضي بإمكانية رفع درجة الحرارة القصوى إلى ١٢٠ م).

وتمتاز عملية التبخر متعدد التأثير بارتفاع معدل الأداء (عن تكنولوجيا التبخر الومضي) ، فكل عملية بخار يتم إنتاجها في أي مرحلة (تأثير - Effect) يمكنها أن تكون مصدراً للحرارة لإنتاج كمية أخرى من البخار لمرحلة أخرى تالية وهكذا. لذلك كلما زاد عدد المراحل (التأثير) لهذه التكنولوجيا كلما زاد معدل أداء الوحدة وكذلك زيادة إنتاجيتها. وعليه يقلل من سعر تكلفة إنتاج الماء (في حين أن عملية التبخر الومضي محددة الإنتاج مهما زادت عدد المراحل).

شرح عملية التبخر متعدد التأثير

يتم إنتاج الماء (بالتبخير والتكثف) في غرف التبخر في مجموعة من المراحل (تأثيرات) مستخدمة مبدأ خفض الضغط في كل تأثير عن ضغط التأثير السابق له . وهذا يسمح لماء البحر بالغليان وبالتبخير عدة مرات بدون إضافة طاقة حرارية خارجية بعد التأثير الأول . والشكل (١٨) يوضح نموذج لهذا النوع من الوحدات ويوضح وحدة ذات ثلاث تأثيرات بالإضافة إلى مكثف. في هذا النموذج الموضح يدخل ماء البحر (كماء تبريد cooling water) إلى المكثف عند نقطة (١) ويقوم بتكثيف بخار المكثف ويخرج منها عند النقطة (٢) . يطرد معظم ماء التبريد مرة ثانية إلى البحر عند نقطة (٣) بينما يستفاد من الجزء الباقي كماء تغذية للوحدة عند النقطة (٤) . يدخل ماء التغذية إلى التأثير الأول عند نقطة (٥) ، حيث يتم تسخينه بواسطة بخار خارجي من النقطة (٦) إلى النقطة (٧) . يتبخر جزء من هذا الماء ويصعد لأعلى النقطة (٨) ويستفاد منه كمصدر للحرارة للتأثير الثاني ، بينما يدخل الجزء المتبقي من ماء التغذية من التأثير الأول إلى التأثير الثاني عند النقطة (٩) وتتكرر العملية في التأثير الثاني والثالث)

وغيره إذا وجد أكثر من ذلك) ويخرج المحلول الملحي المتبقي عند النقطة (١٠) وفي كل تأثير ، يتكثف البخار المتولد في التأثير السابق ويخرج الجميع كمنتج للوحدة عند النقطة (١١) . ويلزم لهذه العملية أن يكون كل تأثير عند ضغط أقل من التأثير السابق له لذا لزم وجود منظومة تخلخل Vacuum System كما موضح عند النقطة (١٢) .

والشكل (١٩) يوضح نموذج آخر لوحدات التبخر متعدد التأثير من النوع الرأسى Vertical type أي أن كل تأثير أسفل السابق له. وفي هذا النموذج يدخل ماء البحر (كماء تبريد) من أسفل عند النقطة (١) إلى المكثف حيث يكثف البخار فيه ويطرد أغلب ماء التبريد (٢) باستثناء جزء بسيط (٣) يدخل من خلال مضخة ماء التغذية Feed Water Pump ، إلى التأثير الأول ، والذي يتم إما نثره على صورة رذاذ أو فيلم رقيق على أسطح أنابيب التسخين (٤) حيث تضاف له الطاقة الحرارية (بواسطة بخار ، أو أي مصدر حرارة خارجي) (٥) من داخل أنابيب التسخين لترفع من درجة حرارته إلى درجة الغليان Boiling temperature والتي عادة ما تكون حوالي ٧٠ م (ضغط حوالي ٠,٣ بار) . ويتبخر جزء من الماء في التأثير الأول (الغرفة الأولى) وما يتبقى من الماء يوجه إلى التأثير الثاني (الغرفة الثانية) (٦) حيث يتم نثره على أسطح أنابيب التسخين في التأثير الثاني. ويكون مصدر حرارة تبخر الماء في التأثير الثاني هو البخار المنتج من التأثير الأول (٧) (والذي يتكثف بعد أن يعطي حرارته إلى ماء التأثير الثاني ويجمع كجزء من الإنتاج) . ويتبخر جزء من الماء في التأثير الثاني والذي يكون مصدر الحرارة للتأثير الثالث وهكذا تتكرر العملية في التأثيرات التالية ، والتي يتم خفض الضغط بها أكثر من سابقتها. وفي كل مرة يتم ضخ ونثر الماء المتبقي من أي تأثير إلى التأثير التالي ويكون مصدر الحرارة هو تكثف البخار من التأثير السابق.

وتتراوح عدد التأثيرات (المراحل) في محطات التبخر متعدد التأثير بين ٣ - ١٦ . كما تتراوح إنتاجية كل وحدة بين ٢٠٠ إلى ٥٠٠٠ م^٣/اليوم . وعلى الرغم من أن محطات التبخر الومضي هي الأكثر شيوعاً في العالم خاصة للوحدات ذات الإنتاجية العالية إلا أن محطات التبخر متعدد التأثير بدأت تأخذ اهتمام أكثر نظراً لكفاءتها العالية .

استخدام تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في تطبيقات أخرى

تستخدم تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في تطبيقات أخرى فمعظم عمليات التركيز للمحاليل الغذائية المالحة أو السكرية وكذلك المحاليل الطبية والأدوية وغيرها تستخدم هذه التكنولوجيا لكنه في هذه الحالة يكون تركيز المحلول (وطرده بخار الماء) هو الهدف وليس تجميع البخار وتكثيفه واستخدامه كمنتج كما في حالة التخلية.

التقييم الفني والاقتصادي لتكنولوجيا التبخر متعدد التأثير

تتميز تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير بأنها أيضا بسيطة ومن أكثر التكنولوجيات قدماً من حيث استخدامها في عمليات التركيز للمواد الغذائية وغيرها. وقد بنيت وحدة تبخر ثلاثي التأثير في أوروبا منذ ١٢٠ عام). كما تمتاز بارتفاع معامل الأداء مع زيادة عدد المرحل (التأثيرات) بين ١٠ - ١٥ (يمكن حسابها تقريبا بضرب رقم ٠,٨ × عدد التأثيرات في الوحدة). وتتراوح الطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب حوالي ١٢ متر مكعب من البخار (طاقة حرارية) ، بالإضافة إلى ١,٨ ك و س (طاقة كهربائية) للمعدات المساعدة. كما تمتاز بإمكانية بناء وحدات بسعة إنتاجية حتى ٥٠٠٠ م^٣ في اليوم وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء في المليون . كما تمتاز بانخفاض أقصى درجة حرارة المحلول الملحي مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح انتقال الحرارة ، ويسمح كذلك باستخدام مواد رخيصة نسبياً لأسطح انتقال الحرارة مما يخفض السعر الابتدائي للوحدة ، ورفع معامل الإنتاجية Availability والتواجدية Reliability. والعمر الافتراضي للوحدة هو حوالي ٢٠ سنة . كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحرارية (كطاقة العادم الحرارية من محركات الديزل والتربينات الغازية وغيرها) . كما تمتاز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية ، فهي تستخدم لمياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح . كما لا تحتاج مهارات غير عادية للعاملين في التشغيل والصيانة ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها إلى كيماويات منع الترسب (نظراً لأن التبخر يتم على أسطح انتقال الحرارة) ، وكذلك أحماض التنظيف ولا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح عن حوالي ٧٠ م حتى نتجنب ترسب الأملاح.

ومن الناحية الإحصائية فتعتبر مشاركة تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في إغذاب مياه البحر جديدة نسبياً (نظراً لانبهار العالم بتكنولوجيا التبخر الومضي لمدة ٣٠ عاما). إلا أن تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير بدأت تأخذ اهتماماً أكبر في العقد الأخير خاصة في الوحدات الصغيرة ، وأيضا مع دخول

تكنولوجيا ضغط البخار معها إنتاج المياه . والشكلان (٨) ، (٩) يوضحان السعة الإنتاجية لمحطات إغذاب المياه في العالم وفيه يتضح أن تكنولوجيا متعدد التأثير تمثل فقط ٣,٦ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٤٠٠٠ متر مكعب في اليوم ، وتمثل ٤ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم وهذه النسب وإن كانت نسبة بسيطة حالياً إلا أنها في تزايد مستمر وبمعدل مرتفع خاصة في السنوات الأخيرة. والشكل (٢٠) يمثل السعة الإنتاجية لوحدات التبخر متعدد التأثير ME وضغط البخار VC (والتي سيتم شرحها لاحقاً) في دول العالم . ويتضح من الشكل أن دولاً عربية مثل الإمارات العربية والسعودية وليبيا واليمن والبحرين والجزائر وقطر ومصر ولبنان والكويت بها عدد من هذه الوحدات.

حسابات وحدة التبخر متعدد التأثير

الشكل (٢١) يوضح نموذج لوحدة تبخر ومتعدد التأثير ذات خمسة تأثيرات بالإضافة إلى المكثف. وحيث إن مصدر الحرارة (Q_{in}) ماء ساخن (من ٨٠م إلى ٧٠م) فإن درجة حرارة الغليان في المرحلة الأولى يجب أن تكون أقل بمقدار ٥ درجات مثلاً لتصل إلى ٦٥م (ضغط الغليان عند ٦٥م يساوي حوالي ٠,٢٥ بار).

وبفرض وجود خمس درجات فرق في كل مرحلة ، فإن درجات الغليان ستكون كما موضح بالشكل. كذلك يخرج البخار المتولد في كل مرحلة عند درجة التشبع ، ويفقد حرارته الكامنة (كمصدر حراري للتأثير التالي) ويخرج ماء مشبعاً عند نفس درجة الحرارة (فرضاً) كما هو مبين بالشكل (٢١ ح) وعلى سبيل المثال ، فالبخار المتولد في المرحلة الأولى يخرج عند ٦٥م إلى المرحلة الثانية حيث يخرج بخاراً مشبعاً عند ٦٥م أيضاً . من ناحية أخرى يدخل ماء التعويض عند درجة حرارة التشبع للمرحلة السابقة (باستثناء أول مرحلة حيث يدخل عند درجة حرارة ماء التبريد الخارج من المكثف). وبهذه الفروض يكن عمل التوازن الحراري للوحدة كاملة ، ثم لكل مرحلة كما يلي :

التوازن الحراري للوحدة كاملة :

نفرض أن كمية الحرارة الداخلة للوحدة (Q_{in}) تساوي ١٨٣ كيلوات. كذلك بفرض أن الوحدة تنتج ٢٠ طن / اليوم (٠,٢٣٢ كجم / ث) وان معدل صرف الرجيع (B / D) يساوي نفس كمية الإنتاج أي ٢٠ طن / اليوم (٠,٢٣٢ كجم / ث) . وعليه يكون ماء التعويض يساوي ٠,٤٦٤ كجم / ث .

$$\text{معدل دخول ماء التسخين} = \text{الحرارة الداخلة}$$

$$\text{الحرارة النوعية للماء} \times \text{فرق درجات الحرارة}$$

$$= ١٨٣ \text{ كجول / ث} \div ٤,١٨ \text{ كجول / كجم} \cdot \text{م}^{\circ} \times ١٠ \text{ م}^{\circ} = ٤,٢٧٧ \text{ كجم / ث}$$

يحسب معدل دخول ماء التبريد (Sea water) ك يعمل توازن للوحدة كاملة . والتوازن الحراري يعني أن

الطاقة الداخلة للوحدة = الطاقة الخارجة منها . ومن الشكل (٢١ ب) فإن :

$$\text{الطاقة الداخلة للوحدة} = Q_{in} + \text{الطاقة ماء التبريد الداخل}$$

الطاقة الخارجة من الوحدة = طاقة ماء التبريد الخارج (بعد سحب كمية من الماء للتعويض) + طاقة الماء

$$\text{المنتج (PW) + ماء المحلول المطرود (B/D)}$$

وبمساواة الطرفين فإن :

$$183 \text{ كجول / ث} + [\text{ك (كجم / ث)} \times 4,18 \times (\text{كجم} \cdot \text{م}^3 \times 30 \text{ م}]$$

$$= (\text{ك} - 0,464) \times 4,18 \times (\text{كجول / كجم} \cdot \text{م}^3) \times 40 \text{ (م)} + 0,232 \times (\text{كجم / ث}) \times 4,18 \times (\text{كجول / كجم} \cdot \text{م}^3)$$

$$\cdot (\text{م}^3 \cdot \text{م}) \times 45 \text{ (م)} + 0,232 \times (\text{كجم / ث}) \times 4,18 \times (\text{كجول / كجم} \cdot \text{م}^3) \times 45 \text{ (م)}$$

من هنا فإن معدل دخول ماء التبريد (ك) يساوي ٤,١٣ كجم/ث (٣٨٥,٢ طن / اليوم) .

التوازن الحراري لكل تأثير :

أ (التأثير الأول شكل (٢١ ح) :

$$\text{الطاقة الداخلة} = Q_{in} + \text{طاقة ماء التعويض} .$$

الطاقة الخارجة = طاقة البخار + طاقة خروج المحلول إلى التأثير الثاني .

وبمساواة الطرفين فإن :

$$183 \text{ كجول / ث} + (40 \times 4,18 \times 0,464) = (M_1 \times 2618 + (M_1 - 0,464) \times 4,18 \times 75)$$

من هنا فإن كمية البخار المتولدة في التأثير الأول = ٠,٠٥٧ كجم / ث (٤,٩٦ طن / اليوم) .

ب (التأثير الثاني شكل (٢١ ج) :

$$\text{الطاقة الداخلة} = \text{طاقة البخار عند (٦٥ م)} + \text{طاقة دخول المحلول عند (٦٥ م)}$$

الطاقة الخارجة = طاقة البخار المتولد عند (٦٠ م) + طاقة البخار المتكثف عند (٦٥ م) + طاقة خروج

المحلول عند (٦٠ م) .

$$M_1 \times 2618 + (M_1 - 0,464) \times 4,18 \times 65 =$$

$$M_2 \times 2610 + M_1 \times 276 + (M_2 - M_1 - 0,464) \times 4,18 \times 60 .$$

وبالتعويض عن (M_1) بقيمتها والتي تساوي ٠,٠٥٧ كجم/ث فإن كمية البخار المتولدة من التأثير الثاني

$$(M_2) تساوي ٠,٠٦ كجم/ث (٥,٢٢ طن / اليوم) .$$

وهكذا يكون الحال في التأثير الثالث والرابع والخامس وكذلك في المكثف. وعادة ما تكون هذه الحسابات الأولية ويلزم إعادتها لضبط ملوحة المحلول داخل المراحل وكذلك للحصول على الإنتاجية المطلوبة. ويتم عمل ذلك عن طريق بناء برنامج على الحاسب الآلي لتسهيل إعادة الحسابات بسرعة مناسبة.

التحملة بضغط البخار

تكنولوجيا التحملة بضغط البخار (Vapor compression)

تعتبر طريقة التحملة بضغط البخار إحد الطرق المستخدمة للوحدات المتوسطة نسبياً لإنتاج الماء (حتى ٥٠٠٠ م^٣ في اليوم) . وقد استخدمت هذه التكنولوجيا في أوروبا منذ عام ١٩١٠ ، واليابان منذ ١٩٢٠ وفيها يتم الاستفادة من حرارة البخار في المراحل الأخيرة بعد ضغطه كمصدر للحرارة بدلاً من استخدام بخار خارجي (من الغلايات) .

الشكل (٢٢) يوضح نموذج لوحدة تحملة أحادية المراحل (التأثير) حيث يدخل ماء البحر (التغذية) نقطة (١) إلى غرفة التبخر بعد تسخينه في مبادل حراري (مسخن ابتدائي Preheater) للاستفادة من حرارة الماء المنتج (PW) (وأحياناً لحرارة المحلول المطرود أيضاً) (B/D) فلو فرضنا أنه بدأ إنتاج البخار (باستخدام مسخن ابتدائي خارجي) فإن البخار الناتج من الوحدة ، نقطة (٢) يتم ضغطه (عن طريق ضاغط) إلى أن ترتفع درجة حرارته نقطة (٣) بحيث يكون هذا البخار الساخن هو مصدر الحرارة اللازم لتبخير جزء آخر من ماء التغذية. يمر البخار الساخن (بعد ضغطه) حول مجموع أنابيب الماء المالح ، نقطة (٤) ويتم تكثيف البخار حول الأنابيب ويستفاد من حرارة المتكثف (لغلي الماء المالح داخل الأنابيب وإنتاج كمية أخرى من البخار ، والذي بدوره يتم ضغطه لتعاد الدورة مرة أخرى. يخرج الماء المكثف من الوحدة كماء منتج حيث يمر على المسخن الابتدائي ويفقد جزء من حرارته (يبرد الماء) ويعطي هذه الحرارة إلى ماء التغذية المالح الداخل للوحدة للاستفادة منها. وللمحافظة على نسبة الملوحة داخل حيز الماء المالح ، يتم طرد كمية من هذا الماء للخارج (حيث يمر على المسخن الابتدائي ليستفاد من حرارته أيضاً) . والأشكال (٢٣) ، (٢٤) تبين نماذج أخرى من الوحدات التجارية المستخدمة لتكنولوجيات ضغط البخار.

ضغط البخار

تستعمل طريقتان لضغط البخار هما ضغط البخار الميكانيكي وضغط البخار الحراري :

أ) ضغط البخار الميكانيكي (Mechanical Vapor Compression MVC)

وفيه يستخدم ضغط ميكانيكي (يدار بمحرك كهربائي لضغط البخار . ومن ثم تكون القدرة الكهربائية لمحرك الضاغط هي المصدر الوحيد للطاقة لإدارة الوحدة . والأشكال (٢٢) إلى (٢٤) توضح

هذا النوع من الوحدات ، حيث يمكن أن يستخدم الضاغط أيضا لإحداث التخلخل داخل غرفة التبخر ، وسحب الغازات من الوحدة وطردها.

ب) ضغط البخار الحراري (Thermal Vapor Compression TVC)

وفيه يستخدم تدفق بخار دافع خارجي (عند ضغط مرتفع نسبيا) خلال بوق Ejector لإحداث التخلخل داخل الغرفة وسحب البخار المنتج من الغرفة من فتحة سحب البخار (Suction Pipe) وضغطه من فوهة توجه Nozzel ، ثم خروجه مع البخار الخارجي. والشكل (٢٥) يمثل نموذج لأبواق ضغط البخار وهي نفسها المسببة لإحداث التخلخل من خلال سحب البخار المتكون والغازات معها.

والشكل (٢٦) ، (٢٧) يمثلان نموذجان لوحداث حقيقية لضغط البخار الميكانيكي والحراري. والشكل (٢٨) يمثل نموذج لوحدة ضغط بخاري حراري عاملة بسعة ٢٥٠٠م^٣/يوم.

التقييم الفني والاقتصادي لتكنولوجيا ضغط البخار

تتميز تكنولوجيا التبخر بضغط البخار بأنها من أبسط وأكفأ التكنولوجيات الحرارية. وتمتاز بإمكانية بناء وحدات صغيرة ومتوسطة بسعتها الإنتاجية من ١٠٠ حتى ٥٠٠٠ م^٣ / اليوم وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء في المليون . ولا تحتاج إلى مياه تبريد كالتكنولوجيات الحرارية الأخرى لذا يمكن بناؤها بعيداً عن مصدر كبير للمياه (باستثناء ماء التغذية).

كما تتماز بانخفاض أقصى درجة حرارة للمحلول الملحي إلى قرب ٧٠م، مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح انتقال الحرارة، وكذلك يسمح بخفض درجات الحرارة باستخدام مواد رخيصة نسبياً مما يخفف السعر الابتدائي للوحدة ورفع معامل الإتاحة والتواجدية. والعمر الافتراضي للوحدة هو أيضاً حوالي ٢٠ سنة (باستثناء الضاغط الميكانيكي) كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحراري (كطاقة العادم الحرارية من محركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها لتوليد البخار اللازم لعملية الضغط الحراري) . كما تتماز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية ، فهي تستخدم لمياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح. كما لا تحتاج إلى مهارات غير عادية للعاملين بالتشغيل والصيانة . كما تتماز بإمكانية جمعها مع تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير. والشكل (٢٨) السابق يوضح وحدة ضغط بخار متعدد التأثير ومن ثم بارتفاع معامل الأداء مع زيادة عدد المراحل. وتحتاج هذه التكنولوجيا إلى الكهرباء فقط (إذا استخدم الضغط الميكانيكي) . من ناحية أخرى يزداد معدل البخار المستخدم كمصدر للتسخين ٢٥٠% (إذا استخدم الضغط الحراري) حيث يسحب كل كجم بخار حي (Live or Driving Steam) حوالي

كجم ونصف من بخار المراحل الأخيرة (Entrained System) ، والجميع يكونان بخار التسخين. كما تمتاز هذه الوحدات بسرعة بدء التشغيل والتوقف لقلة معدلات المياه المعاد إدارتها ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها إلى كيماويات منع الترسيب (نظرا لأن التبخر يتم على أسطح انتقال الحرارة) ، وكذلك أحماض التنظيف. كما لا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح عن ٧٠م حتى نتجنب ترسب الأملاح الصلبة الصعبة الإزالة.

والطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب من الماء من هذه التكنولوجيا حوالي ٧ - ٩ ك.و.س (طاقة كهربية) للضاغط وللمعدات المساعدة كما أن معامل الأداء يماثل تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير (إذا استخدم الضغط الحراري) بل يزيد بمعدل ٢٥٠٪ نظرا للاستفادة ببخار المراحل الأخيرة للوحدة. ومن الناحية الإحصائية فتعتبر مشاركة تكنولوجيا ضغط البخار في إغذاب مياه البحر صغيرة نسبياً ، إلا أنها بدأت تأخذ اهتماماً أكبر في العقد الأخير خاصة في الوحدات الصغيرة وأيضاً مع دخول تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير معها مع لإنتاج المياه . والشكلان (٨) ، (٩) يوضحان السعة الإنتاجية لمحطات إغذاب المياه في العالم وفيه يتضح أن تكنولوجيا ضغط البخار تمثل فقط حوالي ٢٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٣٥٠٠٠م^٣/اليوم ، وتمثل حوالي ٤٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم . ويمثل الشكل (٢٠) تواجد هذه الوحدات في دول العالم بما فيها الدول العربية.

حساب أساسيات تصميم وحدة تحلية بالتبخر الومضي مع ضغط البخار

الشكل (٢٩) يوضح نموذج لوحدات تحلية بالتبخر الومضي مشابهة للوحدة السابق تصميمها في شكل (١٣). والفرق بين الودعتين هو استخدام البخار للتوليد في المرحلتين الأخيرتين بعد ضغطهما كمصدر لطاقة الحرارة لمسخن المحلول الملحي. والشكل (٣٠) يمثل توزيع درجات الحرارة داخل المبادات الحرارية لنفس الوحدة بالشكل (٢٩) .

حالة بخار التسخين :

يخرج البخار من المرحلة الخامسة عند نقطة (a) ومن المرحلة السادسة عند النقطة (c) . ينخفض الضغط من (a) إلى (b) (مع ثبات الطاقة - الانتالبي) الى النقطة (b) يختلط البخار المحمص (b) مع البخار المشبع (c) ليتوسط إلى بخار بخار محمص (d) وهي نقطة الخروج للوحدة إلى الضاغط ، شكل (٣٠) ويكون ضغط (d) وهو الضغط المقابل لدرجة الحرارة ٤٠م^٣ (٠,٧٤ بار) وطاقته هي :

$$\text{طاقة البخار عند (d)} = [\text{الطاقة عند (b)} + \text{الطاقة عند (c)}] \div 2$$

$$= [2583 + 2574] \div 2 = 2578 \text{ كجول / كجم}$$

الجدول (٣) يوضح طاقة البخار عند النقاط المختلفة

نفرض أن الضغط الخارج من الضاغط هو أعلى قليلا من الضغط الجوي (لإمكانية خروج جزء من هذا البخار) للجو لما يحمله من غازات غير متكثفة للتخلص منها) وليكن الضغط الخارج هو ١,١ بار . كما نفرض أن كفاءة الضاغط ٦٥٪ لذا فيمكن الرمز لطاقة البخار الخارج من الضاغط بالرمز طاقة (٢)

جدول (٣) طاقة البخار عند النقط المختلفة للشكل (٢٩)

| النقطة | الطاقة (الانثالي) | النقطة | الطاقة (الانثالي) |
|--------|---------------------|--------|---------------------|
| a | ٢٥٨٣ | ٤ | ٤٢٩ |
| b | ٢٥٨٣ | ٥ | ١٢٥,٥ |
| c | ٢٥٧٤ | ٦ | ١٤٠ |
| d | ٢٥٧٨ | | |
| ٢ | ٣٤٧٣ | | |
| ٣ | | | |

كفاءة الضاغط =

[طاقة الضاغط عند (٢) - طاقة الضاغط عند (d)] ÷ [طاقة الضاغط عند (٢) - طاقة الضاغط عند (d)]

(طاقة الضاغط عند (٢)) هي على فرض أن الانضغاط اديباتيكي وباستخدام جداول البخار.

$$[٣١٦٠ - ٢٥٧٨,٥] ÷ [٢٥٧٨,٥ - (٢)] = ٠,٦٥$$

إذا الطاقة عند (٢) = ٣٤٣٧ كجول / كجم

الطاقة المطلوبة من الضاغط = طاقة (٢) - طاقة (d)

$$= ٣٤٣٧ - ٢٥٧٨,٥ = ٨٩٠ كجول / كجم$$

وعلى فرض أن كل مرحلة من مراحل الوحدة تنتج نفس كمية البخار (للتبسيط) فإن إنتاج كل مرحله

=

$$\text{سدس } ٢٠ \times \text{طن / اليوم} = (٦ \div ٢٠) \text{طن / اليوم} = ٠,٣٨٦ \text{كجم / ثانية}$$

قدرة الضاغط = $(0,0386 \times 2)$ كجم / ث $\times 894,5$ كجول / كجم = 69 كيلووات .

التوازن الحراري لمزيل تحميص بخار التسخين :

يخرج البخار من الضاغط عند درجة حرارة مرتفعة قد تصل إلى 30°C . لذا يلزم إزالة تحميص البخار ليصل إلى درجة التشبع عند $1,1$ بار وهي حوالي 102 درجة مئوية . ويعمل توازن حراري بين الداخل والخارج لمزيل التحميص :

كمية البخار المحمص الداخل \times طاقته (٢) + كمية ماء إزالة التحميص \times طاقته =
(كمية البخار + كمية الماء) \times طاقة الخروج (٣)

$$2680 \times (M \text{ d/s} + 0,0772) = (429 \times M \text{ d/s} + (3473 \times 0,0772))$$

$$= \text{كمية ماء إزالة التحميص } (M \text{ d/s})$$

$$[(2680 - 3473) \times 0,0772] \div [429 - 2680] = 0,2719 \text{ كجم/ث} = 2,35 \text{ طن/اليوم}$$

التوازن الحراري للمسخن الأولي (من الملح المطرود)

كتلة ماء التغذية \times فرق درجات الحرارة = كتلة الماء المطرود \times فرق درجات الحرارة
وبفرض أن كتلة الماء المطرود = كتلة الماء المنتج = 20 طن/اليوم أي أن كتلة ماء التغذية = $2 \times$ كتلة الماء المنتج = 40 طن/اليوم وبفرض أن الماء المطرود تنخفض درجة حرارته بين 40°C إلى 35°C (5 درجات) فإن ماء التغذية ترتفع درجة حرارته $2,5^\circ\text{C}$ أي يدخل 30°C ويخرج $2,5^\circ\text{C}$.

كمية الحرارة = 20 طن/اليوم $(0,23 \text{ كجم/ث}) \times 4,18 \text{ كجول/كجم} \times 5^\circ\text{C} = 4,83 \text{ كيلوات}$

$$\text{المساحة السطحية} = [4,83 \text{ (كيلوات)}] \div [0,5 \text{ (كيلوات/م}^2\text{)} \times 1,25 \text{ م}] = 7,72 \text{ م}^2$$

وبفرض الطول للأنايب = 1 م

$$\text{عدد الأنايب } 1,55 \text{ م} = [1 \times 3,14 \times 0,128] \div 75 \text{ أنبوب}$$

عمل توازن حراري للمسخن الأولي (من ماء المنتج) شكل (٤ - ٣١)

بتوازن المسخن الأعلى :

$$20 \div (30 - 102) \times 40 = (35 - 102) \times 1 = 67 \text{ م}^2$$

بتوازن السخان الأسفل :

$$40 \times (35 - 32,5) = (30 \div 20) \times (1 - 27) + (3 - 50) \times (2 - 50)$$

$$120 \times 2,5 = 20 \times (72 - 2) + 40 \times (50 - 2)$$

$$\begin{aligned} 60 &= 1440 - 2000 + 2000 - 2000 \\ 60 &= 3000 - 2000 + 1440 = 3140 \\ 2000 &= 52,3 \text{ م} \end{aligned}$$

كمية الحرارة للسخانين معاً = ٤٠ طن / اليوم × ٤,١٨ × (٣٢,٥ - ٤٠) = ١٤,٥ كيلوات
المساحة السطحية لأنابيب السخانين = (٢٣,٧٥ × ٠,٥) ÷ ١٤,٥ = ٢م١,٢

حساب كمية الماء لإعادة الدوران

في منطقة استعادة الحرارة فإن الماء المعاد في دورانه MR يلزم أن يكثف كمية البخار المتولد في كل مرحلة وعلى سبيل المثال في المرحلة الثالثة (المتوسطة) فإن :

كمية الماء × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة = كمية البخار المنتج × الحرارة الكامنة MR طن /
اليوم × ٤,١٨ كجول / كجم × م° × ١٥ = ٦٠ / ٢٠ (طن / اليوم) × ٢٣٧٠ (كجول / كجم) = MR
٣٧٨ طن / اليوم

$$\text{نسبة إعادة الدوران} = 20 \div 238 = 18,8$$

حسابات المساحة السطحية لمسخن المحلول الملحي :

كمية الحرارة = معدل سريان المحلول الملحي × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة

$$378 \text{ طن} / \text{اليوم} \times 4,18 = 10 \times 182,9 \text{ كيلوات}$$

$$\text{المساحة السطحية} = 182,9 \text{ كجول/ث} \div 2 \times [2 \div (42 + 32)] = 22,47 \text{ م}^2$$

وبفرض طول المبادل ٢م

$$\text{عدد الأنابيب} = 22,47 \div [3,14 \times 0,012875 \times 2] = 30,5 \text{ أنبوب}$$

ويأخذ نسبة أمان حوالي ٢٥٪ يكون عدد الأنابيب حوالي ٤٠ أنبوب

المساحة السطحية لمكثف غرف التبخر :

كمية الحرارة = نصف كمية مسخن المحلول الملحي = ٩١,٤٥ كيلوات

المساحة السطحية = نصف المساحة لمسخن المحلول الملحي = ١,٤٧ م^٢

ونفرض أن طول الانبوب = ١ م

عدد الانابيب = ٤٠ انبوب (بالزيادة ٢٥ % أمان)

المقارنة بين تكنولوجيات التخلية الحرارية الثلاثة السابقة

الجدولان (٤) ، (٥) يبينان مقارنة بين تكنولوجيات التخلية التجارية الحرارية الثلاثة (بالإضافة

إلى الناضح العكسي والمنافس الأساسي للتكنولوجيا الحرارية والذي سيتم شرحه فيما بعد) وهي :

أ (تكنولوجيا التخلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل (MSF)

ب) تكنولوجيا التخلية بالتبخير متعدد التأثير (ME)

ج) تكنولوجيا التخلية بضغط البخار (VC)

د) التناضح العكسي (RO)

جدول (٤) مقارنة المميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

| المميزات | التكنولوجيا |
|--|---|
| <p>١ / مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^٣</p> <p>٢ / الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣ / التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية</p> <p>٤ / يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى مائة ألف متر^٣ / اليوم حالياً (٦٠٠٠٠ م^٣ / اليوم)</p> <p>٥ / التبخر بعيد عن سطح انتقال الحرارة</p> <p>٦ / التكنولوجيا بسيطة</p> | <p>التبخر الوميضي</p> <p>متعدد المراحل</p> <p>MSF</p> |
| <p>١ / مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^٣</p> <p>٢ / الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣ / التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية</p> <p>٤ / انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى</p> <p>أ) خفض نسبة تكوين الرواسب والتآكل</p> <p>ب) رفع قيمة الاتاحة والتواجدية</p> <p>ت) استخدام مواد رخيصة الثمن</p> | <p>التبخر متعدد التأثير</p> <p>ME</p> |

| | |
|---|-----------------------------------|
| <p>١/ يحتاج فقط للطاقة الكهربائية MVC</p> <p>٢/ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣/ لا تحتاج تبريد لذا يمكن بناؤها بعيد عن مصدر كبير للماء</p> <p>٤/ من أبسط وأكفأ التكنولوجيات</p> <p>٥/ انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى :</p> <p>أ) خفض نسبة تكوين الرواسب والتآكل .</p> <p>ب) رفع قيمة الإتاحة التواجدية</p> <p>ج) استخدام مواد رخيصة الثمن</p> | <p>ضغط البخار VC</p> |
| <p>١/ لا يحتاج ماء التغذية إلى تسخين لذا يقلل من التآكل والترسبات .</p> <p>٢/ ملوحة الماء المنتج من ٣٠٠ - ٥٠٠ وهي مناسبة لماء الشرب .</p> <p>٣/ مرونة سعة الوحدات (من ١٠٠ ل إلى ١٠٠٠٠٠ م٣ / اليوم) حسب حجم وعدد الأغشية المستخدمة</p> <p>٤/ تحتاج فقط إلى طاقة كهربائية كما يمكن استعادة من ٢٥ - ٣٠% من الطاقة.</p> | <p>التناضح العكسي</p> <p>R.O.</p> |

جدول (٥) مواصفات الأداء الأساسية لوحدات التحلية التجارية :

| الناضح العكسي | ضغط البخار | متعدد التأثير | التبخير الوميضي | العنصر |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| ١٠٠٠ (٢) | ٥٠٠٠ (١,٣) | ٢٤٠٠٠ (٤,٥) | ٧٠ ألف (١٤) | أقصى سعة للوحدة (م٣ / اليوم) مليون جالون / اليوم |
| لا يوجد | لا يوجد | ١٥ - ١٠ | ١٠ - ٧ | معامل الأداء (كجم منتج / كجم بخار) |
| لا يوجد | لا يوجد | ١٢ | ٨ | معدل استهلاك البخار (م٣ بخار / م٣ ماء منتج |
| ٤ (ماء آبار) ٨ (ماء بحر) | ٩ - ٧ | ١,٨ | ٤ | معدل استهلاك الكهرباء (ك و س) / م٣ ماء منتج |
| - ٨٠٠) (٢٤٠٠) ٩ - ٣ | - ١٥٠٠) ٣٠٠٠ ١٢ - ٦ | (٢٠٠ - ٥٠٠) ٨ - ٢ | - ١٠٠٠) (٣٠٠٠) ١٢ - ٤ | سعر الوحدة (دولار لكل م٣ / اليوم) (دولار لكل جالون / اليوم) (|
| ١,٢٥ - ٠,٧٥ | ١ - ٠,٥ | ١ - ٠,٥ | ١,٥ - ٠,٥ | سعر إنتاج م٣ من الماء دولار / م٣ |
| ٢٥,٧ | ٢ | ٣,٦ | ٦٤ | نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من ٤٠٠٠ م٣ / اليوم (%) |

| | | | | |
|------|-----|---|------|---|
| ٣٥,٩ | ٣,٩ | ٤ | ٤٨,١ | نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من ١٠٠م ^٣ /اليوم (%) |
|------|-----|---|------|---|

والشكل (٣٢) يوضح مقارنة إحصائية بين عدد وحدات تكنولوجيات التحتية المختلفة على مستوى العالم والتي تضح منه تقدم تكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل وعدم منافسة كل من تبخر متعدد التأثير أو ضغط البخار .

الجمع بين هذه الطرق الحرارية المختلفة

هناك محطات تحتية متعددة التأثير تستخدم ضغط البخار كمصدر حرارة لتسخين الماء المالح . كما أن هناك محطات صغيرة تجمع بين طريقة التبخر الومضي متعدد المراحل والتبخر متعدد التأثير لذا يمكن الجمع بين طريقتين أو أكثر من هذه الطرق الثلاث . والشكلان (٢٦) ، (٢٧) يوضحان نموذجين لوحدات تحتية عاملة تجمع بين طريقتي ضغط البخار والتبخر متعدد التأثير (والوحدة ذات تأثيرات ثلاثية) والشكل (٢٨) يوضح نموذج آخر لوحد تبخر متعدد المراحل مع ضغط البخار حرارياً وبسعة ٢٥٠٠ م^٣ / اليوم . لكن الفيصل في استخدام هذا الجمع هو هل هناك فائدة تعوض تعقيدات تركيب تكنولوجيات مختلفة أم لا وما زال العلماء وخبراء التحتية في عمل مستمر سواء للاستفادة من مميزات كل تكنولوجيا معروفة أو استتباط طرق أخرى .

إمكانية الاستفادة من حرارة العادم للمحركات لإنتاج الماء بالتحتية

تعتبر تكنولوجيا استعادة حرارة العادم لمحركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها من التطبيقات الهامة حيث توفر طاقة حرارية مجانية (تمثل حوالي ١٠٠ ٪ أو أكثر من طاقة إنتاج المحرك نفسه) ويمكن الاستفادة من هذه الطاقة لتوليد بخار عند ضغوط منخفضة أو متوسطة أو تسخين الماء لاستخدامه كمصدر طاقة حرارية لتحتية المياه بالطرق الحرارية المختلفة. كما توجد فعلا وحدات تحتية بالسفن والمراكب لإنتاج الماء اللازم للرحلات الطويلة باستخدام ماء تبريد المحرك كمصدر للطاقة لوحدات التحتية والشكل (٣٤) يوضح نموذج لهذا النوع من الوحدات والتي تستخدم نظم تبريد محركات الديزل كمصدر حراري والجدول (٦) يبين مواصفات هذا النوع من الوحدات.

جدول (٦) مواصفات وحدة استعادة حرارة العادم

| المواصفات | حدود القيم |
|---|------------|
| السعة الإنتاجية (جالون / ساعة) | ٦٠٠ - ١٠٠ |
| الحرارة المطلوبة (مليون وحدة بريطانية / الساعة) | ٥,٥ - ٠,٩ |
| درجة الحرارة المطلوبة (فهرنهايت) | ١٩٥ - ١٦٥ |
| معدل ماء التبريد للوحدة (جالون / دقيقة) | ٣٤٠ - ٥ |
| درجة الحرارة لماء التبريد للوحدة (فهرنهايت) | ٩٥ - ٣٠ |
| معدل التغذية للمبخر (جالون / دقيقة) | ٢٠ - ٣,٣ |
| قدرة محركات الديزل المستخدمة (حصان) | ٢٢٠٠ - ٣٦٥ |
| الطاقة الكهربائية المفقودة (ك و) | ٣,٧ - ١,٥ |

طرق تخلية حرارية أخرى

تم استخدام عمليات أخرى لتخلية المياه المالحة غير أن هذه العمليات لم تصل إلى مستوى النجاح التجاري المنافس الذي وصل إليه التخلية الحرارية السابقة ولكن ربما قد تبرهن على فائدتها تحت ظروف خاصة أو مع التطور المستقبلي وأبرز هذه العمليات هي التجميد والتبخير الشمسي والتقطير بالأغشية .

تخلية المياه المالحة بالتجميد

من المعروف أن عملية التجميد بالتبريد Freezing مثلها مثل عملية التبخير (التسخين) فإن كلا العمليتين يفصل الماء العذب عن الماء المالح بتغيير الطور من سائل إلى صلب أو من سائل إلى غاز أو بخار وكلا العمليتين ينتج الماء (من بلورات ثلجية أو بخار الماء) خالي تماماً من الأملاح اللهم ما يتعلق بها من قطرات الماء المالح والتي يمكن فصلها فيما بعد وعليه يمكن تخلية المياه المالحة بتبريد الماء ليكون بلورات ثلج وفصل بلورات الثلج وغسل المزيج لفصل الماء المالح العالق ببلورات الثلج وبعد ذلك يذوب الثلج للحصول على الماء العذب والجدير بالذكر بأن البلورات المتكونة تحتوي عادة على ماء مالح داخلها إذا تجمدت القشرة الخارجية أولاً (الشكل ٤ - ٣٥) لذا يجب كسر جرش هذه البلورات وفصلها عن الماء والمالح ثم غسلها قبل إذابتها للحصول على الماء العذب.

ولقد بذل مجهود عظيم لتطوير تقنية التخلية بالتجميد إلا أنها لم تصل المنافسة التجارية مثل الطرق المعروفة .

والشكل ٣٦ يبين نموذج لعملية تخلية بالتجميد حيث يدخل ماء البحر عند نقطة (١) من خلال طارد الهواء Deaerator ويتم يبرد جزئياً في مبادل حراري (يستفيد من برودة المحلول المطرود) إلى نقطة (٢) يدخل الماء المالح بعد ذلك إلى وحدة تبريد Refrigeration unit لخفض درجة حرارته إلى قرب التجمد نقطة (٣) يدخل الماء البارد في غرفة تجمد ضغطها منخفض (أقل من ضغط البخار عند درجة حرارة الماء البارد) فيتبخر جزء من الماء البارد نقطة (٤) ويسحب البخار حرارة تبخره من الماء البارد الذي يتجمد جزئياً على صورة بلورات نقطة (٥) يدفع خليط الماء البلورات إلى غرفة الفصل الميكانيكي نقطة (٦) حيث تفصل البلورات لأعلى غرفة الفصل وتغسل لإزالة العوالق المالحة وتدفع إلى أعلى غرفة التجمد ويتم صهر البلورات بعد دفعها إلى غرفة التجميد نقطة (٧) حيث يتم امتصاصها لحرارة البخار الصاعد إلى أعلى غرفة التجمد والذي يتكثف ويكون مع البلورات الذائبة الماء العذب المنتج نقطة (٨ ، ٩) ويطرد جزء من المحلول المالح (للمحافظة على تركيز ملوحة ثابت بالوحدة) بعد أن يمر على المبادل الحراري للاستفادة من برودته (١٠)

ومن الناحية النظرية فإن للتجميد بعض مميزات على التقطير (بالتبخير والتكثيف) وتشمل هذه المميزات قلة الطاقة المطلوبة الطاقة اللازمة أقل كثيراً من الطاقة اللازمة للتبخير) كذلك ضآلة احتمال التآكل وتقليل القشور أ و الترسيب بانخفاض درجات الحرارة ومن مساوئها أن طريقة فصل خليط الماء والثلج ميكانيكية وصعبة. وقد أنشئ عدد قليل من المحطات خلال الـ ٤٠ سنة الماضية غير أن العلمية لم تحرز نجاحاً تجارياً في توفير الماء للأغراض التجارية وبنيت محطة تحلية تجريبية بالتجميد في المملكة العربية السعودية في الثمانينات وقد تم إنهاء التجربة وتفكيك المحطة لصعوبة صيانتها.

تكنولوجيات التحلية بالمقطرات الشمسية

تمثل التحلية بالمقطرات الشمسية عملية محاكاة الدورة المائية الطبيعية حيث يتم تسخين الماء المالح بأشعة الشمس (لإنتاج بخار الماء بالترطيب) ويتم بعد ذلك تكثيف البخار على سطح بارد ، ويتم تجميع الماء المكثف كماء منتج. ويوضح الشكل (٣٧) نموذج للمقطرات الشمسية البسيطة ، حيث يتم تسخين الماء المالح في إناء على القاعدة الأرضية للمقطر بالطاقة الشمسية ، ويتبخر جزء من الماء ، ويتكثف البخار على سقف البيت الزجاجي المنحدر والذي يغطي الإناء ليمثل الماء المنتج. وقد استخدمت الطاقة الشمسية المباشرة لتحلية المياه المالحة خلال الحرب العالمية الثانية ، حيث بذل مجهود كبير لتصنيع وحدات تقطير شمسية صغيرة لاستخدامها في اطواق النجاة للجنود. وقد استمر هذا العمل بعد نهاية الحرب العالمية الثانية بمختلف الوسائل والاختبارات. وقد تم القيام بمجهودات مكثفة لزيادة كفاءة

وإنتاجية وحدات التقطير. التقطير الغشائي Membrane Distillation

كما يشير الاسم ، تشمل العملية كل من استخدام عملية التقطير (التبخر والتكثف) من خلال الأغشية وتتضمن العملية ، شكل (٣٨) تسخين المياه المالحة لإنتاج البخار الذي يمر (أثناء تواجده بين جزيئات الماء وسطح الغشاء) عبر غشاء شبه نفاذ (يسمح بمرور البخار دون مرور جزيئات الماء) وبعد عبور البخار للغشاء فإن يتكثف على السطح الآخر للغشاء ، لتجميع الماء العذب المنتج ولا يستطيع الماء بعد تكثيفه أن يمر عبر الغشاء مرة أخرى حيث إن طبيعة الغشاء شبه نفاذة (أي ينفذ عنصر دون آخر) ولذلك يتم حصره وتجميعه كإنتاج للمحطة. ومقارنة مع العمليات الناجحة تجارياً فإن العلمية تقنية التقطير الغشائي تحتاج إلى فراغ أوسع وربما مقدار أكبر من الطاقة لضخ كل وحدة منتجة (كيلوات / م ٣) ولذلك فإن استخدام هذه العملية كان وما زال في نطاق تجريبي ضيق. وحيث إنها عملية تقطير بالضرورة فإنها تخضع لذات عوامل الأداء المتعلقة بعملية التقطير .

والميزة الرئيسية لعلمية التقطير الغشائي تكمن في بساطتها والفارق الحراري البسيط لتشغيلها. وأفضل تطبيق لهذه العملية في تحلية المياه المالحة يتجلى في توفير طاقة حرارية ذات درجة حرارة متدنية

وقليلة التكلفة مثل التي يمكن التي الحصول عليها من العادم الحراري للمصانع أو من مجمعات الطاقة الشمسية ، والأشكال من (٣٩) إلى (٤١) ، توضح نموذج لعملية التقطير الغشائي.

تكنولوجيا التوليد المشترك (توليد الكهرباء وإنتاج الماء)

يمكن استخدام مصدر الطاقة الداخلة في بعض المواقع (طاقة احتراق الوقود) للحصول على أكثر من صورة من الطاقة المفيدة (كالطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية) ويسمى هذا بالتوليد المشترك Co-generation بمعنى أن مصدراً متفرداً للطاقة يقوم بإنتاج نوعين من صور الطاقات المفيدة للاستخدام. وهناك بعض عمليات التخلية وخاصة التقطير (الطرق الحرارية) يمكن إنشاؤها للاستفادة من ميزات التوليد المشترك . وقد تم بناء هذه الوحدات كجزء من مرافق لإنتاج كل من الكهرباء ومياه البحر المحلاة في كثير من دول الخليج العربي وشمال أفريقيا ، حيث اهتمت هذه الدول بإنشاء بنياتها الأساسية وحاجتها لكل من الماء والكهرباء وقد كان هذا النوع من مرافق التوليد المشترك يناسب برامج التطوير في هذا الأقطار. وهذا النوع من مرافق إنتاج الماء والكهرباء يسمى عموماً بمحطة مزدوجة الغرض في حالة التوليد المشترك والشكل (٤٢) يوضح الاستفادة من الطاقة في حالة التوليد المشترك وتنتج هذه الوحدات الكهرباء بواسطة بخار ذي ضغط عالٍ لتحريك التوربينات التي بدورها تولد الكهرباء. وعندما يتمدد هذا البخار في التوربين فسوف ينخفض مستوى درجة حرارته وضغطه وتحتاج محطات التخلية إلى بخار بدرجة حرارة منخفضة ١٢٠ م أو أقل ، وهذا يمكن تحقيقه عن طريق البخار ذي الضغط ودرجة الحرارة المنخفضين عند مؤخرة التوربين (حيث استخدمت معظم طاقته العالية لتوليد الكهرباء) .

ويمكن تمرير هذا البخار عبر السخان الملحي لمحطة التخلية Brine Heater حيث يتكثف على سطوح الأنابيب مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة مياه البحر فيها . ويعاد الماء المكثف إلى الغلاية لتسخينه ثم يوجه إلى التوربين مرة ثانية وهكذا . والشكل (٤٣) شكل عام لنظم المحطات المشتركة للكهرباء والماء . وفيها يكون عناصر الدخل للمحطة هي كل من الوقود وماء البحر ، في حين يكون عناصر الخروج هي الكهرباء والماء المنتج (العذب). وتوجد في المحطة نظم خاصة لتوليد الكهرباء (محطة توليد كهربائي) ، ونظم خاصة لتخلية المياه (محطة تخلية) بالإضافة إلى نظم مشتركة Common system تخدم المحطتين معاً ضمن النظم المساعدة Auxillary System.

ومن مميزات التوليد المشترك تخفيض استهلاك الوقود مقارنة مع استهلاك الوقود لمحطتين منفصلتين إحداهما لإنتاج الكهرباء وأخرى لتخلية المياه المالحة. وحيث إن الطاقة هي عنصر هام في تكلفة تشغيل

أي محطة تحتية فإن هذه تعتبر فائدة اقتصادية هامة. ومن بين مساوئ التوليد المشترك أن الوحدات لا بد من أن ترتبطان سويا (من حيث نظم التحكم والتشغيل).

تحتية التحتية بالأغشية والطرق الأخرى : Membrane and Other Desalination Technologies

تعتمد تقنيات تحتية المياه بالأغشية على وجود قوة دافعة للماء أو الملح للانتقال عبر غشاء شبه نفاذ يسمح بمرور إحدى المكونات مع ترك العنصر الآخر (الماء فقط أو الأملاح فقط).

وتتقسم تقنيات التحتية (التجارية) بالأغشية إلى عدة طرق أهمها طريقتي التناضح العكسي (Reverse Osmosis :RO) و الديليزة الكهربائية (Electro -dialysis ED or EDR). وتظهر كلتا

الطريقتين القدرة على فصل الملح عن الماء بكفاءة. وتستخدم الأغشية بطريقة مغايرة في كلتا الحالتين. ففي حالة التناضح العكسي، يستخدم الضغط كقوة دافعة لعملية فصل الماء عن الملح من خلال الغشاء بحيث يمر الماء العذب من خلال الغشاء، تاركا خلفه الأملاح (المحلول الملحي).

أما في حالة الديليزة الكهربائية، فيستخدم الجهد الكهربائي كقوة دافعة لتحريك و جذب الأملاح من خلال الغشاء إلى وجه الأقطاب الكهربائية بحيث يترك الماء العذب كماء منتج.

وقد تم تطوير كلتا الطريقتين منذ بداية القرن الحالي غير أنهما لم يستثمرا تجاريا إلا خلال الثلاثين سنة الماضية. وتعتبر عمليتا التناضح العكسي و الديليزة الكهربائية حديثة بالمقارنة مع الطرق الحرارية، حيث تم تقديمهما تجاريا خلال السبعينات.

التناضح العكسي (Reverse Osmosis R.O)

١,١: معنى التناضح العكسي

تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً مهماً في فصل الأملاح. و لها تطبيقاتها في جسم الإنسان و الحيوان و النبات. فأغلب عملية امتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان و النبات تستفيد من عملية التناضح (Osmosis). ومن الأمثلة لطريقة لعملية التناضح هي عمل تجويف في إحدى ثمرات البطاطس ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف. سنجد امتلاء التجويف بالماء المالح أي أن الماء العذب انتقل من خلال أغشية خلايا ثمرة البطاطس إلى الملح (أي من الجهة الأقل تركيزاً بالملوحة إلى الملح الأكثر تركيزاً بالملوحة).، وهذه هي عملية التناضح.

وتعرف عملية التناضح العكسي (Reverse Osmotic Process) بأنها عملية انتقال عكسي للماء العذب من المحلول الأكثر تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً (إذا فصل المحلولان بغشاء شبه نفاذ). و الغشاء شبه نفاذ (Semi permeable)، هو الذي يسمح بنفاذ أو مرور عنصر دون آخر، أي مثلاً يسمح مثلاً بمرور الماء دون السماح للملح بالمرور أو العكس.

٢,١- عملية التناضح العكسي

على الرغم أن العملية الأسموزية كانت معروفة للكثير من منذ أكثر من قرن، فإن تقنية استخدام الأغشية لمعالجة المياه تعتبر حديثة. وكان أول إعلان لاستخدام التناضح العكسي هو براءة اختراع بنفس الاسم لإزالة عسرة الماء (Softening) باستخدام أغشية فيروسيانيد على مثبتات مسامية من البورسلين. و في سنة ١٩٥٢ أنتج في جامعة فلوريدا أغشية من أسيتات السيليلوز لتحلية المياه بالتناضح العكسي. و كان من عيوب الغشاء المستخدم ضعف معدل الإنتاج للماء العذب لسلك الغشاء (وكان هذا تقريبا وقت ظهور تقنية الديليزة أو الفرز الكهربائي). و في الخمسينيات تم تطوير الأغشية لزيادة معدل مرور الماء مع ارتفاع معدل طرد الملح. وتم في الستينيات إنتاج أغشية مثل الملفوفة حلزونياً (Spiral Wounded) أو على صورة أنابيب و غيرها ثم ظهرت في السبعينيات أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة (Hollow Fine Fibers) من البولييميد مع استقرار إنتاج أغشية أسيتات السيليلوز. و قد كان تطوير الأغشية لاستخدامها لإزالة ملوحة المياه قليلة الملوحة أما الآن (ومنذ نهاية السبعينيات) فقد تم تطوير الأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة كميها بحر.

١, ٣- شرح عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي

إذا وضعنا محلول ماء ملحي في جانب لغشاء شبه نفاذ و الجانب الآخر ماء عذب، فمن المعروف طبيعياً أن ينتقل (ينفذ) الماء العذب (الأقل تركيزاً) إلى المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً)، وذلك لإحداث التوازن أو التعادل في عملية التركيز. وهذه تعرف بعملية التناضح (Osmosis Process). ويستمر نفاذ الماء العذب في هذا الإتجاه و عليه يرتفع عمود المحلول الملحي لأعلى نتيجة زيادة كمية الماء بالمحلول باستمرار نفاذ الماء العذب - الشكل (١) -.

وبارتفاع عمود الماء يرتفع الضغط بجانب المحلول الملحي و تزداد لذلك مقاومة نفاذ و مرور الماء العذب حتى يصل ارتفاع الضغط إلى قيمة تمنع من نفاذ الماء العذب تماماً. عند هذا الضغط يحدث التوازن و يسمى هذا الضغط بالضغط الأسموزي (Osmotic Pressure). و قد اكتشف العلماء أنه يمكن عكس هذه العملية أي أنه إذا أثرنا على المحلول الملحي بضغط أعلى من الضغط الأسموزي فسينتقل الماء العذب من المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) في الاتجاه العكسي و ينفذ إلى جهة الماء العذب (الأقل تركيزاً). و تعرف هذه العملية بعملية التناضح العكسي و التي يمكن بها الحصول على الماء العذب من الماء المالح. و من ثم فعملية التناضح العكسي (Reverse Osmosis) هي عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء نفاذ و ذلك بضغط المحلول الملحي بضغط أعلى من الضغط الأسموزي. و لا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل بل يلزم أن يوضع المحلول الملحي (الماء المالح) تحت ضغط أعلى من الضغط الأسموزي (Osmotic Pressure) لكي تتم عملية التناضح العكسي (شكل (١)).

وتعتمد قيمة الضغط الأسموزي على عوامل عدة منها تركيز الملوحة للماء المالح (Total Dissolved Solids: TDS) وعلى نوعية الأملاح الذائبة و على درجة الحرارة. ويتراوح الضغط الأسموزي لعنصر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) و الذي يمثل ٦٠ ٪ في الماء المالح بين ١ - ١,١ رطل/البوصة المربعة (أي حوالي ٠,٠٧ بار) لكل مائة جزء في المليون من الملح الذائب (أو واحد بار لكل ١٤٣٠ جزء في المليون) - شكل (٢).

فمثلاً لماء بئر ملوحته ٥٠٠٠ جزء في المليون فإن الضغط الأسموزي له يساوي تقريباً ٠,٠١٠٠٠٠ رطل/البوصة المربعة (حوالي ٣,٤ بار)، و ماء بحر ملوحته ٣٢٠٠٠ جزء في المليون فإن الضغط الأسموزي له حوالي ٣٢٠ رطل/البوصة المربعة (حوالي ٢٢ بار) إلا أنه يجب ملاحظة أن الضغط الحقيقي اللازم لعملية التناضح العكسي عادة ما يكون أكبر كثيراً من هذه الأرقام و ذلك لإضافة الضغوط اللازمة للآتي:

الفقد في الضغط اللازم لسريان ماء التغذية خلال مجمع الأغشية و الأنابيب و الصمامات و غيرها ،
الزيادة في ملوحة الماء أثناء مروره بالأغشية نتيجة استخلاص الماء العذب منه ،
الضغط الاستاتيكي لرفع الماء لخزانات الماء المنتج ، أو خزانات ماء الطرد ،
إحتمالات الانسداد الجزئي للأغشية مع الزمن نتيجة ترسب العوالق و الأملاح و المكونات
العضوية ، الخ.

ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية المالحة (Saline Feed Water) في وعاء ضغط
مغلق (Pressure Vessel) حيث يضغط الماء المالح ويدفع خلال مجموعة من
الأغشية (Membranes) ، و عندما يمر جزء من الماء العذب عبر الغشاء تزداد ملوحة الماء المالح
المتبقي (Brine). و عليه فإن جزءاً من مياه التغذية الأكثر ملوحة يتم التخلص منه. و بدون هذا التخلص
فإن الازدياد المطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة مثل زيادة الترسبات و زيادة
الضغط عبر الأغشية (لزيادة الضغط الأسموزي مع زيادة الملوحة). و تتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه
الطريقة ما بين ٢٠ إلى ٧٠٪ من مياه التغذية اعتماداً على كمية الأملاح الموجودة في مياه التغذية و يسمى
هذا المحلول بالمطرود (Reject). أما الماء العذب و الذي نفذ من الأغشية فيكون الماء المنتج (Permeate
or Water Product) - شكل (٣) - .

وتحتاج هذه التقنية لعمليات معالجة أولية دقيقة لماء التغذية (لإزالة المواد العالقة من الطمي أو
الرمال و غيرها) ، و كذلك إزالة وقتل و فصل الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات و البكتيريا و
الطحالب) و ذلك للمحافظة على و حدة التخلية من انسداد و تلف الأغشية. كما يحتاج الماء المنتج إلى
معالجة نهائية لضبط خواصه بما يناسب الخواص المطلوبة حسب الاستخدام (سواء ماء شرب ، أو مياه
للغلايات البخارية ، أو للاستخدام الصناعي و الغذائي و الطبي) و عليه فمحنة التخلية تتكون من ثلاثة
نظم أساسية الأولى للمعالجة الابتدائية ، و الثانية لفصل الماء العذب (بمجمع الأغشية) و الثالثة للمعالجة
النهائية - شكل (٤).

٤,١ - كيفية عمل الأغشية

الأغشية عبارة عن مواد طبيعية أو صناعية شبه نفاذة (Semi Permeable) أي تسمح بمرور
الماء فقط دون الأملاح. و تتكون أغشية التناضح العكسي من مواد خاصة (مثل اسيتات السليلوز) أو
البولي أميد ، إما على شكل شعيرات (خيوط) مجوفة مثل خيوط شعر الرأس تقريبا (Hollow Fine
Fibers) - شكل (٥) - ملفوفة على شكل حرف U ، أو على شكل ألواح حلزونية ملفوفة (Spiral

(Wounded Sheets). و تعمل الأغشية بما يسمى بنظرية السريان بالامتصاص الانتقائي (بالخاصة الشعرية) أي أن طبيعة الغشاء تسمح بامتصاص الماء فقط (ورفض امتصاص الأملاح). وتعتمد قدرة الغشاء على فصل الأملاح على قطر المسام من ١ إلى ١٥ انجستروم وهي أقل كثيراً من المرشحات الدقيقة (Micro Filtration) و التي تمنع الأحياء الدقيقة بالترشيح. و الأشكال (٦) و (٧) تبين نماذج من هذه الأغشية.

١,٥- المقارنة بين أغشية التناضح العكسي

تعتبر الأغشية قلب نظام أغشية التناضح العكسي وهي تتكون من مواد رقيقة بسبك حوالي ٠,٠٤ إلى ٠,١ ميكرون ومثبتة بمواد مسامية ليصل سمكها إلى حوالي ٠,٠١ مم - شكل (٨). وهي تختلف في قدرتها على مرور الماء العذب وطرده الأملاح. و الأغشية لها القدرة على منع مرور من ٩٠-٩٩٪ من المواد غير العضوية و حوالي ١٠٠٪ من المواد العضوية (كالبكتيريا و الفيروسات) و غيرها (كالسيلكا). و يمر الماء العذب من خلال الفراغات بين الهيكل الجزيئي لمادة الغشاء عن طريق الانتشار (Diffusion). و تستخدم مواد مثل أسيتات السليلوز و مركباتها و البروليميد كأساس للأغشية التجارية و الجدول (١) يوضح الفرق بين كلا المادتين في الأغشية.

الجدول ١: مقارنة مواد الأغشية

| البوليميد | اسيتات السليلوز |
|---|---|
| معدل أقل لمرور الماء العذب لوحدة المساحات | معدل مرتفع لمرور الماء العذب لوحدة المساحات |
| تستخدم في الأغشية المملوطة حلزونياً و الشعيرات الدقيقة المجوفة و غيرها. | تستخدم في الأغشية المملوطة حلزونياً و الشعيرات الدقيقة المجوفة و غيرها. |
| عمرها أطول من السليلوز | عمرها أقل من البوليميد |
| حساس لوجود الكلورين | تقاوم وجود الكلورين الزائد حتى أقل جزء في المليون |
| مستقر في حدود الرقم الهيدروجيني ٣ - ١١ | مستقر حتى رقم هيدروجيني بين ٣,٥ - ٦,٥ |
| يقاوم البكتيريا | حساس لهجوم البكتيريا |
| يقاوم الانهيار مع ارتفاع درجة الحرارة و عدم انضباط الرقم الهيدروجيني | حساس لإمكانية انهياره مع ارتفاع درجة الحرارة و عدم انضباط الرقم الهيدروجيني |
| نسبياً أعلى سعراً | نسبياً أرخص سعراً |

٦-١. الفرق بين عمليتي التناضح العكسي و عملية الترشيح الدقيق

يتفق كل من عمليتي التناضح العكسي و الترشيح الدقيق في أنهما يفصلان الماء عما يحتوي من مكونات إلا أن الترشيح الميكروني (Micro Filtration) يفصل المواد العالقة فقط في حين أن الترشيح الدقيق (Ultra Filtration) و الترشيح المتناهي الدقة (Nano Filtration) و التناضح العكسي يمكنهما فصل العناصر الذائبة. لذا تسمى أحيانا عملية التناضح العكسي (Hyper Filtration) . و الجدول (٢) يوضح بعض الفروق بين عملية الترشيح و التناضح العكسي. و الجدول (٣) يوضح خصائص أغشية الترشيح المختلفة و مقارنتها بالتناضح العكسي.

جدول ٢: الفرق بين الترشيح الدقيق و التناضح العكسي.

| الترشيح | التناضح لعكسي |
|---|---|
| الضغط الأسموزي صغير جدا | الضغط الأسموزي مرتفع حسب ملوحة الماء |
| الملوحة لا تزداد مع الترشيح | الملوحة تزداد لفصل الماء العذب أثناء العملية |
| تفصل العناصر حسب حجمها | هناك عوامل أخرى تسبب عملية فصل الأملاح |
| تترسب العوالق المفصولة على الغشاء المرشح | يمر الماء العذب ويبقى المحلول الملحي |
| سريان عمودي على المرشح لفصل العناصر منه | سريان الماء المالح موازي للغشاء |
| الترشيح (حتى الدقيق) يحتاج لضغط منخفض (حتى ٥ بار) | يحتاج إلى ضغط مرتفع لأداء العملية (أكثر من عشرة أمثال الترشيح الدقيق) |
| لا يزيل إلا العناصر المذابة ذات الوزن الجزيئي المتوسط | يمكن إزالة العناصر ذات الوزن الجزيئي الصغير |

الجدول ٣: خصائص أغشية التناضح العكسي و مقارنتها بالأغشية أخرى.

| شكل الأغشية | المواد المستخدمة في الصنع | المواد الممكن فصلها | الضغط المستخدم رطل /بوصة ^٢ | حجم مسام الأغشية (Å) | الطريقة |
|---|---|---|--|----------------------|--------------------------------------|
| أنبوبي Tubular | بولي سلفون Poly Salfone فلوروكربونات - كربون زجاج | رواسب - غرويات | ٣٠- ١٠ | ٥٠ - ٢٠٠٠ | ترشيح رقيق Micro Filtration (MF) |
| أغشية لا تماثلية شعيرات جوفاء دقيقة | سيلولوزية/أكريليك بولي سلفون/سيراميك | بروتينات و مواد عضوية ذات وزن جزئي عال | ٧٥- ٢٠ | ١٠٠٠ □١٠ | ترشيح فائق Ultra Filtration (UF) |
| أغشية مستوية مركبة Flat Sheet Composites | بولي اميدات ارومائية Arom. Polyamides مشتقات بولي فينيل الكحولية Polyvinyl Alcohol Derivatives | أيونات ثنائية التكافؤ Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺ | ١٥٠- ٥٠ | ٧ - ١٠٠ | ترشيح متناهي Nano Filtration (NF) |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--------|---------------------------------------|
| لا تماثلية مستوية Asymmetrie Flat Composite | أسيئات سيلواوز CA بولي اميدات أليفاتية Aliph.Polyamides بولي أميدات أورومائية Arom. Polyamides بولي سلفرن Polysulfone بولي فيوران polyfuran | كل ما سبق مع الأيونات أحادية التكافؤ | ١٥٠ □ ٣٠٠ LP ٣٥٠ □ ٦٠٠ St. Br ٨٠٠ □ ١٢٠٠ Br | ١ - ١٥ | تناضح عكسي Reverse Osmosis (RO) |
|---|--|--|--|--------|---------------------------------------|

٧-١. مكونات وحدة التناضح لعكسي:

تتكون وحدة التناضح العكسي أساسا من مضخة ضغط مرتفع للحصول على ضغط أعلى من الضغط الأسموزي، بالإضافة إلى مجمع الأغشية. لكن أكثر تفصيلا تتكون من الأجزاء الأساسية التالية:

- ١ - مكونات وحدة المعالجة الأولية لمياه التغذية (Pre-treatment Pump)،
- ٢ - مضخة ذات ضغط عال (High Pressure Pump)،
- ٣ - مجمع أغشية (Membrane Assembly (Modules)،
- ٤ - مكونات وحدة المعالجة النهائية الأخيرة (Final) Post Treatment Unit.

والشكل (٩) يبين وحدة تناضح عكسي ذات مرحلتين من مجمعات الأغشية. و المعالجة الأولية تعني تجهيز ماء التغذية لدخول مجمع الأغشية و ذلك بإزالة العوالق، ومنع ترسب الكائنات الحية و نموها على الأغشية (وهي مهمة جدا لأن مياه التغذية ستمر عبر الممرات الضيقة للأغشية، أثناء عملية

فصل الماء العذب عن المحلول الملحي). كما تشمل المألجة الأولية كل من عمليات ضخ ماء التلية (خاصة للمياه العكرة)، و الترشيح وإضافة مركبات الكلور (مثل هيبوكلوريد الصوديوم) لقتل الأحياء الدقيقة بالماء ثم ترشيحها ثم إزالة الكلور الزائد (حتى لا يضر الأغشية) والترشيح الدقيق (Micro Filtration) وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخرى لمنع الترسيب.

ويتبع عملية المألجة الأولية ضغط الماء المألج عن طريق مضخة ذات الضغط العالي (أعلى من الضغط الأسموزي) لتوفر الضغط اللازم لعبور الماء العذب من خلال الأغشية و حجز الأملاح. و هذا الضغط يتراوح ما بين ١٧ - ٢٧ بار (ضغط جوي) لمياه الآبار و بين ٤٥ - ٨٠ بار لمياه البحر (حسب ملوحة الماء و معدلات الإنتاج).

ويتكون مجمع الأغشية من عدد من أوعية الضغط (Pressure Vessel)، و (الشكل (١٠)) يبين أوعية الضغط و التي تحتوي على مجموعة من الأغشية شبه النفاذة (Semi Permeable Membranes) و هي مختلفة الأنواع و الأشكال و كذلك مواد التصنيع. كما تختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب و حجز الأملاح كما سبق بيانه. وليس هناك غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأملاح بل ينفذ جزء ضعيف من الأملاح مع الماء خلال الأغشية، و لذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة بطريقة التناضح العكسي. ويمكن خفض ملوحة الماء المنتج باستخدام مرحلة ثانية (Second Stage) كما في الشكل (٩). و تصنع أغشية التناضح العكسي من أشكال مختلفة. وهناك شكلان شائعان تجاريا و هما اللوح الحلزوني، و الألياف/الشعيرات الدقيقة المجوفة (Hollow Fine Fibers). لتلية كل من مياه الآبار و مياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغلاف الإنشائي ووعاء الضغط، و ذلك اعتمادا على المصنع و ملوحة الماء المراد تليلته. و تستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تلية مياه الآبار على نطاق واسع بينما تستخدم الأغشية ذات الضغط المرتفع في تلية مياه البحار الأعلى ملوحة أما المألجة النهائية فهي للمحافظة على خصائص الماء وإعداده بالمواصفات المطلوبة للاستخدام. و ربما شملت هذه المألجة إزالة الغازات و تعديل درجة القلوية (Alkalinity) بضبط الرقم الهيدروجيني.

وبالإضافة إلى المكونات الأساسية السابقة يلزم للمحطة مصدر للطاقة الكهربائية و مضخات مساعدة (لضخ ماء التلية، و للماء المنتج، و الكيماويات، و الرجيع المطرود)، و كذلك خزانات و أنابيب لمياه التلية و الماء المنتج و ماء الرجيع و أجهزة القياس للمراقبة و المتابعة و التحكم و غير ذلك من المكونات المساندة (Auxiliary Components) لأي منظومة هندسية. وقد تكون المحطة ذات مرحلة واحدة أو ذات مرحلتين حسب التصميم. كما قد يوضع توربين مائي عند مخرج الوحدة

للاستفادة من الضغط المتبقي بعد انتهاء عملية الفصل، واستعادة جزء من الطاقة (Energy Recovery) للمساعدة في إدارة مضخة الضغط العالي وتوفير جزء من طاقتها المطلوبة و من ثم خفض تكاليف الإنتاج.

٨-١. أهم عناصر تقييم أداء وحدة التناضح العكسي

يتم التقييم الأولي لعملية التحلية بالتناضح العكسي على عدة معايير منها:

١. إنتاجية الوحدة (متر مكعب في اليوم)،
٢. جودة الماء المنتج (ملوحته بجزء من المليون)، و نسبة طرد الملح، ونسبة استعادة الماء العذب من الماء المالح (Recovery Ratio) ،
٣. سعر الوحدة الابتدائي، وتكلفة التشغيل والصيانة و من ثم تكلفة إنتاج المتر المكعب من الماء المنتج،
٤. ضغط وقدرة مضخة الضغط العالي
٥. معدل تغيير الأغشية...الخ.

ويمكن حساب معدل السريان لكل متر مربع من مساحة سطح الأغشية حسب الفرق بين ضغط التغذية وضغط الماء المنتج و الضغط الأسموزي (لكل من ماء التغذية و الماء المنتج).

٩-١. العوامل المؤثرة على أداء تشغيل تقنية التناضح العكسي

هناك عدة عوامل تؤثر على تشغيل وحدات التناضح العكسي مثل:

١. معدل سريان المحلول،
٢. درجة الحرارة،
٣. أداء هيكل الغشاء،
٤. تركيز المحلول و غير ذلك.

ويعتبر معدل سريان المحلول (Brine Flow)، و المحلول المطرود (Reject) من العوامل الهامة المؤثرة على جودة الماء المنتج و على أداء الغشاء. وهذه المعدلات عادة ما تحددها الجهة المصنعة. والسبب في أهمية هذا المعدل هو أن خروج الماء العذب من خلال الأغشية يترك بعض الأملاح أو المحلول الأشد تركيزا قرب سطح الغشاء و تحتاج هذه الأملاح إلى أن تكسح بعيدا عن السطح حتى لا تقلل معدلات خروج الماء العذب نتيجة زيادة فرق التركيز (مما يزيد من الضغط الأسموزي). وهذا يحتاج إلى زيادة معدل سريان المحلول لكن لحدود لا تؤثر في إتلاف الغشاء. وزيادة تركيز المحلول قرب أسطح الأغشية يزيد من الضغط الأسموزي ومن ثم يقلل من معدل خروج الماء العذب، مما يلزم زيادة ضغط المحلول. كما تزيد

أيضا من معدل خروج الملح مع الماء العذب، مما يقلل من الماء العذب. كما يؤثر تركيز الأملاح سلبا على أسطح الأغشية و على الأغشية نفسها. وقد تؤدي إلى سرعة إتلافها، وكذلك تسبب في ترسب هذه الأملاح على أسطح الغشاء و انسدادها.

وتؤثر درجة الحرارة أيضا على أداء الأغشية (تؤخذ درجة حرارة 25°C كمقياس في عملية التناضح العكسي). وزيادة درجة الحرارة قد تزيد من معدل خروج الماء العذب من الأغشية (نتيجة خفض اللزوجة للماء). إلا أن هذه الزيادة تقابلها زيادة في درجة تركيز المحلول مما يلزم رفع الضغط الأسموزي المقابل. وزيادة الضغط تؤثر على انضغاط الأغشية (Compaction)، مما يقلل من مرور الماء العذب. ومازالت التجارب العلمية مستمرة لمعرفة تأثير زيادة درجة الحرارة على أداء وحدة التخلية و الأغشية (Hdrolysis). ومن ناحية أخرى يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني لماء التغذية و إلا أثر ذلك على الهيكل التركيبي الكيماوي لمواد الأغشية. ويزيد رفع درجة الحرارة من هذه الظاهرة.

٩-١. التقييم الفني والإحصائي لتقنية التناضح العكسي

أصبحت تقنية التناضح العكسي من التقنيات الناضحة (خاصة مع المياه خفيفة الملوحة Brackish water)، وهي تمثل حوالي ٣٦٪ من إنتاج الماء العذب للوحدات الصغيرة في العالم أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم، وحوالي ٢٥٪ للوحدات أكبر من ٥٠٠٠ متر مكعب في اليوم. وتمتاز تقنية التناضح العكسي بارتفاع معامل التوافرية (Availability Factor) (نسبة عدد ساعات التواجد في الخدمة)، كما تمتاز باستخدام الطاقة الكهربائية فقط و بمعدل من ٤ - ٨ كيلووات ساعة/متر مكعب (حسب ملوحة مياه التغذية)، وتمتاز بسرعة بدء التشغيل و العمل عند درجات حرارة منخفضة مما تقلل من نسب التآكل و ترسب الأملاح. وتنتج هذه التقنية من ماء البحر ماء عذب بملوحة من ٤٠٠ - ٥٠٠ جزء في المليون (حوالي ١٠٪ من ملوحة ماء التغذية)، ويمكن خفضها باستخدام مرحلة ثانية. كما يميز هذه التقنية مرونة الساعات لإنتاجه للوحدات المختلفة من وحدات منزلية لإنتاج لترات محدودة في اليوم إلى محطات كبيرة لإنتاج ١٠٠ - ١٥٠ ألف متر مكعب في اليوم. وتستخدم تقنية التناضح العكسي لإنتاج مياه الشرب و مياه الصناعة و غيرها و الجدول (٤) يلخص مميزات وخصائص هذه التقنية.

جدول ٤ : مميزات وخصائص تقنية التناضح العكسي

| المميزات |
|---|
| ١ - تعمل عند درجات حرارة منخفضة، وهذا يقلل من التآكل والترسبات |
| ٢ - ملوحة الماء المنتج من تحلية ماء البحر من ٣٠٠ - ٥٠٠ وهي تناسب مياه الشرب |
| ٣ - مرونة سعة الوحدات من عدة لترات إلى عشرات الآلاف من م ^٣ /اليوم - تحتاج إلى طاقة كهربائية فقط |
| العيوب: |
| ١ - معدل استهلاك الكهرباء: ٤ (مياه آبار) - ٨ (ماء بحر) ك.و.س/م ^٣ |
| ٢ - السعر الابتدائي للوحدة: ٨٠٠ - ٢٤٠٠ دولار/م ^٣ /اليوم |
| ٣ - سعر إنتاج الماء: ٠,٧٥ - ١,٢٥ دولار/م ^٣ (حسب الملوحة، وسعة الوحدة) |
| ٤ - نسبة إنتاجها للماء عالميا: ٣٦٪ للوحدات أكبر من ١٠٠ (م ^٣ /اليوم) ٢٥٪ للوحدات أكبر من ٥٠٠٠ (م ^٣ /اليوم) |

- المقارنة بين تقنية التناضح العكسي والتقنية الحرارية
الجدولين (٦) و (٧) يبينان مقارنة بين تقنيات التحلية الحرارية الثلاث وتقنية التناضح العكسي.
جدول ٦: مقارنة المميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

| المميزات | التكنولوجيا |
|---|---|
| <p>١ - مكونات ماء التجذية (الملوة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^٣</p> <p>٢ - الماء المنتج ذو ملوة قليلة جدا ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣ - التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية</p> <p>٤ - يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى ١٠ م^٣/اليوم</p> <p>٥ - التبخر بعيد عن سطح انتقال الحرارة</p> <p>٦ - التكنولوجيا بسيطة</p> | <p>التبخر الومضي</p> <p>متعدد المراحل (MSF)</p> |
| <p>١ - مكونات ماء التجذية (الملوة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^٣</p> <p>٢ - الماء المنتج ذو ملوة قليلة جدا ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣ - التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها و للتشغيل والصيانة عالية</p> <p>٤ - انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى:</p> <p>١. خفض نسب تكوين الرواسب و التآكل</p> <p>٢. رفع قيمة الإتاحة و التواجدية</p> <p>٣. استخدام مواد رخيصة الثمن</p> | <p>التبخر متعدد التأثير (ME)</p> |
| <p>١ - يحتاج فقط للطاقة الكهربائية (MVC)</p> <p>٢ - الماء المنتج ذو ملوة قليلة جدا ٥ - ٢٥ جزء في المليون</p> <p>٣ - لا تحتاج إلى ماء تبريد لذا يمكن بناؤها بعيد عن مصدر كبير للماء</p> <p>٤ - من أبسط وأكفأ التكنولوجيات</p> <p>٥ - انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى:</p> <p>أ - خفض نسب الرواسب و التآكل</p> | <p>ضغط البخار (VC)</p> |

| | |
|--|------------------------|
| ب - رفع قيمة الإتاحة و التواجدية ت - استخدام مواد رخيصة الثمن | |
| ١ - لا يحتاج ماء التغذية إلى تسخين وهذا يقلل من التآكل و الترسبات ٢ - ملوحة الماء المنتج من ٣٠٠ - ٥٠٠ وهي مناسبة لماء الشرب ٣ - مرونة سعة الوحدات (من ١٠٠ لتر إلى ١٠ م ^٣ /اليوم حسب حجم و عدد الأغشية المستخدمة ٤ - تحتاج فقط إلى طاقة كهربائية، كما يمكن استعادة من ٢٥ - ٣٥٪ من هذه الطاقة. | التناضح العكسي (R.O) |

جدول ٧: مواصفات الأداء الأساسية لوحدات التجلية التجارية

| العنصر | التبخير الومضي (MSF) | متعدد التأثير (ME) | ضغط البخار (VC) | التناضح العكسي (RO) |
|---|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| أقصى سعة الوحدة م ^٣ /اليوم | ٧٠٠٠٠ | ٢٤٠٠٠ | ٥٠٠٠ | ١٠٠٠٠ |
| معامل الأداء (كغ منتج/كغ بخار) | ٧ - ١٠ | ١٠ - ١٥ | لا يوجد | ل يوجد |
| معدل استهلاك البخار م ^٣ بخار/م ^٣ ماء منتج | ٨ | ١٢ | لا يوجد | لا يوجد |
| معدل استهلاك الكهرباء ك و س/م ^٣ ماء منتج | ٤ | ١,٨ | ٧ - ٩ | ٤ (ماء آبار) ٨ (ماء بحر) |
| سعر الوحدة دولار لكل م ^٣ /يوم | ١٠٠٠ - ٣٠٠٠ | ٥٠٠ - ٢٠٠٠ | ١٥٠٠ - ٣٠٠٠ | ٨٠٠ - ٢٤٠٠ |

| | | | | |
|------------|--------|-----|----------|---|
| ١,٢٥- ٠,٧٥ | ١- ٠,٥ | ٠,٥ | ١,٥- ٠,٥ | سعر إنتاج المتر مكعب من الماء (دولار/م ^٣) |
| ٢٥,٧ | ٢ | ٣,٦ | ٦٤ | نسبة التواجد في العالم لوحدات اكبر من ٤٠٠٠م ^٣ /اليوم (%) |
| ٣٥,٩ | ٣,٩ | ٤ | ٤٨,١ | نسبة التواجد في العالم لوحدات اكبر من ١٠٠م ^٣ /اليوم (%) |

٢ - الديليزة (الفصل أو الفرز) الكهربية (Electro-Dialysis (ED/EDR))

تتواجد الأملاح في المحلول الملحي على صورة أيونات (أي جزيئات صغيرة من عناصر الأملاح تحمل شحنة كهربية إما سالبة أو موجبة)، و لكن كل أيون مرتبط بالأيون الشريك بقوة جذب كهربي. فمثلا إذا ذابت كمية من ملح الطعام في الماء، تتفكك جزيئاته إلى جزأين (أيونين)، الأول هو أيون الصوديوم ويكون على صورة أيون موجب (Na^+) ويسمى كاتيون (Cation) و الثاني هو الكلوريد ويكون على صورة أيون سالب (Cl^-) ويسمى أنيون (Anion). الجدول (٨) يوضح بعض الأمثلة لأيونات الأملاح الذائبة في الماء.

جدول ٨: أمثلة لأيونات الأملاح الذائبة في الماء

| كاتيونات Cations | | | أيونات Anions | | |
|------------------|-----------|-----------|---------------|--------------|-------------|
| الصوديوم | Sodium | Na^+ | الكلوريد | Chloride | Cl^- |
| الكالسيوم | Calcium | Ca^{++} | البيكربونات | Bi-carbonate | HCO_3^- |
| المغنسيوم | Magnesium | Mg^{++} | السلفات | Sulfate | SO_4^{--} |
| البوتاسيوم | Potassium | K^+ | النترات | Nitrate | NO_3^- |

٢-١ . خاصية التوصيل الكهربى للمحلول الملحي

يتميز الماء الذائب به أملاح (المحلول الملحي) بأنه جيد التوصيل للكهرباء، في حين أن الماء العذب (المقطر و بلا أملاح) رديء التوصيل للكهرباء. وتعتمد جودة المحلول الملحي في توصيله للكهرباء على كمية و نوعية الأملاح الذائبة، وكذلك على درجة حرارة المحلول. فيزداد التوصيل الكهربى مع زيادة نسبة الأملاح، كما تزداد مع زيادة أيونات الأملاح التي تحمل شحنات أكبر (++) أو (- -)، كما تزداد أيضا مع ارتفاع درجة حرارة المحلول. ويستخدم التوصيل الكهربى لقياس نسبة الملوحة في المحلول و يستخدم مقياس الميكرو موهو/سم - مقياس التوصيل الكهربى - هو عكس أوم مقياس المقاومة الكهربائية. و يستخدم حديثا مقياس الميكرو سيمنز/سم.

٢-٢ . عملية الديليزة الكهربائية

عرفت الديليزة الكهربائية تجاريا منذ الستينيات (أي قبل التناضح العكسي). وقد وفر تطوير الديليزة الكهربائية أسلوب تكلفة فعال لتحلية المياه قليلة الملوحة (حتى ٢٠٠٠ جزء في المليون) مثل مياه آبار ومياه الصرف المالحة.

و عملية الديليزة الكهربائية هي عملية فصل الأملاح عن الماء كهربائيا، (لذا تحتاج العملية إلى مصدر كهرباء تيار مستمر (Direct Current-DC-)). و تعتمد تقنية الديليزة الكهربائية على أن أغلب الأملاح الذائبة في الماء متأينة إيجابيا أو سلبيا. وهذه الأيونات تتجذب نحو القطب الكهربائي (Electrode) حسبما تحمله من شحنة كهربائية (Electric Charge). كما تعتمد على إمكانية إنشاء أغشية تسمح انتقائيا بمرور الأيونات حسب شحنتها الكهربائية (سلبا أو إيجابا).

إن محتويات الأيونات الذائبة في المحلول الملحي مثل لصدويوم (+)، الكلوريد (-)، الكالسيوم (++)، الكربونات (- -) - شكل (١١) -، تظل منتشرة في الماء لتتولى معادلة شحناتها الخاصة. وعند توصيل الأقطاب الكهربائية إلى مصدر تيار خارجي (مثل البطارية)، فإن الأيونات تتجه نحو الأقطاب الكهربائية ذات الشحنات المعاكسة لشحناتها والموجودة في المحلول وذلك من خلال التيار الكهربائي الساري في المحلول سعيا وراء التحييد (Neutralization).

وليتم فصل الأملاح من المياه المالحة من خلال هذه الظواهر فإنه توضع مجموعة من الأغشية التي تسمح بمرور أيونات من نوع واحد فقط (وليس النوعين) - شكل (١٢) -. وتوضع عادة الأغشية بين القطبين الكهربائيين ويتم وضع هذه الأغشية بطريقة متعاقبة - أي غشاء واحد لانتقاء الأيونات ذات الشحنة الإيجابية ثم غشاء آخر لانتقاء الأيونات ذات الشحنة السلبية، مع وضع لوح فاصل بين كل

غشاءين يسمح بانسياب الماء بين الغشاءين -شكل (١٣) - ويشكل أحد اللوحين الفاصلين قناة تحمل مياه التغذية (Feed Water) والتي تتحول تدريجياً إلى المياه المنتجة (Product Water)، بينما يشكل اللوح الفاصل الآخر قناة تحمل مياه الرجيع (Reject)، الأكثر ملوحة. وحيث إن الأقطاب الكهربائية مشحونة، تتساق مياه التغذية المالحة عبر اللوح الفاصل وتنجذب الأيونات السالبة وتتجه نحو القطب الموجب، وتنجذب الأيونات الموجبة نحو القطب السالب، وهذا يؤدي إلى تخفيف تركيز أملاح قناة الماء المنتج. وتمر الأيونات المشحونة سلبياً من خلال الغشاء الانتقائي لها ولكنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء الخاص بالأيونات الموجبة، والذي يقفل خطها وتبقى الأيونات السالبة في الماء المالح (الرجيع). وبالمثل فإن الأيونات الموجبة تحت تأثير القطب السالب تتحرك في الاتجاه المعاكس من خلال الغشاء المنتقى للأيونات الموجبة إلى القناة ذات الماء المركز في الجانب الآخر، وهنا يتم اصطياذ الأيونات الموجبة، حيث إن الغشاء التالي ينتقى الأيونات السالبة ويمنع أي تحرك نحو القطب. وبهذا الأسلوب يتم إيجاد محلولين واحد مركز (ماء رجيع)، والآخر قليل التركيز (الماء المنتج) بين الغشاءين المتعاقبين المتجاورين. وهذان الفراغان المحتويان من قبل الغشاءين يسميان خلية. ويتكون زوج الخلية من مسارين حيث يهاجر من إحداهما الأيونات (الخلية المخففة للمياه المنتجة) وفي الأخرى تتركز الأيونات (الخلية المركزة لمياه الرجيع) -شكل (١٣).

٢-٣. وحدة الديليزة الكهربائية

تتكون وحدة الديليزة الكهربائية، من الأجزاء الأساسية التالية -شكل (١٤):

- ١ - مكونات نظام المعالجة الأولية،
- ٢ - مضخة تدوير ذات ضغط منخفض
- ٣ - مجمع الأغشية
- ٤ - مكونات نظام معالجة نهائية.

هذا بالإضافة إلى مصدر إمداد طاقة كهربائي للتيار المباشر (Rectefier)، ومواسير التوصيل، و نظم القياس و المراقبة و التحكم و خزانات مياه التغذية و المنتج و الرجيع و غير ذلك من المكونات و النظم المساعدة لأية منظومة هندسية -الشكل (١٥).

ويتكون مجمع الأغشية (شكل ١٤) من عدة مئات من أزواج الخلايا، مربوطة مع بعضها البعض بأقطاب كهربائية تسمى مجمع الأغشية (Membrane Stack). وتمر مياه لتغذية محاذية في آن واحد عبر ممرات من خلال الخلايا لتوفير انسياب المياه المنتجة و المحلاة كما يمر الماء المركز من المجمع. واستنادا على تصميم الوحدة فإنه يمكن إضافة بعض المواد الكيميائية في المجمع لتخفيف الجهد الكهربائي، ومنع تكوين القشور و الترسبات على أسطح الأغشية.

ويعتبر مجمع الأغشية (مجمع الخلايا) هو قلب وحدة الديليزة الكهربائية، و يتكون من قطبين كهربيين يفصل بينهما عدد كبير من الخلايا (من ٣٠٠ إلى ٥٠٠ خلية). وتتكون كل خلية من غشاءين أحدهما موجب (يسمح بمرور الأيونات الموجبة فقط)، ثم فاصل مرور المحلول -ماء التغذية -، ثم الغشاء الآخر وهو سالب (يسمح بمرور الأيونات السالبة فقط)، ثم فاصل مرور المحلول المركز -ماء الطرد أو الرجيع - . الشكلان (١٦) و (١٧) يبينان نماذج للأغشية و للفواصل التي بينها لمجمع ديليزة كهربائي.

ومثل معظم وحدات التخلية، يجب معالجة مياه التغذية منذ البداية لحجز المواد التي تسد الأغشية، أو تسد قنوات المياه الضيقة في الخلايا من الدخول إلى مجمع الأغشية. و يتم ذلك من خلال مروقات و مرشحات (رملية و خرطوشية دقيقة)، وإضافة مركبات الكلور لقتل الأحياء الدقيقة و ترشيحها، وإضافة بعض الكيماويات لمنع تكون الترسبات و منع التآكل. كما يتم تدوير مياه التغذية من خلال المجمع بواسطة مضخة ذات ضغط منخفض للتغلب على مقاومة سريان المياه أثناء عبورها للممرات الضيقة.

وتشمل المعالجة النهائية (الأخيرة) تجهيزه الماء المنتج بالمواصفات المطلوبة للاستخدام والتوزيع، و التي ربما تتضمن إزالة الغازات مثل سلفايد الهيدروجين، أو تعديل درجة الحمضية بضبط الرقم

الهيدروجيني و غالبا ما يركب مقوم لتحويل التيار المتردد (المتذبذب) إلى تيار مستمر يتم تزويده للأقطاب من خارج مجمعات الأغشية.

٤-٢. عناصر مياه التغذية المؤثرة على أداء وحدات الديليزة الكهربائية

إن نوعية مياه التغذية ذات أهمية في التأثير على وحدة التخلية بالديليزة الكهربائية، وكذلك على مواصفات الماء المنتج. إذا كان هنالك اختلاف بين مياه التغذية الفعلية، و المياه التي صممت عليها الوحدة لا بد أن نتوقع تغيير في نوعية المياه المنتجة. ومن العناصر المؤثرة على أداء الوحدة هي:

درجة حرارة مياه التغذية

تؤثر درجة الحرارة على كل من كفاءة التشغيل للوحدة، وعلى نوعية الماء المنتج، بصفة عامة، فكلما انخفضت درجة حرارة مياه التغذية، كلما زادت نسبة الأملاح الذائبة في الماء المنتج. وتتراوح أنسب درجات حرارة مياه التغذية بين ٢٧ - ٤٥ درجة مئوية.

الحديد

وجود الحديد بنسبية أعلى من ٠,١ جزء في المليون، يسبب مشاكل لعملية الإنتاج مثل ترسب طبقة (برتقالية ملونة) على سطح الغشاء، يزيد من المقاومة الكهربائية على أغشية الخلية، ومن ثم على الجهد و التيار ومعدل استهلاك الوحدة للطاقة الكهربائية. وقد يكون مصدر الحديد هو ماء التغذية وأنابيب و صهاريج مياه التغذية. فإذا زادت نسبة الحديد عن ٠,٣ جزء في المليون، يجب الاهتمام بمعالجته قبل دخول الوحدة أثناء التشغيل كما يجب غسل الوحدة أثناء التشغيل بالحامض (Clean in Place (CIP)) دوريا.

أ. المواد العضوية

يجب خلو مياه التغذية من أي مواد عضوية أو بكتيريا فكل منها له تأثير سلبي على وحدة التخلية وكذلك المكونات المساعدة بالوحدة.

ب. الرقم الهيدروجيني

تأثير الرقم الهيدروجيني ذو أهمية ثانوية على الوحدة من حيث عملية التشغيل، إلا أن تأثيره الأوضح يظهر في صورة التآكل لمكونات الوحدة.

ت. عناصر أخرى

لا يجب تشغيل الوحدة إذا وجد في مياه التغذية أي من:

- كلور متبقي أي تركيز
- كبريتيد الهيدروجين أي تركيز
- كالجون ارهدكساميتا فوسفات أكثر من ١٠ جزء في المليون
- منجنيز أكثر من ٠,١ جزء في المليون
- حديد أكثر من ٠,٣ جزء في المليون

٥-٢. الديليزة الكهربائية العكوسة (Electro-Doalylis Reverse (EDR))

ظهرت في السبعينات عملية الديليزة الكهربائية العكوسة على أساس تجاري. وتقوم وحدة الديليزة الكهربائية العكوسة عموماً على نفس الأسس التي تقوم عليها وحدة الديليزة الكهربائية، غير أن كلا من قناتي الماء المنتج و الماء المركز متطابقتان في التركيب الإنشائي. وعلى فترات متعددة من الساعة الواحدة (بين ١٥ و ٢٠ دقيقة) تتعكس قطبية الأقطاب الكهربائية، وعليه ينعكس الانسياب آتياً بحيث تصبح القناة المنتجة هي قناة المياه المركزة، وقناة المياه المركزة هي قناة المياه المنتجة. و النتيجة هي أن الأيونات تتجذب في الاتجاه المعاكس عبر مجمع الأغشية. وبمجرد انعكاس القطبية والانسياب فإن كمية وافية من المياه المنتجة تطرد حتى يتم غسيل خطوط مجمع الأغشية ويتم الحصول على نوعية المياه المرغوبة. و تستغرق عملية الغسيل هذه ما بين ١ - ٢ دقيقة ثم تستأنف عملية إنتاج المياه. و يفيد انعكاس العملية في تحريك و غسيل القشور و المخلفات الأخرى في الخلايا، قبل تراكمها و تسببها لبعض مشكلات التشغيل (كانسداد الأغشية مثلاً). و الغسيل يسمح للوحدة بالتشغيل بقليل من المعالجة الأولية ويقلل اتساخ الأغشية، وكذلك ثم ينخفض معدل استهلاك الكهرباء ومن تكاليف إنتاج المتر مكعب من الماء العذب.

٦-٢. محطة الديليزة الكهربائية

الشكل (١٨) يوضح نموذج لوحدة ديليزة كهربية عاملة (سعة ٢٠٠٠ متر مكعب في اليوم) لمعالجة مياه النهر المرتفعة الملوحة. وكما مبين بالشكل، يتم ضخ مياه التغذية (بعد حجز الشوائب و العوالق الكبيرة من خلال شبكات و مصافي) عن طريق مضخات إلى خزانات الترويق. يتم حقن كبريتات الألومنيوم (الشبه) السائلة للمساعدة في عملية الترويق. يخرج الماء الرائق بعد حقنه بالكلور إلى مجموعة من المرشحات الرملية (sand Filters) لحجز العوالق الصغيرة ومنها إلى المرشحات الخرطوشية (Cartridge Filters) لحجز العوالق الدقيقة والأحياء المائية الميتة. يدخل الماء المرشح بعد ذلك إلى وحدة الديليزة الكهربائية لفصل الأملاح عنها (يخرج الماء المنتج عادة بنسبة أملاح من ١٠ ٪ إلى ١٥ ٪ من ملوحة ماء التغذية). و يوضع الماء المنتج في خزانات الماء المنتج لحين الحاجة إلى سحبه للاستخدام.

٧-٢. مميزات تقنية الديليزة الكهربائية

تتميز تقنية الديليزة الكهربائية ببعض الخصائص التي يمكن تلخيصها فيما يلي:

١. المقدرة على الاستخلاص العالية للأملاح (كثير من المياه المنتجة وقليل من مياه الرجيع)
٢. تتناسب كمية الطاقة مع كمية الأملاح المزالة
٣. القدرة على معالجة المياه التي تحتوي على عوالق أكثر مقارنة مع التناضح العكسي
٤. عدم التأثير بالمواد غير المؤينة مثل السيليكا

جدول ٩ - بعض الميزات الأساسية لتقنية الديليزة الكهربائية

| القيمة | العنصر |
|---|----------------------------------|
| حتى ٩٠٪ | استعادة الماء |
| حتى ٩٥٪ | إزالة الملوحة |
| حتى ١٢٠٠٠ جزء في المليون | ملوحة ماء التغذية |
| ١٠٪ من ملوحة ماء الدخول (حتى ١٠ جزء في المليون) | ملوحة ماء المنتج |
| حتى ٥٥ درجة مئوية | تحمل درجة الحرارة |
| حتى ٣ جزء في المليون | نسبة الكلور في ماء التغذية |
| من ١ إلى ١٠ | الرقم الهيدروجيني في ماء التغذية |

جدول ١٠ - مقارنة عملية إغذاب الماء بالتناضح العكسي و الديليزة الكهربائية

| الديليزة الكهربائية | التناضح العكسي | عنصر المقارنة |
|---|---|-------------------|
| تسليط تيار مستمر ليمرر الأيونات الذائبة خلال غشاء فرز انتقائي لتقل مكونات الماء المالح من الأملاح | ضخ المياه المالحة تحت ضغط مرتفع بواسطة مضخة لينفذ الماء العذب خلال الغشاء | ميكانيكية الإغذاب |
| طاقة كهربائية - تيار مستمر | طاقة كهربائية لتشغيل المضخة | فرق الجهد |

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| نظام التشغيل | تشغيل ذاتي، بزر تشغيل وصمامات معدة فتحاتها من قبل | تشغيل ذاتي لكن بدء التشغيل معقد لضرورة عمل ائزان في كميات المياه السارية |
| متطلبات المعالجة الأولية | فصل العوالق المتجمعة و المعلقة في الماء | فصل العوالق المتجمعة و المعلقة في الماء و المواد العضوية لأن جميع المواد غير المؤينة لا يمكن فصلها خلال الأغشية |
| تكلفة التشغيل | تقريبا متساويا | تقريبا متساويا |
| تغيير الأغشية | خفيف و سهل التغيير كنماذج متكررة | صعب و يتطلب مهارة خاصة |
| ملوحة مياه التغذية | مياه الآبار حتى ١٠٠٠٠ أو مياه البحر حتى ٤٠٠٠٠ جزء في المليون | مياه متوسطة الملوحة ١٠٠٠٠ جزء في المليون |

٥. استخدام كميات ضئيلة من المواد الكيماوية في عملية المعالجة الأولية.

وتستخدم وحدات الديليزة الكهربائية عموما لتحلية مياه الآبار خفيفة الملوحة وعادة حتى ٢٠٠٠ جزء في المليون (إلا أن الشركات المصنعة تتحدث عن إمكانية استخدامها حتى ١٢٠٠٠ جزء في المليون). أما متطلبات الطاقة الرئيسية تتمثل في التيار المباشر لفصل المواد المتأينة في مجمع الأغشية. وقد ثبت نضوج هذه التقنية. وتتراوح سعة الوحدات من ١٠ إلى ٤٠٠٠ متر مكعب في اليوم. والعمر الافتراضي للأغشية حتى ١٠ سنوات كما لا تحتاج لضغوط مرتفعة. و الجدول (٩) يوضح بعض الخصائص الأساسية لهذه التقنية، و التي تعلن عنها شركات إنتاج الديليزة الكهربائية.

٢٢-٨. المقارنة بين الديليزة الكهربائية والتناضح العكسي

الجدول (١٠) يبين مقارنة بين كل من عمليتي الديليزة الكهربائية و التناضح العكسي.

التبادل الأيوني (Ion Exchange)

١ - تقنية التبادل الأيوني

كما سبق ذكره ، عندما تذوب الأملاح في الماء ، تتفصل مكوناتها المركبة الى أيونات سالبة وأيونات موجبة. و المبادل الأيوني عبارة عن مجمع يحتوي على مواد راتنجية مسامية خاصة تسمى (Resin) ، لها القدرة على تبادل بعض الأيونات بها مع أيونات المحلول المتواجدة فيه هذه المواد ، و لذا تسم المبادلات الأيونية. وتبادل هذه المواد الراتنجية (الرزين Resin) جزء من أيوناتها الموجبة مع الأيونات الموجبة للأملاح وتسمى بذلك بالمبادل الموجب (Cations) . أو تبادل هذه المواد جزء من أيوناتها السالبة مع اليونات السالبة للأملاح ، و تسمى المبادل السالب (Anions) ، (شكل (١)).

وعندما يمر محلول ملحي على المبادل السالب فإن المحلول يبادل أيوناته السالبة مع الأيونات السالبة بالمبادل. وبالمثل عندما يمر المحلول على المبادل الموجب فإن المحلول يبادل أيوناته الموجبة مع الأيونات الموجبة بالمبادل. والمبادل الأيوني يحتوي على مجموعات متوالية من هذه المواد لإمتصاص الأيونات غير المرغوب فيها وتبادلها مع أيونات أخرى مرغوب فيها.



المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تحلية المياه

التحلية بالمملكة

تحت إشراف

٣

محطات التحتية في المملكة العربية السعودية

دأبت المؤسسة منذ إنشائها على تأكيد الدور المناط بها في تغطية الطلب المتزايد على المياه للأغراض المنزلية خاصة في المدن الكبرى و الساحلية، و قد تمكنت خلال العقود الماضية من تحقيق إنجازات مشرفة في مجال تحتية المياه المالحة لتوفير ٧٠ ٪ من احتياجات السكان من مياه الشرب في المدن الرئيسية و تم ذلك من خلال إنشاء محطات التحتية بمواقع مختلفة على ساحلي البحر الأحمر و الخليج العربي حسب الاحتياجات السكانية و النمو الحضري و الصناعي.

وقد أدى التوسع في إنشاء المحطات خلال خطط التنمية الست السابقة إلى دعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية و تعزيزها بالملكة، حيث قامت الدولة برعاية و دعم كامل لبرنامج المؤسسة لإنشاء محطات التحتية مما نتج عنه زيادة في رفاهة المواطن السعودي. وفيما يلي فكرة عن المحطات التي أنشئت ضمن مخطط التنمية الست السابقة:

١ - محطات تم تشغيلها قبل خطة التنمية الأولى (قبل عام ١٣٩٠ هـ):

وتشمل كل من محطة الوجه و ضبا و هي محطات تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض بدأ إنتاجها في عام ١٣٨٩ هـ و تبلغ السعة التصديرية لها ١٩٨ م^٣/اليوم و قد أوقفت هاتان المحطتين عن الخدمة بعد انتهاء عمرهما التشغيلي.

٢ - محطات التحتية التي أنشئت خلال خطة التنمية الأولى (من ١٣٩٠/١٣٩١ هـ إلى ١٣٩٥/١٣٩٤ هـ):

أ - محطة جدة المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل ثنائية الغرض لإنتاج المياه المحلاة و الطاقة الكهربائية. و قد بدأ التشغيل و الإنتاج في هذه المحطة عام ١٣٩٠ هـ بسعة ١٨٩٢٥ م^٣/اليوم مع توليد طاقة كهربائية قدرتها التصديرية ٥٠ ميغاوات. و قد أوقفت هذه المحطة عن الخدمة بعد انتهاء عمرها التشغيلي.

ب - محطة الخبر المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط. كانت بداية تشغيلها وإنتاجها عام ١٣٩٣ هـ بسعة تصديرية ٢٨٤٠٠ م^٣/اليوم وقد أوقفت هذه المحطة عن الخدمة بعد انتهاء عمرها التشغيلي.

ت - محطة الخفجي المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط وسعتها التصديرية ٥٥٠ مترم^٣/اليوم. بدأ التشغيل والإنتاج في المحطة عام ١٣٩٤ هـ وقد أوقفت هذه المحطة عن الخدمة بعد انتهاء عمرها التشغيلي.

٣ - المحطات التي أنشئت خلال خطة التنمية الثانية (من ١٣٩٥/١٣٩٦ هـ إلى ١٤٠٠/١٣٩٩ هـ)

أ - محطة أمّالج المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط. كانت بداية تشغيلها وإنتاجها عام ١٣٩٥ هـ وسعتها التصديرية تبلغ ٤٧٣ م^٣/اليوم. وقد أوقفت هذه المحطة عن الخدمة بعد انتهاء عمرها التشغيلي.

ب - محطة جدة المرحلة الثانية:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة والطاقة الكهربائية وبدأت المحطة الإنتاج في عام ١٣٩٨ هـ بسعة تصديرية قدرها ٣٧٩١٦ م^٣/اليوم مع توليد طاقة كهربائية قدرها ٨٥ ميغاوات وهذه المحطة مازالت تحت التشغيل.

ت - وحدات الخفجي السريعة المرحلة الأولى:

عبارة عن خمس وحدات تحلية صغيرة سريعة ومجمعة، أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط وسعتها التصديرية الإجمالية ١٠٧٥ م^٣/اليوم. بدأ إنتاجها عام ١٣٩٨ هـ وقد نقلت هذه المحطة إلى جزيرة فرسان عام ١٤١٠ هـ حيث مازالت تحت التشغيل.

ث - محطة الوجه المرحلة الثانية:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض. كانت بداية تشغيلها وإنتاجها عام ١٣٩٩ هـ وسعتها التصديرية تبلغ ٤٧٣ مترم^٣/اليوم من المياه المحلاة، ولا زالت تحت التشغيل.

ج - محطة ضبا المرحلة الثانية:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض وسعتها التصديرية ٤٧٣ م^٣/اليوم من المياه العذبة. بدأت الإنتاج عام ١٣٩٩ هـ ونقلت هذه المحطة من مدينة ضبا إلى مدينة الوجه في عام ١٤١٣ هـ حيث مازالت تحت التشغيل.

ج - محطة فرسان: محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض سعتها التصديرية ٤٣٠ م^٣/اليوم من المياه العذبة. بدأت المحطة الإنتاج عام ١٣٩٩ هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

ح - محطة جدة المرحلة الثالثة:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض (لإنتاج المياه العذبة و الطاقة الكهربائية) سعتها التصديرية الإجمالية ٧٥٩٨٧ م^٣/اليوم من المياه العذبة و طاقة كهربائية إجمالية قدرتها المركبة ٢٥٦ ميغاوات و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل.

خ - محطة حقل المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط. سعتها التصديرية الإجمالية ٧٧٤ م^٣/اليوم من المياه العذبة. وكانت بداية التشغيل و الإنتاج عام ١٣٩٩ هـ و قد تم نقل هذه المحطة من مدينة حقل إلى مدينة رابع عام ١٤١٤ هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل.

٤ - المحطات التي تم تشغيلها خلال خطة التنمية الثالثة (من ١٤٠٠/١٤٠١ هـ إلى ١٤٠٤/١٤٠٥ هـ):

أثناء هذه الخطة تم تحقيق العديد من الإنجازات في مجال تحتلية المياه المالحة ضمن هذه الخطة من توسع في إنشاء محطات التحتلية و إنشاء خطوط أنابيب وما يتبعها من مرافق في مختلف مناطق المملكة، و في ما يلي مختصر عن المحطات التي أنشئت خلال الخطة على النحو التالي:

أ - محطة ينبع المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. كانت بداية التشغيل و الإنتاج عام ١٤٠١ هـ. السعة التصديرية الإجمالية ٩٤٦٢٥ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ٣٥٧ ميغاوات. مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

ب - محطة جدة المرحلة الرابعة:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية ١٩٠٥٥٥ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ٥٩٠٧ ميغاوات. مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

ت - محطة أمّالج السريعة:

محطة تحتلية بطريقة إعادة التسخين أحادية الغرض سعتها التصديرية الإجمالية ٨٥٢ م^٣/اليوم من المياه العذبة. بدأ التشغيل لهذه المحطة عام ١٤٠١هـ وقد نقلت من مدينة أمّالج إلى مدينة الوجه عام ١٤٠٦هـ حيث مازالت تحت التشغيل حاليا.

ث - محطة رابع المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل أحادية الغرض لإنتاج المياه العذبة فقط. سعتها التصديرية الإجمالية ١٢٠٤ م^٣/اليوم من المياه العذبة. وكانت بداية التشغيل و الإنتاج عام ١٤٠٢هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل.

ج - محطة الجبيل المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية ١١٨٤٤٧ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ٣٦٠ ميغاوات. بدأت الإنتاج في ١٤٠٢هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

ح - محطة الخبر المرحلة الثانية:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية ١٩١٧٨٠ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ٧١٠ ميغاوات. بدأت الإنتاج في ١٤٠٢هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

خ - محطة الخفجي السريعة المرحلة الثانية:

هي عبارة عن أربع وحدات تحتلية من الوحدات الصغيرة السريعة المجمعمة أحادية الغرض، تم تأميمها عام ١٤٠٣هـ سعتها التصديرية الاجمالية ١٠٣٢ م^٣/اليوم من المياه العذبة وقد تم نقل هذه الوحدات إلى مدينة الوجه في عام ١٤٠٣هـ و مازالت هذه المحطة تحت التشغيل حاليا.

د - محطة الجبيل المرحلة الثانية:

تعتبر أكبر محطة توليد في العالم لإمداد مدينة الرياض باحتياجها من مياه الشرب، تعمل بطريقة التقطير الومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية تصل إلى ٨١٨١٨٥ م^٣/اليوم مع توليد الطاقة الكهربائية بقدرة مركبة إجمالية ١٢٢٥ ميغاوات وبدأت في الإنتاج عام ١٤٠٣ هـ و لازالت هذه المحطة تشتغل حالياً.

ذ - محطة البرك:

محطة تعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية ١٩٥٢ م^٣/اليوم وكانت بداية التشغيل والإنتاج عام ١٤٠٣ هـ وما زالت المحطة تشتغل حالياً.

٥ - المحطات التي تم تشغيلها خلال خطة التنمية الرابعة (من ١٤٠٥/١٤٠٦ هـ إلى ١٤٠٩/١٤١٠ هـ):

أ - محطة الخفجي المرحلة الثانية:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية ١٩٦٨٢ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ١١ ميغاوات. بدأت تنتج المحطة في عام ١٤٠٦ هـ و لازالت تشتغل حالياً.

ب - محطة أمّالج المرحلة الثانية:

محطة تعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية ٣٧٨٤ م^٣/اليوم من المياه العذبة وكانت بداية التشغيل والإنتاج عام ١٤٠٦ هـ وما زالت المحطة تشتغل حالياً.

ت - محطة العزيزية:

محطة تعمل بطريقة إعادة التسخين، إجمالي سعتها التصديرية ٣٨٧٠ م^٣/اليوم العذبة. بدأت المحطة إنتاجها عام ١٤٠٧ هـ و مازالت تحت التشغيل.

ث - محطة الشعبية المرحلة الأولى:

محطة تقطير وميضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية. السعة التصديرية الإجمالية ٨٣٤٣٢ م^٣/اليوم من المياه العذبة مع طاقة كهربائية مولدة قدرتها المركبة ١٠٨ ميغاوات. بدأت تنتج المحطة في عام ١٤٠٩ هـ و لازالت تشتغل حالياً.

ج - محطة الشقيق المرحلة الأولى:

محطة تقطير ومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض (لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية)، إجمالي سعتها التصديرية ٨٣٤٣٢ مم^٣/اليوم و طاقة كهربائية قدرتها المركبة ١٠٨ ميغاوات، وقد بدأت المحطة إنتاجها في عام ١٤٠٩ هـ و لازالت تحت التشغيل حاليا.

ح - محطة جدة بالتناضح العكسي:

وتعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية الإجمالية ٤٨٨٤٨ مم^٣/اليوم من المياه العذبة يوميا، بدأت المحطة إنتاجها في عام ١٤٠٩ هـ ولازالت تحت التشغيل حاليا.

ح - محطة ضبا المرحلة الثالثة:

وتعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية الإجمالية ٣٧٨٤ مم^٣/اليوم. بدأت المحطة إنتاجها في عام ١٤٠٩ هـ ولازالت تحت التشغيل حاليا.

خ - محطة حقل المرحلة الثانية:

وتعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية الإجمالية ٣٧٨٤ مم^٣/اليوم، بدأت المحطة إنتاجها في عام ١٤١٠ هـ ولازالت تحت التشغيل حاليا.

٦ - المحطات التي تم تشغيلها خلال خطة التنمية الخامسة (من ١٤١٠/١٤١١ هـ إلى ١٤١٥/١٤١٥ هـ):

أ - محطة جدة بالتناضح العكسي:

وتعمل بطريقة التناضح العكسي سعتها التصديرية الإجمالية ٤٨٨٤٨ مم^٣/اليوم، بدأت المحطة إنتاجها في عام ١٤١٤ هـ ولازالت تحت التشغيل حاليا.

٧ - المحطات التي تم تشغيلها خلال خطة التنمية الخامسة (من ١٤١٥/١٤١٦ هـ إلى ١٤٢٠/١٤١٩ هـ):

أ - محطة ينبع المرحلة الثانية:

تتكون من محطتين متجاورتين الأولى تعمل بطريقة التقطير الومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض لإنتاج المياه العذبة و توليد الطاقة الكهربائية، إجمالي السعة التصديرية ١٢٠٠٩٦ مم^٣/اليوم مع طاقة كهربائية مولدة بقدرة مركبة تصل ١٥٠ ميغاوات. أما المحطة الثانية فتعمل بالتناضح العكسي بسعة تصديرية تبلغ ١٠٦٩٠٤ متر مكعب و تصل السعة التصديرية الإجمالية لمحطة ينبع ٢٢٧٠٠٠ متر مكعب من المياه العذبة وذلك لإمداد المدينة المنورة بالمياه العذبة. بدأ التشغيل و الإنتاج عام ١٤٢٠ هـ.

٨ - المحطات المتوقعة تشغيلها في خطة التنمية السابعة (من ١٤٢٠/١٤٢١هـ إلى ١٤٢٤/١٤٢٥هـ):

أ - محطة الجبيل بالتناضح العكسي:

تعمل بطريقة التناضح العكسي، القدرة التصديرية الإجمالية ٧٨١٨٢ م^٣/اليوم (تحت التشغيل التجريبي).

ب - محطة الشعيبية المرحلة الثانية:

تعمل بطريقة التقطير الومضي متعدد المراحل مزدوجة الغرض، الطاقة التصديرية الإجمالية تصل ٣٩٠٩٠٩ م^٣/اليوم وتولد طاقة كهربائية قدرتها المركبة ٥٢٠ ميغاوات. ولبيان التطور الحاصل في إنتاج المياه المحلاة فقد زادت طاقة التحلية من ١٩٤٠٠ متر مكعب/اليوم في عام ١٣٨٩/١٣٩٠هـ إلى ٢,٢ مليون متر مكعب/اليوم في عام ١٤١٩/١٤٢٠هـ بمعدل سنوي متوسط يزيد عن ١٦,٧٪.

وتعتبر المملكة حاليا الرائدة عالميا في مجال تحلية المياه المالحة إذ يبلغ إنتاجها ٢١٪ من الإنتاج العالمي، ويبلغ عدد محطات تحلية المياه المالحة وتوليد القوى الكهربائية العاملة حاليا والتي تحت التنفيذ بالمؤسسة ٣٠ محطة قدرتها المركبة تتجاوز ٣ ملايين م^٣/اليوم (٨٥٥ مليون جالون) و (٥٠٠٠ ميغاوات).



تحلية المياه

معالجة المياه

معالجة المياه

٤

المعالجة الأولية لمياه التغذية

Feed water Pre- treatment

المعالجة الأولية لمياه التغذية لوحدات التحلية

معالجة مياه التغذية الداخلية لوحدة التحلية feed treatment (سواء مياه البحار أو الآبار أو غيرها) تسمى بالمعالجة الأولية أو الابتدائية Pre-treatment . ويتم معالجة هذه المياه أساساً لحماية وحدة التحلية والأجهزة بها من التآكل corrosion ومن ترسب الأملاح scale deposits ومن عمليات ترسب العوالق والمواد العضوية. وتختلف عملية المعالجة الأولية حسب نوع ماء التغذية (بحر ، بئر أو غيره) ، وحسب تكنولوجيا التحلية المستخدمة (حرارية ، أغشية..... إلخ) فقد يلزم لعمليات التحلية بالأغشية معالجة المواد العالقة والبحرية أكثر من الطرق الحرارية وذلك لمنع انسداد شعيرات ومسامات الأغشية الدقيقة جداً . في حين أن الطرق الحرارية يلزمها معالجة الأملاح الذائبة أكثر من طرق الأغشية خوفاً من ترسب الأملاح على أسطح انتقال الحرارة مع زيادة درجة الحرارة. والشكل ١ يوضح التصور العام للعمليات المعالجة الأولية لمحطات التحلية ففي محطات التحلية الحرارية تشمل المعالجة على :

أ / شبكات تصفية عوالق البحر screening system

ب/ إضافة الكلور (أو مواد لقتل الأجسام الحية الدقيقة Biocides).

ج/ إضافة المواد الكيميائية (ضد الترسبات Anti Scalants وضد التآكل وضد الرغوي Anti Foam).

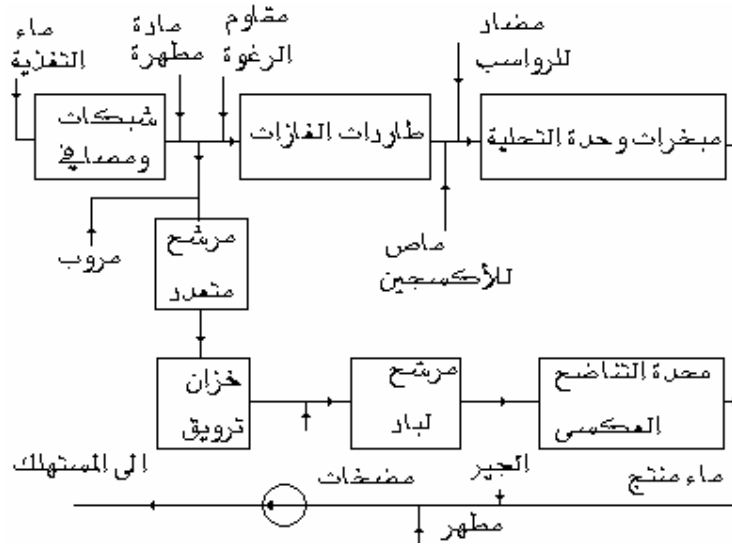
د / عمليات إزالة الغازات الذائبة في ماء التغذية Deaeration باستخدام طارد الغازات ، وقد تستخدم مواد كيميائية (مثل سلفات الصوديوم) لامتصاص ما تبقى من الأكسجين ومنه إلى مبخرات وحدة التحلية Evaporators .

أما في محطات التحلية الأغشية تشمل المعالجة على :

أ / شبكات تصفية عوالق البحر Screening system.

ب / إضافة الكلور لماء التغذية لقتل الأحياء الدقيقة.

ج/ إضافة المواد الكيميائية (لتجميع العوالق الدقيقة Coagulants).



شكل ١: المعالجة الأولية و النهائية لمحطات التحلية

د / عملية الترسيب sedimentation .

هـ / عمليات إزالة العوالق الدقيقة (الترشيح _ الفلترة)

و / عمليات إزالة العوالق الدقيقة جداً (الفلترة الدقيقة جداً أو الميكرونية) .

ز / إزالة الكلور الزائد قبل دخول الماء للأغشية ، حتى لا تتلف الأغشية (ومنه إلى مجمع الأغشية) .

أهمية المعالجة الأولية على أداء وحدات التناضح العكسي

تعتبر جودة المعالجة الأولية من أهم العوامل المؤثرة على نجاح عملية تشغيل وحدات التناضح العكسي ، حيث إن ترسيب أي عوالق على الأغشية وانخفاض معدلات إنتاج الماء ، وقد يتبع انخفاض معدل الإنتاج إلى زيادة ضغط المحلول مما يتلف الأغشية ويقلل من عمرها الافتراضي للعمل .

وتشمل المعالجة الأولية العمليات الأساسية مثل الترشيح باستخدام المرشحات الرملية ثم يتبع ذلك مرشحات اللباد في حدود خمسة ميكرون ، ثم إضافة الحامض لضبط الرقم الهيدروجيني ومنع الترسبات والتي تترتب ترسبات وتقليل معد أكسدة الحديد ، وإضافة الكلور لقتل المواد العضوية الحية (ثم يزال الكلور تماماً خاصة في أغشية البولويد) حتى لا تؤثر على أداء الأغشية . وتعتبر مكونات ونظم المعالجة الأولية لوحدات التحلية بالتناضح العكسي من الأجزاء المهمة جداً والمكلفة (فقد تصل إلى ٦٠ ٪ من التكاليف الشرائية) للوحدة .

جدول ١ : الكيماويات المضافة لوحدة التحلية

| السبب للإضافة | الكيماويات المضافة |
|--|----------------------------------|
| - | المعالجة الأولية: |
| لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج) | - هيبوكلوريد الصوديوم (الهيبو) |
| لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج) | - أو كبيرات النحاس |
| لإزالة الكلور من ماء التغذية | - باي سلفات الصوديوم |
| لمقاومة الترسبات | - هيكسا ميثا فوسفات الصوديوم |
| لضبط الرقم الهيدروجيني ومقامة | - حامض الكبريتيك |
| الترسبات | |
| | المعالجة النهائية: |
| لتطهير الماء المنتج | - هيبوكلوريد الكالسيوم / |
| لضبط الرقم الهيدروجيني | الصوديوم |
| | - الجير |
| لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول | التنظيف : |
| التنظيف | - هيدروكسيد الامونيوم / |
| لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول | الصوديوم |
| التنظيف | - حامض الهيدروكلوريك |
| لإزالة الترسبات الكربونية والاكسيد | - حامض الستريك / الفسفوريك / |
| | الاكسليك |
| لإزالة المواد العضوية والترسبات | - فوسفات الصوديوم الثلاثي |
| الميكروبيولوجية | - الفورمالدهايد . |
| للتطهير والمحافظة على الأغشية | |

ماهي الكيماويات المضافة لعمليات التحلية ؟

تتعدد الكيماويات المضافة لعمليات التحلية حسب الهدف منه. ومنها لمعالجة المياه في محطات

التحلية ، تضاف نسب محددة من بعض المواد الكيماوية مثل.

أ) هيبوكلوريد الصوديوم ، أو سلفات النحاس ، لتطهير الماء المالح.

(ب) باي سلفات الصوديوم لطرد الأكسجين من ماء التعويض، وإزالة الكلور الزائد .

(ج) حامض الكبريتيك لضبط الرقم الهيدروجيني في الماء المالح.

(د) مادة البلجارد (اسم تجاري لمركب كيميائي) لمنع الترسبات على أسطح انتقال الحرارة (في المحطات الحرارية).

هـ) كما يضاف هبوكلوريد الصوديوم وهيبو كلوريد الكالسيوم لتطهير الماء المنتج ، كما يضاف الجير لضبط الرقم الهيدروجيني لماء المنتج ، والجدول ١ يوضح ملخص لبعض المواد الكيميائية التي تضاف لمات التخلية الحرارية أثناء المعالجة الأولية والنهائية ، سبب إضافتها والشكل ٢ يبين مواقع إضافة وحسن هذه المواد.

مكونات منظومة الدخول والمعالجة الأولية لمياه التغذية :

تتكون منظومة دخول مياه التغذية لوحدة التخلية من مجموعة من الأنابيب أو المجاري لدخول الماء المطلوب معالجته. ثم يتجه ماء التغذية من خلال شبكات - مصافي - لحجز العوالق الكبيرة مصل الأعشاب، ومنه إلى مضخات ومنها إلى المروقات شكل ٣ وهي عادة ما تكون خزانات كبيرة تسمح بترسيب المواد العالقة الكبيرة الحجم نسبيا كالرمال والطيني ، وقد يستخدم مواد مساعدة مل كبريتات الألومنيوم - الشبه - للمساعدة في تجميع العوالق الصغيرة ؛ حيث تتميز كبريتات الألومنيوم بالقدرة على جذب العوالق الصغيرة وتجميعها حولها لتكون عوالق كبيرة) لتسهيل ترسيبها . ثم يتم حقن الماء بالكلور لقتل الأحياء الدقيقة ثم يزال الكلور الزائد قبل دخول الماء للأغشية وكذلك إضافة بعض المواد الكيميائية ضد الترسيب وضد التآكل ينتقل الماء بعد ذلك إلى مجموعة المرشحات الرملية متعدد المحتوى من الرمال والحصى الدقيق لترشيح الماء من العوالق شكل ٤ ثم مرشحات اللباد (لترسيب المواد العالقة الدقيقة كالفطريات الدقيقة) وفي وحدات التخلية بالأغشية قد تحتاج إلى المرشحات الدقيقة جدا وفي وحدات التخلية الحرارية نحتاج إلى إزالة الغازات عن طريق طارد الغازات شكل ٥ وعليه يكون ماء التغذية في وضع يسمح له بالدخول إلى وحدة التخلية.

والشكل ٦ يوضح نموذج آخر لمسار عملية المعالجة لمياه تغذية من نهر عذب سواء لاستخدامها كماء شرب ، أو في حالة دخولها وحدة أغشية أو في حالة دخولها لوحدة تبادل أيوني ، والجدير بالذكر أن منظومة المعالجة الأولية لمياه التغذية تحتاج أيضا إلى المكونات الأساسية لأية منظومة هندسية مثل المضخات والمرشحات والمبادلات الحرارية وأجهزة القياس والتحكم وغيرها من المكونات.

أهمية العكارة Turbidity وما هي طرق علاجها

تنتج العكارة من وجود مواد عالقة بالماء مما يمنع صفائها ، ويمنع مرور الضوء أو انكساره . وهذه المواد قد تكون طمي أو رمل أو بكتيريا أو غيرها . وتقاس العكارة بكمية تشتت الضوء الساقط عمودي على كمية من الماء ، وتقاس بوحدة (NTU) وهي نسبة التشتت للضوء بالنسبة لعينة قياسية. والعكارة بما تحتويه من مواد عالقة تسبب ترسبات وانسداد على الأنابيب المار بها الماء وكذلك تآكل المكونات بها ، وعلاج العكارة (أو المواد العالقة) هي الترسيب والترشيح الرملي أو الميكروني.

اختبار العكارة SDI

يعتبر اختبار العكارة (للمواد العالقة بماء التغذية) من أحد المعايير الهامة للمحافظة على كفاءة وحدة التحلية خاصة بالأغشية. واختبار العكارة المسمى Slit Density Index هو اختبار لتحديد نسبة المواد العالقة في الماء على أساسه تحدد حجم عمليات المعالجة الأولية المطلوبة لمياه التغذية والخاصة بإزالة المواد العالقة . ويتكون جهاز هذا الاختبار، شكل ٧ من مرشح (٠.٤٥ ميكرون) ومقياس ضغط وصمام . ويتم الاختبار عند ضغط ٢,١ بار والاختبار عبارة عن ترشيح كمية من ماء التغذية تعادل ٥٠٠ مللي لتر من خلال مرشح جديد ويقاس الزمن اللازم للترشيح T_1 وترك بعد ذلك ماء التغذية ليتمر خلال المرشح لمدة ١٥ دقيقة (يسبب انسداد جزئي للمسام ، ومن ثم يقل معد مرور الماء) ثم يعاد قياس الزمن اللازم لمرور ٥٠٠ مللي لتر الماء خلال المرشح (T_2) ويحسب قيمة الـ SDI كما يلي :

$$SDI = (100 / 15) (1 - T_1 / T_2)$$

وعندما يكون الزمن T_2 أكبر من أربع مرات من الزمن T_1 يكون مقياس SDI=٥ أما قيمة الـ SDI التي تسبب انسداد المرشح هي ٦,٧ ولمنع انسداد أغشية وحدة التحلية (في حالة أغشية الناضح العكسي والمفوفة حلزونياً) يلزم أن يكون قيمة مقياس العكارة خمسة أول أقل وتكون أقل من ثلاثة في الأغشية الشعيرات المجوفة ، ويلزم إجراء عملية ذا القياس الاختبار لماء التغذية أكثر من مرة ويفضل ثلاث مرات في اليوم الواحد .

أنواع المرشحات (الفلاتر) المستخدمة في وحدات التحلية

تعتبر عملية الترشيح الفعالة جزءاً هاماً وضرورياً في وحدات تحلية وتنقية الماء. وتنقسم المرشحات إلى مجموعتين أساسيتين:

الآلي : المرشحات الرملية والثانية المرشحات الخرطوشية (ذات خرطيش) وتوجد أنواع وأشكال و أحجام متعددة لكلاً المجموعتين ، ويمكن عرضها بصورة مبسطة كما يلي :

المرشحات الرملية Sand (media) filters

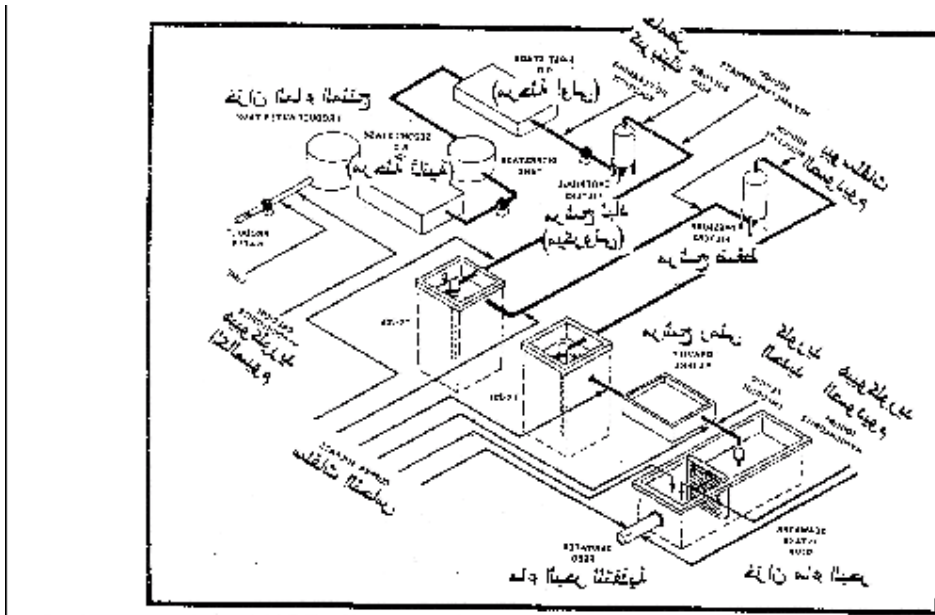
وتعتبر المرشحات الرملية الأساسية والفعالة لكثير من وحدات تحلية المياه. وتتشابه جميعها في طريقة وفكرة العمل باستثناء المادة الوسيطة المستخدمة داخل المرشح، ويصنع جسم المرشح من الصلب أو من الخيوط البلاستيكية المقواة بالزجاج Fiber Glass ولجسم المرشح فتحات لدخول الماء الخام وأخرى لخروج الماء المرشح، شكل ٤ كما يحتوي كل مرشح على مجموعة من المواسير والصمامات التي تمكن من تحقيق عملية الغسيل العكسي للمرشح عند الحاجة. كما يوجد داخل المرشح شبكة لتوزيع المنتظم لسريان الماء. والمادة الوسيطة للمرشح هي مجموعة طبقات من الحصى gravel والرمل sand بدرجات مسامية مختلفة حسب درجة نقاوة الماء المطلوبة.

المرشحات الخرطوشية Cartridge filter

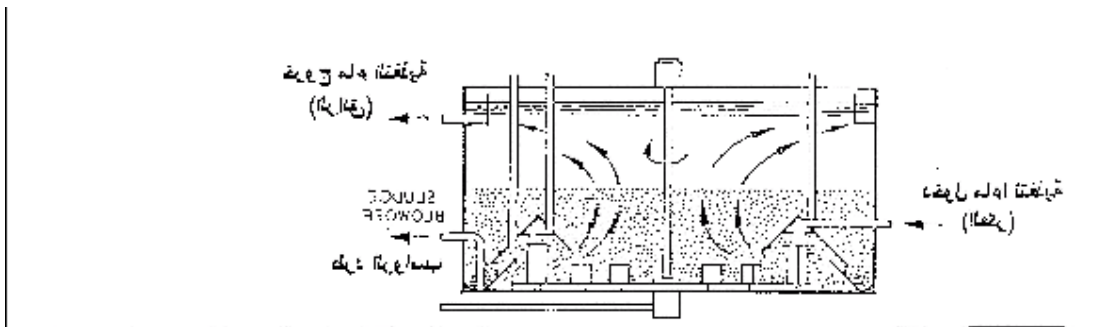
تتكون هذه المرشحات من جزئين هما خرطيش الترشيح والوعاء الحاوي لها. ويصنع الوعاء الحاوي إما من مادة الصلب الذي لا يصدأ أو من لدائن (بلاستيك) من البولي بروبيلين والبولي كربونيت القادر على تحمل ظروف الاستعمال القاسية والتغيرات المتكررة للحرارة والضغط. تورد الخرطيش حسب المواصفات المطلوبة لنقاوة الماء وتتراوح دقة الخرطيش بين ٥ إلى ٣ ميكرون (والميكرون جزء من مليون من المتر) ويمكن استبدال الخرطيش بسهولة انسدادها بالمواد الدقيقة وعالقة بالماء (يتم معرفة ذلك بارتفاع رق الضغط للماء بين الدخول والخروج).

مرشحات أخرى:

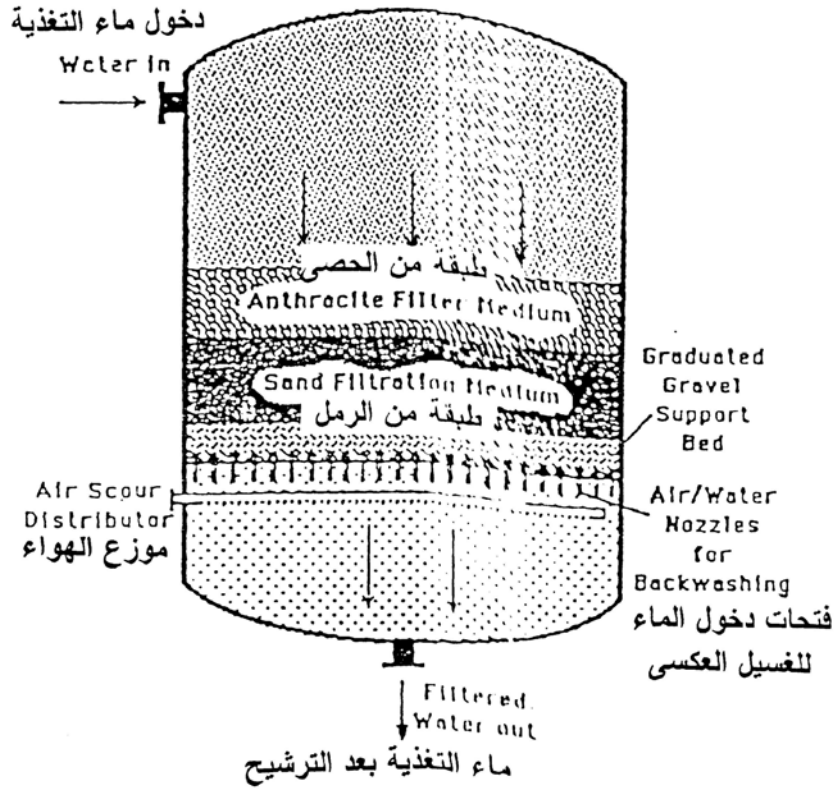
تستخدم بعض المرشحات الأخرى مثل مرشح الكربون المنشط والذي يعمل على التخلص من الكلور الزائد والروائح الغريبة بواسطة الامتصاص الكيميائي. كما يستخدم مرشح إزالة الحديد للتخلص من الحديد بواسطة الأكسدة والترشيح. وتبطن الأجزاء الداخلية المعرضة للماء بالأبوكسي لمنع التآكل ما أمكن ذلك وأما السطوح التي يتعذر تبطينها بالأبوكسي (كالصواميل والمسامير ، وغيرها) فتصنع من مواد مقاومة للتآكل .



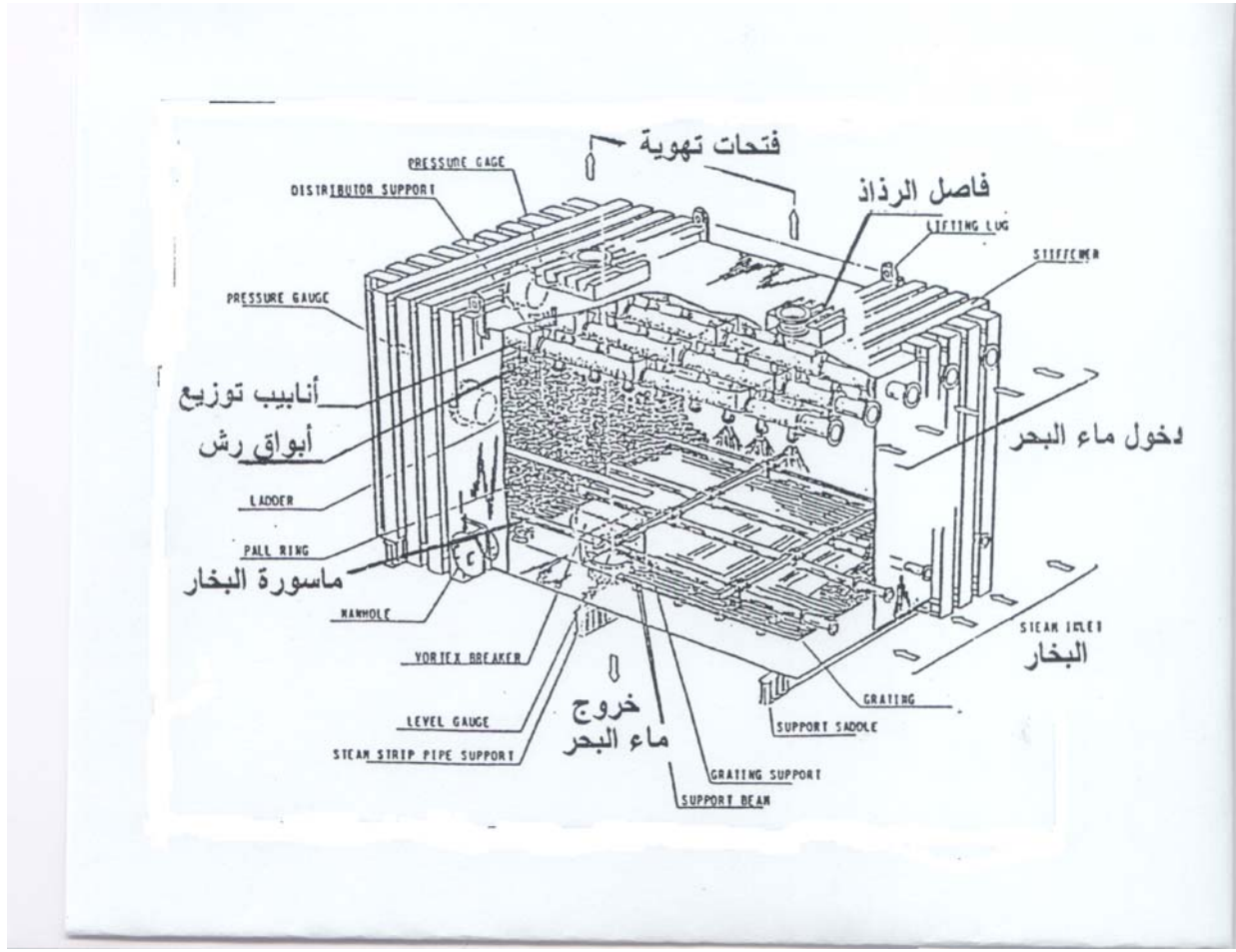
شكل ٢: مواقع حقن الكيماويات في محطة تناضح عكسي



شكل ٢: المروقات

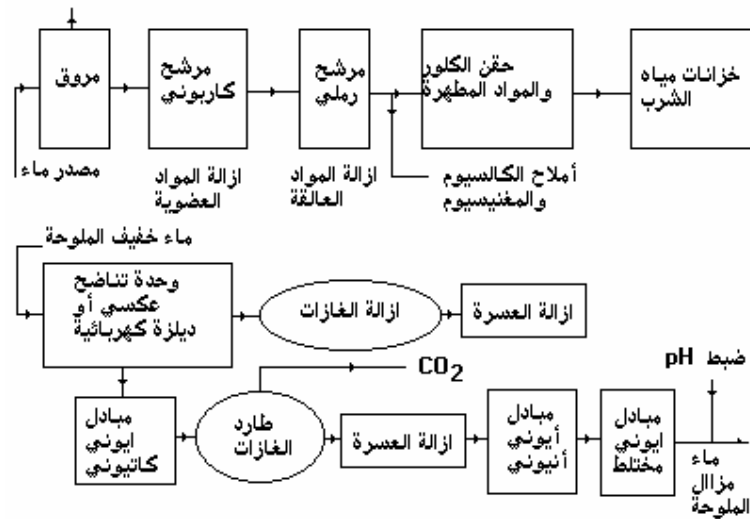


شكل ٤: مرشحات رملية متعددة المحتوى.

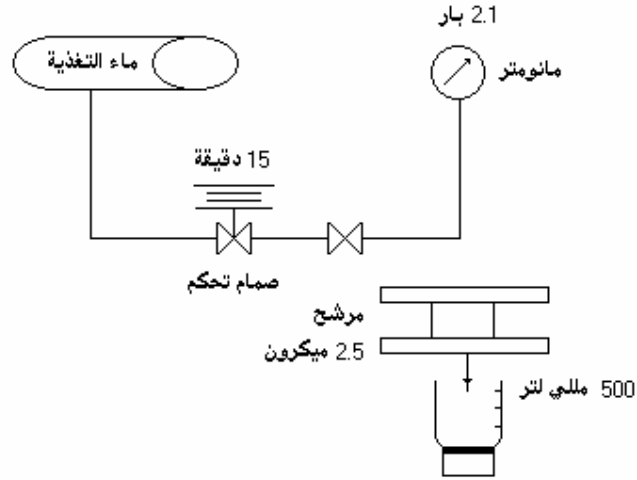


شكل ٥: طرد الهواء

كبريتات الألومنيوم



شكل ٦: تصور عام لمحطة معالجة مياه كاملة



شكل ٧: اختبار العكارة

المعالجة النهائية لمياه التحلية المنتجة

Product Water post Treatment

ما معنى المعالجة النهائية للمياه المنتجة من وحدة التحلية

كثيراً ما تنتج محطات التحلية ماء غير صالح للاستخدام، ومن بعض الخواص اللازمة لضبط الماء المنتج هي:

أ) الطعم والرائحة

ب) درجة حرارته.

ج) العوالق الدقيقة والميكروبات .

د) نسب الأملاح الذائبة .

هـ) القلوية والحامضية والرقم الهيدروجيني pH

و) قدرته على التآكل للمعادن.

فعلى سبيل المثال فإن الماء المقطر والمنتج من المحطات الحرارية يكون شره للتفاعل ويسبب تآكل المعادن التي يمر بها (مثل أنابيب نقل وتوزيع الماء، والمضخات، والخزانات وغيرها) ويمكن قليل شراهة الماء المقطر بإضافة نسبة أملاح قليلة للماء (لتصل إلى حوالي جزء في المليون). ويتم ذلك بخلط جزء صغير من ماء البحر أو البئر ثانياً بالماء المنتج. وأثناء مرور الماء المنتج في طريقه إلى الخزانات يتم حقن وخلط الماء المنتج بنسب محددة -سب معدلات سريان الماء المنتج- من الجير (بيكربونات الكالسيوم وغاز ثاني أكسيد الكربون، وماء البحر ومحلول هيبوكلوريد الصوديوم . وتوجد عادة أجهزة مراقبة وقياس لنسب الأملاح والكلور الزائد والرقم الهيدروجيني وغيرها لضبط كميات الحقن للوصول للمواصفات المطلوبة. وفي ماء التقطير المنتج للشرب يضاف جزء من الجير (بيكربونات الكالسيوم) مع الماء المنتج لضبط نسبة الأملاح به، ولتأثيره الجيد في طعم الماء وفي زيادة نسبة الكالسيوم، وكذلك الرقم الهيدروجيني. أما بالنسبة للاعتبارات الصحية لمياه الشرب، فإن المواصفات المطلوبة تحدد أقصى نسب للمواد العضوية والبكتريا والأملاح والطعم وغيرها.

الترسبات والتآكل

Scaled Deposits and Corrosion

ما معنى وسبب ترسب الأملاح وكيف يمكن علاجها

يعتبر ترسب الشوائب والمواد العالقة Fouling (كالطمي والطحالب والمواد البحرية) وترسب الأملاح والمواد الذائبة (مثل كربونات الكالسيوم والمغنسيوم، وهيدروكسيد الماغنسيوم، وسلفات الكالسيوم والمغنسيوم والسيلكا) من أكثر مشكلات عمليات التحلية أهمية. ففي عمليات التحلية (خاصة الحرارية) يسبب ترسب الأملاح سد أنابيب سريان الماء المالح (وهذا يقلل من معدلات السريان وزيادة الضغط والطاقة اللازمة للمضخات) كما يتسبب ترسب الأملاح أيضاً في تقليل وخفض معدلات انتقال الحرارة على أسطح التبادل الحراري مما يقلل الإنتاجية وكفاءة وفعالية المحطة . وتزداد معدلات الترسب مع زيادة تركيز المحلول المحلي، ومع زيادة درجة الحرارة. فعند زيادة درجة الحرارة تقل قابلية معظم الأملاح للذوبان في الماء فتترسب على جدار الأنابيب التي تمر بها.

وفي المحطات الحرارية تنقسم أنواع الأملاح المترسبة إلى:

أ) ترسبات طرية (مثل ترسبات الطحالب والطمي وكربونات الكالسيوم) يمكن إزالتها ميكانيكياً (بالكرات الاسفنجية) أو كيميائياً (بإضافة بعض المواد الكيميائية - مثل بولي فوسفات الصوديوم والبلجارد - والتي تمنع ترسب الأملاح وتجعلها عالقة مع الماء وتطرد مع الرجيع المطرود) أو تزال هذه الرواسب عن طريق المعالجة الحمضية (بإضافة حامض الكبريتيك المخفف إلى ماء التغذية) وجدير بالذكر أن المحطات المستخدمة للمعالجة الحمضية يمكنها رفع درجة حرارة الماء المالح أعلى من المحطات المستخدمة للمعالجة الكيميائية، ومن ثم ترفع كفاءتها وإنتاجها. إلا أن هذه المعالجة لها محاذيرها من حيث المراقبة والتحكم في التآكل للأنابيب ومكونات وحدة التحلية.

ب) ترسبات صلبة (مثل ترسبات مركبات السلفات والسليكا) والتي لا يمكن إزالتها ميكانيكياً أو كيميائياً بسهولة. وتزداد ترسبات هذه المكونات مع رفع درجات حرارة الماء وعليه تحدد أقصى درجة حرارة للمحلول ومن ثم تحدد من إنتاجية وكفاءة الوحدة. الشكل ٨ بين انخفاض ذوبانية أملاح كبريتات الكالسيوم مع زيادة درجة الحرارة.

أما في محطات الأغشية، فتترسب المواد العالقة والتي لم ترشح وكذلك بعض الأملاح (مع زيادة تركيز الماء المالح خلال مروره بمجمعات الأغشية، وتقلل بذلك القدرة على الذوبان في الماء أو ارتفاع التركيز فوق حالة التشبع) . وتترسب أملاح مثل كربونات/ بيكربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنسيوم،

وسلفات الكالسيوم والسيليكا ، وتتسبب هذه الترسبات في سد شعيرات الغشاء الدقيقة وتقليل إنتاجيتها . وإذا لم تؤخذ المعالجة الأولية للماء الداخل للوحدة مأخذ الجد ، فقد تسد الأغشية في أسابيع ويفقد إنتاجية الوحدة تماماً.

شكل ٨: انخفاض ذوبانية مركبات كبريتات الكالسيوم مع درجة الحرارة.

الرواسب (القشور Scale)

تتكون القشور غالباً من خليط من مركبات مثل كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، هيدروكسيد المغنسيوم Mg(OH)_2 وكبريتات الكالسيوم CaSO_4 أو الجبس كما تتكون من نواتج عملية التآكل ، من أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد .

وتتكون القشور نتيجة أن بعض الأملاح ضعيفة الذوبان في الماء. كما تنخفض الذوبانية بازدياد درجة الحرارة (ذوبانية معكوسة) وكذلك تترسب نتيجة وصول المحلول إلى حالة التشبع من هذا العنصر المذاب، فإذا ما زاد التركيز (نتيجة لخروج الماء العذب بالتحلية) ترسبت الأملاح ومركباتها المشبعة (ملاحظة: تزداد ذوبانية الماء لملح الطعام مع زيادة درجة حرارة الماء في فتقل ذوبانية كبريتات الكالسيوم مع زيادة درجة الحرارة الشكل ٨ ويحتاج تكون الرواسب إلى شرط منها الوصول إلى حالة التشبع ووجود شوائب بدأ الترسيب ، وتوفر الوقت اللازم للترسيب كما تتأثر عملية تكون الترسبات بعدة عوامل منها تركيز المركبات القشرية في ماء التحلية (مثل أيونات كربونات الكالسيوم ، هيدروكسيد المغنسيوم ، كبريتات الكالسيوم) كما تتأثر بعوامل التشغيل لوحدة التحلية مثل نسبة التركيز للمحلول الملحي، درجات الحرارة ، الرقم الهيدروجيني ، القلوية ، زمن التلامس بين الماء والأسطح ، توافر سطوح بدأ نويات الترسيب.

وتترسب المركبات الصلبة - بوجه عام - مثل كبريتات الكالسيوم فوق ١٠٠ م° في حين تترسب مركبات كربونات الكالسيوم عند الدرجة ٧٧ وهيدروكسيد المغنسيوم عند ٨٢ (في حالة زيادة تركيز ماء البحر المالح إلى الضعف) لكن يجب ملاحظة ما يلي :

كربونات الكالسيوم هي أول الأملاح المحتمل ترسبها حتى عند ٦٠ م°.

يترسب هيدروكسيد المغنسيوم فوق ٨٠ م° لكن يمكن أن يترسب في درجة حرارة أقل من ذلك حسب التركيز ومدة الماء مع أسطح تكون القشور.

يبدأ ترسب كبريتات الكالسيوم عند ١٠٠ م° ويمكن ترسيبها في درجة حرارة أقل من ذلك مع زيادة التركيز .

كيف يمكن التحكم في تكوين الرواسب (القشور)؟

التحكم في تكوين الرواسب تعني منعها أو الإقلال من تكونها إلى الحد الأدنى ويتم ذلك عن طريق إعاقة عملية الترسيب وذلك بالتأثير في طرق تكوين الرواسب ونحوها أو جعلها على هيئة غير متماسكة وضعيفة يسهل إزالتها والتخلص منها . ويجب ملاحظة أنه من الصعب جدا المنع الكامل لتكوين الرواسب ، فحتى عند درجات الحرارة المنخفضة وجد عملياً تكون رواسب كبريتات الكالسيوم لكنها نسبة ضعيفة غير مؤثرة بصورة ملحوظة.

وتعتمد عملية التحكم في الرواسب على عدة أسس منها تفادي الوصول إلى مراحل التشبع لمركبات القشور (بخفض درجات الحرارة مثلا) والتفاعل الكيماوي لإزالة المكونات الايونية، إتمام عملية الترسيب بعيداً عن الأسطح الهامة لعملية التخلية مثل أسطح التبادل الحراري في المحطات الحرارية). تؤخذ هذه الاعتبارات أثناء عملية التصميم والتشغيل على السواء فإثناء التصميم يؤخذ في الاعتبار طبيعة الماء المالح المستخدم لعملية التخلية، واحتمال تغيير خواصه موسمياً أو حتى يومياً، كما تؤخذ في الاعتبار نوعية التكنولوجيا والمواد المستخدمة فيها، والاعتبارات الاقتصادية لتكوين القشور. أما من حيث التشغيل فيؤخذ في الاعتبار أقصى درجات حرارة بالوحدة وتوزيع درجات الحرارة ، ومعدل سريان المحلول المركز ، وتأثيره على مدة التلامس بين الماء على الأسطح ، ومعدل طرد المحلول المركز لتأثيره على تركيز المحلول بالوحدة.

وتستخدم عدة طرق لمعالجة الترسبات منها استخدم بعض الأحماض للتخلص من أيونات البيكربونات المسببة لتكوين قشور كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنسيوم (القلوية) وتضاف كمية الحامض تبعاً لقلوية ماء التغذية. ويضاف حمض الكبريتيك المركز (أكثر من ٩٦ ٪ تركيزاً) بحقنه بعد مزجه بالماء. ويقاس الرقم الهيدروجيني لتعاشي زيادة الحمضية للماء وتأثيره السلب بتآكل مكونات

الوحدة وينتج عن إضافة الحامض خفض الرقم الهيدروجيني وخروج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يلزم التخلص منه وتضاف الصودا الكاوية لرفع الرقم الهيدروجيني إلى قرب الرقم ٧. من ناحية أخرى يمكن لبعض المكونات الكيماويات أن تساعد على تأخير تكون الرواسب أو تساعد في جعلها معلقة في المحلول دون ترسيب أو جعلها رخوة غير متماسكة وغير قابلة للالتصاق بأسطح التبادل الحراري، ومن هذه الكيماويات، متعددات الفوسفات (سداسي ميثافوسفات الصوديوم) للتحكم في ترسب كربونات الكالسيوم ، وكذلك مركبات متعدد الكربوكسيلات مثل المركب التجاري المشهور بالبلجارد للتحكم في ترسبات كربونات الكالسيوم ، وهيدروكسيد المغنسيوم . وعلى كل الأحوال، يتم التخلص من الرواسب بطريقة ميكانيكية سواء بتوقف التشغيل وتنظيف المكونات (بالفرش) أو اثناء التشغيل بالكرات الأسفنجية كما تستخدم الوسائل الكيماوية (مثل أحماض الهيدروكلوريك أو الكبريتيك أو الستريك ، أو السفاميك المخفف)

سبب التآكل :

التآكل هو انهيار وضعف المواد - خاصة المعدنية - نتيجة تفاعلها مع الجو المحيط بها كيميائياً ، والصدأ المعروف لنا جميعاً هو نوع من أنواع التآكل للمواد الحديدية - حيث تتكون مركبات أكاسيد الحديدوز - ويتسبب التآكل في انهيار وضعف المواد نتيجة تغيير حالة المواد وتحولها إلى مركبات ضعيفة كالأكاسيد ، وتكون فجوات وشروخ في المعدن . وقد يسبب التآكل انفجار الأنابيب والأوعية ذات الضغط المرتفع ، أو تسبب تسرب عناصر غير مرغوب فيها (مثل الماء المالح إلى الماء العذب فيقلل من جودته وصلاحيته). مما يؤدي إلى أعطال قد تسبب التوقف المتكرر للوحدات ومن ثم نقص الإنتاج.

والسبب العام للتآكل هو أن المواد المستخدمة في تصنيع وحدات التحلية عادة ما تكون غير متجانسة (سواء تواجد أكثر من مادة متلاصقة معاً أو أن المادة الواحدة يكون بها شوائب من عناصر أخرى) وعند وضعها في محلول موصل للكهرباء (كالماء المالح) يتولد أقطاب موجبة وسالبة بين المدة وجارتها أو مع نفسها (مع الشوائب بها) ويتسبب ذلك في تكون دوائر كهربية دقيقة وانتقال أيونات من المادة الضعيفة كيميائياً إلى المحلول مما يضعف المادة ويسبب التآكل (كأن المحلول يأكل المادة) شكل ٩. وجود غازات ذائبة بالماء كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون في إحداث وزيادة معدلات التآكل.

طرق علاج التآكل :

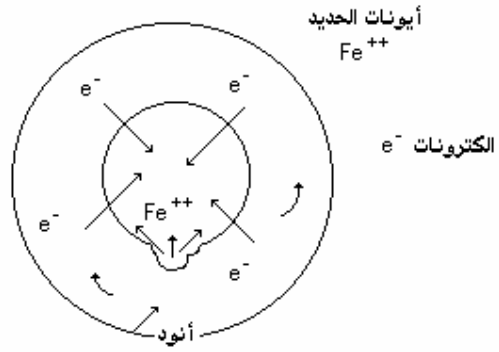
تتم عملية معالجة مشكلات التآكل عامة بعدة طرق منها :

أ) إزالة مسببات التآكل في الماء مثل إزالة الغازات الذائبة بالماء كالأكسجين وثنائي أكسيد الكربون ، ويتم ذلك من خلال عملية طرد الغازات للماء الداخل للوحدة وإضافة مواد ماصة للأكسجين الذائب - مثل بيوسلفات الصوديوم ،

ب) الحماية الكاثودية وفيها توضع مواد غير ثمينة التكاليف لتعمل كأقطاب يتم تأكلها من خلال الدائرة الكهربائية ومن ثم التضحية بها والمحافظة على المادة الأساسية لوحدة التحلية ، كذلك يمكن عمل دائرة كهربائية معاكسة لمنع (أو إضعاف) تأثير الدائرة الأساسية والمحافظة على كلا المادتين.

ج) الدهان أو التغطية بطبقة مادة حماية (مثل الصلب غير القابل للتآكل ، أو سبائك النحاس) ، وأحيانا بطبقة من المطاط أو البلاستيك أو الخرسانة أو الفيبرجلاس (في حدود درجات الحرارة التي تتحملها هذه المواد) .

د) استخدام مثبطات التآكل: ويمكن التحكم في التآكل أما بالاختيار الأمثل للمعادن المستخدمة أو التدخل بالوسط والبيئة التي تتعرض لها هذه المواد. فمع أخذ الاعتبارات الاقتصادية (من حيث تكاليف المواد ، يجب اختيار المواد ، المقاومة للتآكل تحت ظروف التشغيل المختلفة التي يمكن أن تتعرض لها هذه المواد وطرق تصنيعها والاجهادات المعرضة لها لجعلها أكثر مقاومة. كما يؤخذ في الاعتبار حسن اختيار وتجنب الأزواج المعدنية التي تكون دوائر كهربائية شديدة التأثير فاختيار مواد مقاومة للتآكل (ولو مرتفعة الثمن) قد يكون أفضل من استخدام مواد رخيصة الثمن وتتآكل وتسبب توقف مستمر للوحدة (للصيانة ومعالجة الأمر) مثلا تستخدم مواد مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم للتآكل وسبائك النحاس والنيكل (٧٠ - ٣٠ ، أو ٩٠ - ١٠) أو استخدام مادة التيتانيوم العالي المقاومة للتآكل. والجدول ٢ يبين تدرج المواد من حيث مقاومتها على التآكل مع مياه البحر.



شكل ٩: تآكل الأنودي

جدول ٢: ترتيب بعض المواد من حيث قدرتها على مقاومة التآكل:

| المادة | |
|--|--------------------|
| التيتانيوم | أعلى |
| صلب لا يصدأ نوع ٣١٦ | مقاومة |
| سبيكة المونيل | للتآكل |
| سبيكة نحاس / نيكل ٣٠/٧٠ (٧٠ نحاس ٣٠ نيكل ٠,٥ حديد) | |
| سبيكة نحاس / نيكل ١٠/٩٠ (٩٠ نحاس ١٠ نيكل ٠,٨ حديد) | |
| النحاس الاصفر - المونيوم | |
| برونز / المونيوم ١٠ % | |
| برونز | |
| النحاس الاصفر الاميرالي | |
| الحديد الزهر | |
| الصلب العادي | |
| | أدنى مقاومة للتآكل |

ومثبطات التآكل هي مواد كيميائية (عضوية أو غير عضوية) تضاف بنسب ضئيلة جدا لإعاقة التفاعلات أو تثبيطها. ومن هذه المثبطات مركبات الفوسفات، والكبريتات، والكرومات والسيكات، وغيرها.

= ما هي العوامل التي تؤثر على معدلات التآكل في المياه المالحة؟

توجد عدة عوامل تؤثر على زيادة معدلات التآكل في المياه المالحة مثل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون الذائب في الماء والرقم الهيدروجيني للماء، ودرجة الحرارة، سرعة سريان الماء، ونسبة الكلور وغير ذلك.

وتساعد الغازات الذائبة مثل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون على زيادة معدل تآكل الصلب وسبائك النحاس، لذا يجب نزع الغازات من مياه التغذية قبل دخولها للوحدة. وتتزايد معدلات التآكل من خفض الرقم الهيدروجيني حيث يتحول الماء إلى الصورة الحمضية، لذا يجب المحافظة على الرقم

الهيدروجيني إلى ما بين ٧ - ٨. كما يؤثر ارتفاع درجة الحرارة على زيادة معدلات التآكل بصورة ملحوظة. كذلك سرعة سريان الماء بالوحدة خاصة إذا كان الماء به غازات ذائبة كالأكسجين. كذلك يؤدي تواجد الكلور الزائد بالماء إلى زيادة معدلات التآكل. هل يسبب الماء المقطر تآكل في المحطات الحرارية؟

يتمتع الماء المقطر بشراهة لإحداث التآكل بسبب خلوه من الأيونات الذائبة به. ويكون له القدرة على مهاجمة بعض المواد الإنشائية (مثل الجير الحي في الخرسانة) المستخدمة في التخزين والتوزيع للمياه المنتجة، كما يذيب القشور الملحية المترسبة على مواسير نقل الماء، ويؤدي على تآكل الأنابيب الحديدية (صدأ) خاصة مع توفر الأكسجين الذائب لذا فإن إضافة بعض الأملاح للماء المقطر تكبح جماح شراهة الماء للتآكل. ومن هذه الإضافات كربونات الصوديوم، الجير كربونات الكالسيوم إلخ وتعتبر الأخيرة من أقوى مانعات التآكل المستخدمة في الماء المنتج. وفي هذه الحالة تجري المعالجة بخلط الماء المنتج. بكميات من الماء المالح (ماء الآبار)، أو تحضير كربونات الكالسيوم من تمرير ثاني أكسيد الكربون على الجير الحي.

ماذا يحدث لمحلول الرجيع المركز؟

إن العامل المشترك في كل عمليات التحلية هو إنتاج الرجيع المركز (يسمى أيضاً محلول ملحي، رجيع مطرود، أو تدفق منبوز). وهذا المحلول يحتوي على الأملاح الزائدة التي تركت من مياه التغذية لإنتاج المياه العذبة، ويحتوي كذلك على المواد الكيماوية التي أضيفت أثناء عملية التحلية وأي نسبة من الترسبات من الماء أو التفاعلات الداخلية للعملية. غير أنه غالباً ما يشمل نسبة كبيرة من الماء وللتخلص من هذا الماء المخلف بطريقة صحيحة (للمحافظة على البيئة) يعود للبحر إذا كان موقع محطة التحلية قريباً من البحر، فإن ذلك يقلل من إمكانية حدوث مشكلة، ذلك لأن عنصر التلوث الرئيسي في التدفق المركز هو الملح الذي لا يسبب أي مشكلة بالنسبة للبحر. إلا أنه يجب في نفس الوقت أن يؤخذ في الاعتبار إمكانية وجود مشكلة من المحتويات الإضافية مثل الكيماويات ودرجة حرارة الماء، ويجب الأخذ في الاعتبار عدم تلوث أي أرض أو سطح مائي بالأملاح والكيماويات الموجودة في الرجيع المركز. والجدول ٣ يوضح بعض المعايير والمواصفات لبعض المواد والعناصر قبل تصريفها في البيئة البحرية، والمحددة من وزارة شؤون البيئة في مصر ولاحظ بعض السلبات في هذه المعايير (والتي يتم دراستها الآن) وهي أن مجموع المواد الصلبة لا تزيد عن ٢٠٠٠ جزء في المليون وهذا صعب وشبه مستحيل في حالة ما إذا كان ماء التغذية نفسه قرب أو أعلى من ٢٠٠٠ جزء في المليون .

كما أن هناك مشكلة واضحة تأتي من إنشاء محطة تحلية في المناطق الداخلية بعيداً عن جسم مائي كبير. ويشمل التخلص تخفيف المحلول أو حقن المحلول المركز في صخور حاملة للمياه المالحة ، أو تبخيره ، أو نقله بالأنابيب إلى نقطة التخلص. وكل هذه الوسائل تضاف على تكلفة علمية التحلية . ويجب أن تكون وسائل التخلص من الرجيع الملحي أحد المواضيع التي يجب بحثها في أي دراسة جدوى اقتصادية لمحطة تحلية المياه المالحة. وتكلفة التخلص من الرجيع المركز يمكن أن تؤثر تأثيراً عكسياً على اقتصاديات التحلية.

الجدول ٣: المعايير و المواصفات لبعض المواد عند تصريفها في البيئة البحرية:

| البيان | الحد الأقصى للمعايير و المواصفات: mg/L (ما لم يذكر غير ذلك) |
|----------------|---|
| | |
| pH | - |
| Colour | |
| B.O.D | |
| C.O.D | |
| T.D.S | |
| | |
| Turbidity | NTU |
| | |
| Oils & Creases | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| () | |
| | |
| | |

| | |
|---|--|
| | |
| / | |
| / | |
| | |
| / | |
| / | |
| / | |
| | |
| / | |
| | |
| | |
| / | |
| / | |
| | |



تحلية المياه

تمارين نموذجية

تمارين نموذجية

٥

تمارين نموذجية

التمرين النموذجي الأول

ماء بحر يدخل محطة (MSF) عند 30°C درجة ويخرج من مقطع استرجاع الحرارة عند 90°C . احسب معامل الأداء لهذه المحطة إذا كانت الحرارة النوعية للماء ($4.22 \text{ kJ}/(\text{kg } ^{\circ}\text{C})$ و الحرارة الكامنة للتبخير $2330 \text{ kJ}/\text{kg}$ ؟

التمرين النموذجي الثاني

إذا كانت إحدى محطات التحلية بطريقة التناضح العكسي تستخدم 1000 kg كل يوم من ماء البحر حيث نسبة الأملاح فيه 15000 ppm وكانت نسبة الأملاح الذائبة في المنتج 1500 ppm إذا علمت أنه استخلص 30% من مياه التغذية احسب:

- ١ - كمية ما تنتجه المحطة لكل ساعة بوحدة ؟
- ٢ - نسبة الأملاح المئوية مع الماء العذب؟
- ٣ - نسبة الملاح في ماء الرجيع بوحدة ppm و المئوية؟

التمرين النموذجي الثالث

محطة تجريبية (MEE) ذات مؤثر واحد و مكثف. كمية البخار الذي يصل اليه من الغلاية و المستخدم في تبخير ماء البحر يعادل 120% من البخار المنتج من المؤثر الذي تبلغ كميته $1800 \text{ kg}/\text{hr}$. كمية المحلول الملحي المطرود من المؤثر تعادل كمية البخار المنتج منه. الفرق بين درجة حرارة ماء البحر الداخل إلى المؤثر ودرجة حرارة البخار المنتج منه 25°C . احسب ما يلي.

- كمية البخار القادم من الغلاية؟
- كمية المحلول الرجيع؟
- كمية الماء الداخل في المؤثر؟
- كمية الماء المستخدم للتبريد فقط؟
- معامل أداء المحطة؟
- ارسم نموذجاً لهذه المحطة؟

المعطيات:

$$C_p = 1.2 \text{ kcal}/(\text{kg } ^{\circ}\text{C}) \quad H_v = 540 \text{ kcal}/\text{kg}$$

التمرين النموذجي الرابع

ماء بحر يدخل إلى محطة تبخير ومضي متعدد المراحل ذات نظام مرور أحادي عند بمعدل 6000 kg/min يستخدم لرفع درجة حرارته إلى 95°C في المسخن بخار ماء كميته 560 kg/min . إذا علمت أن الحرارة الكامنة للتبخير 1000 kcal/kg والحرارة النوعية لماء البحر $(1.5 \text{ kcal/(kg } ^\circ\text{C)})$ أوجد:

- درجة حرارة ماء البحر الداخل إلى المحطة؟
- درجة حرارة ماء البحر الداخل إلى المسخن؟
- درجة حرارة ماء البحر الخارج من المسخن؟
- معامل أداء المحطة؟
- ارسم المحطة ووضح عليها أجزاءها والمعلومات المتصلة بها؟

التمرين النموذجي الخامس

في إحدى محطات التحلية العاملة بالتناضح العكسي كانت كمية الماء الداخل إليها $1500 \text{ m}^3/\text{day}$ ، وكان يستخلص 30% منه كماء عذب يحتوي على 2500 ppm من الملح المذاب. إذا كانت نسبة أملاح ماء البحر فاحسب.

- كمية ما تنتجه المحطة من الماء العذب بالكيلوجرام لكل ساعة؟
- إنتاجية المحطة؟
- نسبة الأملاح التي عبرت مع الماء العذب؟
- نسبة الأملاح التي بقيت في الرجيع؟

التمرين النموذجي السادس

في إحدى محطات التحلية بطريقة RO تنتج 1500 جالون في اليوم وتبلغ نسبة الأملاح في المنتج 2500 ppm ونسبة الأملاح في مياه التغذية 25000 ppm ونسبة الرجيع من التغذية 60% . احسب جميع الكميات الداخلة و الخارجة للمحطة من ماء و أملاح مع نسب الأملاح كلها.

التمرين النموذجي السابع

تنتج إحدى المحطات للتحلية بطريقة RO $4400 \text{ m}^3/\text{day}$ من الماء الذي تبلغ مجموع الأملاح الذائبة فيه 900 ppm . تستخدم هذه المحطة مياه جوفية يبلغ مجموع الأملاح الذائبة فيها 2500 ppm . كما يبلغ الرجيع الملحي % 50 من مياه التغذية.

احسب:

- كمية مياه التغذية؟
- كمية الرجيع؟
- كمية الأملاح في الرجيع؟

١ - ك، س شبيجلر - ترجمة مصطفى محمد السيد - ،

تنقية المياه الملحة

مركز النشر العلمي، جدة، ١٩٨٧

٢ - تحلية المياه المالحة في المملكة العربية السعودية، نشأتها، تطورها، دورها في التنمية.

المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، ١٤١٩ هـ

٣ - حسن البنا سعد فتح

تكنولوجيا تحلية المياه

الدار الجامعية، طبع، نشر توزيع، ٢٠٠١، ج.م.ع

٤- Geankoplis, C, Transport Processes and Unit Opetartions

٣th edt, Printice Hall International Inc, USA, ١٩٨٣

| الصفحة | الموضوع |
|--------|---|
| ٣ | الوحدة الأولى: مصادر المياه |
| ٤ | الدورة الهيدرولوجية للمياه |
| ١٠ | مواصفات المياه من مصادرها الطبيعية |
| ١١ | استخدامات الماء المختلفة والمواصفات اللازمة لها |
| | الاستخدامات الأدمية |
| ١٥ | الوحدة الثانية: طرق تحلية المياه المالحة |
| ١٧ | التحلية بالتبخير الومضي |
| ٤١ | التحلية بضغط البخار |
| ٥٧ | التناضح العكسي |
| ٨٠ | التبادل الأيوني |
| | الوحدة الثالثة: التحلية بالملكة |
| | الوحدة الرابعة: معالجة المياه |
| ٨٩ | المعالجة الأولية أهمية المعالجة الأولية على أداء وحدات التناضح العكسي |
| ٩١ | مكونات منظومة الدخول و المعالجة الأولية لمياه التغذية |
| ٩٢ | أهمية العكارة و ما هي طرق معالجتها |
| ٩٢ | اختبار العكارة |
| ٩٢ | أنواع المرشحات |
| ٩٨ | المعالجة النهائية |

| | |
|-----|--|
| ٩٩ | الترسبات و التآكل |
| ١٠٠ | الرواسب |
| ١٠١ | كيف يمكن التحكم في تكوين الرواسب |
| ١٠٢ | سبب التآكل |
| ١٠٣ | طرق علاج التآكل |
| ١٠٩ | الوحدة الخامسة : تمارين نموذجية |
| ١١٢ | المراجع |

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS