التحليه المياه

Desalination of water

ڕاپۆرتێکی زانستی ئەندازیاریە

بۆ مەبەستی بەرزکردنەوی پلەی ئەندازیاری

لە (ڕێپێدراوە بۆ ڕاوێژکار)

پێشکەش کار: عثمان محی الدین عبدالله

پلەی ئەندازیاری: ڕێپێدراو

ژمارەی ئەندامیەتی: ٤١٧١

الفهرس

1. اهميه مياه للحياه
2. مبادئ و تعاريف تحلية المياه
   - تحليه مياه
   - المعالجة الأولية
   - المعالجة النهائية
   - الفرق بين كلمة التحلية (Desalination) وكلمة التقطير (Distillation)
   - نبذة تاريخية عن تكنولوجيا (تقنية) تحلية المياه
   - التكنولوجيات المستخدمة لتحلية المياه
   - عوامل إستخدام كل نوع من تكنولوجيات التحلية
   - إستخدام التحلية كبديل مع مراعاة تكلفة الإنتاج للمتر المكعب
   - تأثير تكنولوجيات التحلية على البيئة

تحلية المياه بنظرية التناضح العكسى

- تكنولوجيا تحلية المياه بالأغشية
- التناضح العكسي
- وقت ظهور عملية التناضح العكسي
- كيفية إتمام عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي
- تكون الأغشية وطريقة عملها
- مقارنة بين أغشية التناضح العكسي
- أهم عناصر تقييم أداء وحدة التناضح العكسي
- العوامل المؤثرة علي أداء تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي
- المعالجة الأولية والنهائية لمياه التحلية و النظم المساعدة
- الفرق بين التحلية ومعالجة المياه بوجه عام

الختام

مقدمة :أهمية المياه للحياه

لا جدال في أن الهواء والماء هما روح الحياة علي ظهر الأرض فلقد خلق الله الهواء حراً طليقاً يحيط بالكرة الأرضية لم يحرم منه مكان في البر و البحر، وهو وافر وفرة لا حد لها يغترف منه كل من يريد كيفما يحلو له فلا يحس أحد النقص أو الحاجة.

أما الماء فأمره عجيب على سطح الارض , إنه هو الأخر وافر وفره لا حد لها ؟ فعلى سطح الأرض يوجد حوالى 320 مليون ميل مكعب من الماء لكن 99 %من هذا الماء مالح ال يصلح للشرب أو الزراعة أو الإستخدام الآدمي , وحتى هذا الواحد في المائة من الماء العذب مقسم قسمة غريبة على بقاع الأرض، فبعضها شاء الله سبحانه وتعالى أن يكون في سخاء شديد حتى يغرقه الماء و يغض به ، وبعضها تمسك عنه إمساكا مروعا يحترق إلى قطرة واحدة . وكثير من الأراضي الزراعية تروى بما يهطل عليها من ماء المطر و التي لا تظفر منه بالقدر الكافي فإنها هي التي تتطلب مدها بالماء وتبلغ مساحة الأراضي التي أمكن توفير الرى لها في العالم أجمع 238 مليون فدان فقط وهذه المساحة لا تزيد عن 2 %من مساحة الصحارى التي لم يتهيئ لها الماء فعاشت الأراضي قاحلة لا زرع فيها ولا حياة. و الماء حقيقة أعظم مادة خلقها الله و دليل ذلك أنه لم يرد ذكر مادة في القرآن الكريم بتعداد ما ذكر الماء (ذكر الماء في ستين آية من آيات القرآن الكريم (، ولقد كرمه الله فكان عرشه جل شأنه على الماء.

" وهو الذي خلق السموات ، و الأرض وكان عرشه على الماء ليبلوكم أيكم أحسن عملاً (سورة هود)ثم باركه فجعل منه صور الحياة كلها " وجعلنا من الماء كل شيء حي " (سورة االنبياء –30) "والله خلق كل دابة من ماء " (سورة النور – 45) " وهو الذي خلق من الماء بشرا فجعله نسبا و صهرا وكان ربك قديرا " (سورة الفرقان – 54) .

وكذلك ذكر الماء في مواضع كثيرة مختلفة مثل .

الماء وإحياء االرض بعد موتها (الزراعة) , الماء ومثل الحياة الدنيا " إنما مثل الحياة الدنيا كمثل ماء أنزلناه من السماء فاختلط به نبات الأرض مما يأكل الناس و الأنعام ... الآية " (يونس-24) سلوك الماء في الأودية و كينابيع في االرض (المياه الجوفية و المياه السطحية), الرياح و تكون السحب و سقوط الأمطار , الماء العذب الفرات و الماء الملح الأجاج ... و غير ذلك كثير.

كما تقوم حياة الكائنات الحية عامة على الماء "و الله خلق كل دآبة من مـاء " (سورة النور – آية 45)وكذلك كان خلق الإنسان خاصة من الماء ، فالإنسان في بـدء خلقـه كـان من الماء " وهو الذي خلق من الماء بشرا فجعله نسبا و صهرا و كان ربك قديرا " (سورة الفرقان- الآية 54) .ومعظم جسم الجنين ماء، و الطفل الرضيع إذا كان يزن 5 كجم فإن أربعة منها ماء . و تقل النسبة إلى نحو الثلثين من وزن جسم البالغ ، أي أن الماء يدخل في تكوين جسم االنسان بنحو 67 % وإذا فقد الإنسان 12 % من هذه النسبة فسوف يتعرض للموت. فالماء يدخل و يخرج من جسم الإنسان ضمن العمليات الكيماوية و الفسيولوجية المختلفة لجسم الإنسان في نظام متقن وتوازن تام.

و مصادر الماء لجسم الإنسان هي ماء الشرب (و تمثل حوالي النصف أي 50 % .من إحتياج الجسم) ، والماء الموجود في الطعام ، كالخضر و الفاكهة وغيرها) وتمثل 33 % من إحتياج الجسم (أما الجزء الثالث (ويمثل 17 % من إحتياج الجسم) فمن حرق الجسم للسكريات و الدهون و النشويات المختزنة بالجسم، وعليه لا يستطيع الإنسان الحياة بدون الماء إلا أياما معدودة.

مبادئ و تعاريف تحلية المياه

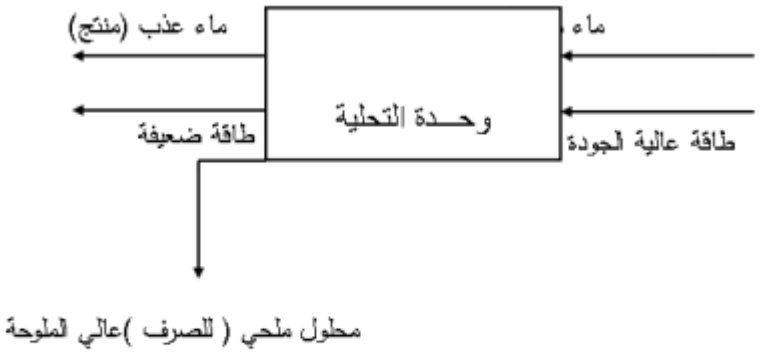
تحلية المياه

كلمة التحلية المتداولة بين الناس تعنى تحويل الماء المالح إلى ماء عذب (ماء حلو)، وهى عكس (ماء ملحي أو مالح). وقد تكون كلمة " تحلية " مشتقة من الكلمة االنجليزية (Water) Sweet أي ماء " حلو " صالح لإلستخدام . والمعنى العالمي والتعبير االفضل علمياً والمستخدم كثيراً هو كلمة إزالة (أو تقليل الملوحة) من الماء المالح ليتحول إلى الملوحة (Desalting) إزالة ، ألن العملية تعنى فعالً ماء حلو أو عذب، والكلمة االفضل لغوياً هي كلمة "إعذاب الماء" ، أو أحيانا تستخدم كلمة تعذيب الماء . أي كما ذكر في القرآن جعله عذبا سائغ شرابه.

ومعنى تحلية الماء ، أو إعذاب الماء ، أو إزالة الملوحة هي تحويل الماء المالح إلى ماء عذب لذا أحيانا تسمى هذه العملية عملية تحويل(process Conversion)، (وأحيانا تسمى عملية فصل الملح (Separation Salts)أي فصل الملح من الماء المالح ليكون الباقي ماء عذب صالح إلستخدام االنسان وغير ضار بصحته . وبالنسبة العادية والمتداولة لملوحة ماء الشرب هي حوالي من 333 733 -جزء في المليون من االمالح الذائبة، والحد االقصى المسموح به عالمياً هو 9333 جزء في المليون . والشكل رقم 5-9 يوضح بوجه عام عملية التحلية ، حيث يدخل الماء المالح باإلضافة إلى الطاقة الالزمة)ذات مستوى طاقة مرتفع . مثل الطاقة الكهربية أو الحرارية (، وينفصل الماء العذب ويجمع ويخرج كمنتج(Product Water (أما المحلول الملحى المركز (Brine) الباقي من العملية فيطرد كمحلول طرد (صرف). Rejected Brine Or Blow Down

المعالجة الأولية

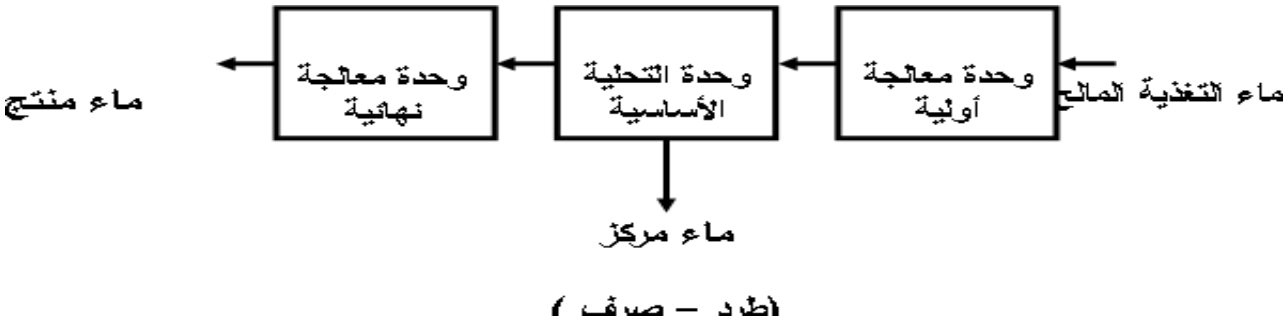
ماء التغذية المستخدم في كل تكنولوجيات التحلية يحتاج لعمليات معالجة أولية(treatment-Pre) للماء (لازالة المواد العالقة)من الطمي والرمال وغيرها ، وكذلك إزالة الغازات الذائبة ، وقتل والتخلص من الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات والبكتريا والطحالب). وتساعد عملية المعالجة االولية لماء التغذية على المحافظة على وحدة التحلية من التآكل و الصدأ، ومن تكون الرواسب (على أسطح الوحدة الحرارية ، أو على االغشية.)



شكل رقم 4-1 : عملية التحلية (إزالة الملوحة / فصل الملح / إعذاب الماء).

المعالجة النهائية

يتم عمل معالجة نهائية للماء المنتج من وحدات التحلية(Post Treatment) لضبط الخواص الفيزيائية والكيميائية بما يناسب نوعية الإستخدام ،(فالماء اللازم للشرب يختلف عن الماء اللازم للعمليات الصناعية أو للغاليات البخارية مثلاً) والشكل رقم 4-2 يبين المكونات الأساسية لمحطة التحلية .



شكل رقم 4-2 : المكونات ألساسية لمحطة التحلية

الفرق بين كلمة التحلية (Desalination) وكلمة التقطير (Distillation)

كلمة(Desalination / Desalting) هي الكلمة العامة لإزالة الملوحة أو التحلية ويمكن تقسيم الكلمة إلي (De) أي إزالة ، ثم كلمة (Saline/ Salt) أي الملح أو المالح (الملحي) وعليه فكلمة (De Slain) أو (De - Salt) تعني إزالة الملوحة، ويندرج تحت هذه الكلمة جميع طرق التحلية أو إزالة الملوحة . ومن هذه الطرق العديدة للتحلية ، طريقة فصل الماء العذب من الماء المالح عن طريق تبخيره ثم تكثيفه . وتسمي هذه الطريقة بالتقطير (Distillation) ،(وعليه فطريقة التقطير (Distillation) هي إحدى طرق التحلية العامة(Desalination).

نبذة تاريخية عن تكنولوجيا (تقنية) تحلية المياه

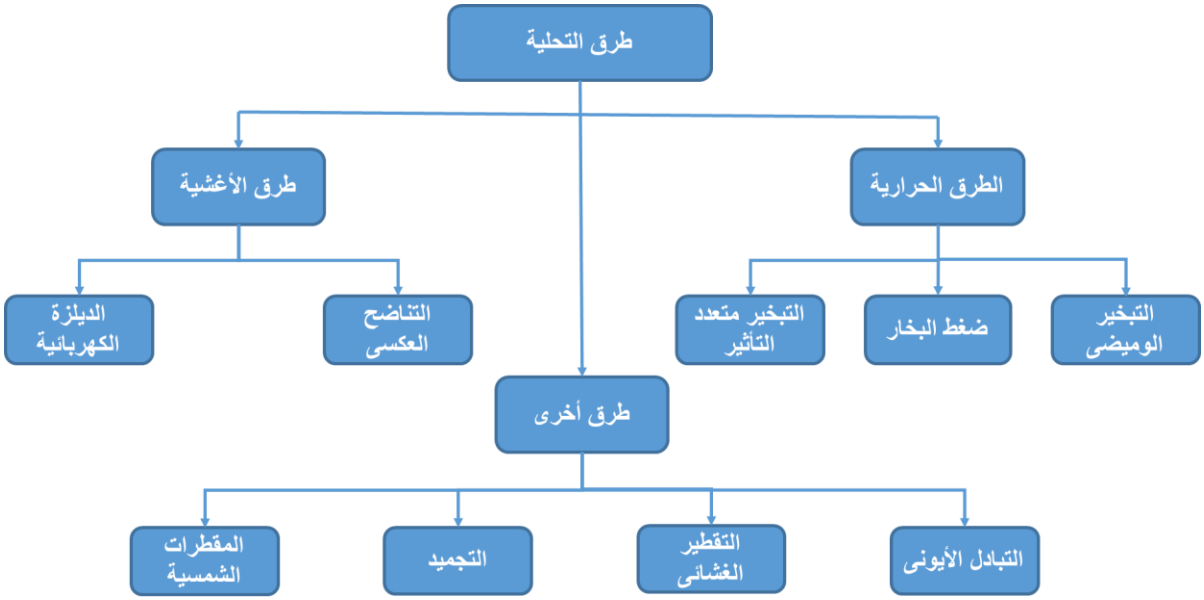
عرفت تكنولوجيا تحلية المياه منذ زمن بعيد، فقد كانت هناك حاجة مستمرة للمياه العذبة للسفن المبحرة . في البحار والمحيطات والتي تقضي وقتا طويلا عن مصادر المياه العذبة. وحاول الإنسان بدلاً من حمل المياه علي سطح السفن ، أن يتم تحليتها من البحار بالتبخير والتكثيف (عملية التقطير لمياه البحر)وذلك بالإستفادة من حرارة العادم الخارج من محركات السفن أو مطابخها، وقد إستخدمت تكنولوجيا تحلية مياه البحر خلال القرن التاسع عشر بنجاح ضئيل بسبب التكلفة العالية لإنتاج الماء العذب . وتم تطوير تقنيات التحلية خلال الحرب العالمية الثانية، وذلك عندما إحتاجت مجموعات كبيرة من الجنود للمياه العذبة . ثم تبع الحرب العالمية سلسلة متوالية من التطوير، ودعم أبحاث التحلية حتى تطورت إلى ما هو عليه الآن. فقد طورت الوحدات الحرارية في الستينات ، وبدأ إستخدام الأغشية في السبيعنات وفي الثمانينات. صارت تقنيات التحلية من التقنيات التجارية والمناسبة إقتصاديا للعديد من التطبيقات.

التكنولوجيات المستخدمة لتحلية المياه

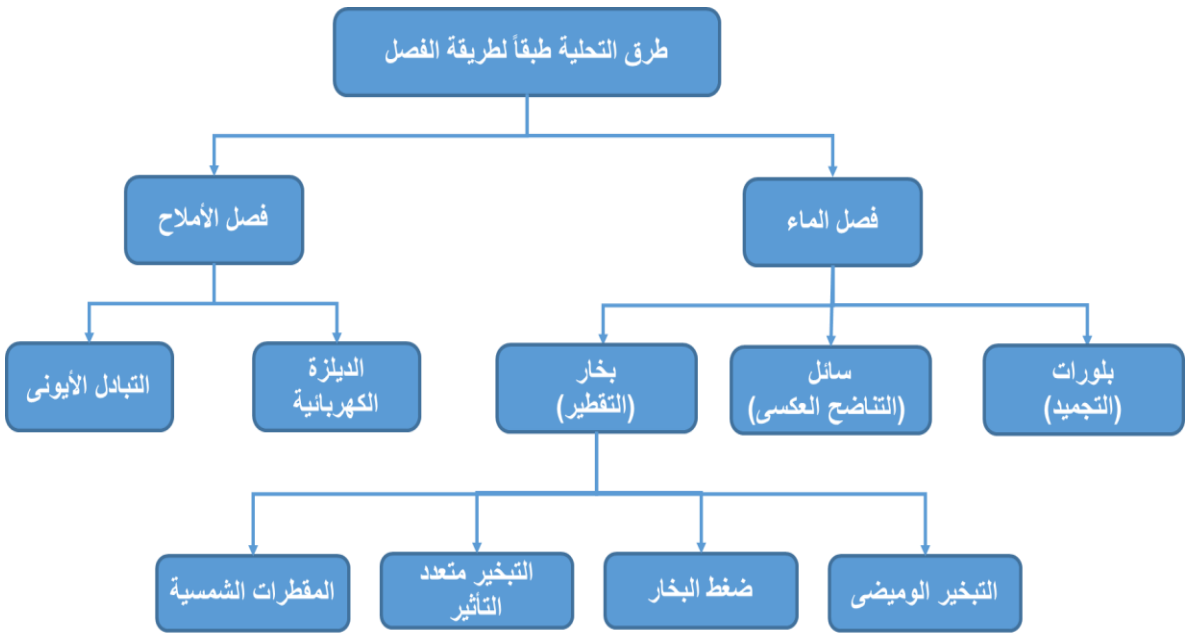
الشكل رقم 4-3 يوضح تقسيمات طرق التحلية ، وهي تنقسم بوجه عام إلى :-

1. الطرق الحرارية (التقطير) مثل
   - طريقة التبخر الومضي متعدد المراحل Multi Stage (MSF) Flash
   - طريقة التبخر متعدد التأثير (Multi Effect) ME / MED Desalination
   - طريقة ضغط البخار Vapor Compression (VC)
2. طرق الأغشية مثل
   - طريقة التناضح العكسي Reverse Osmosis (RO)
   - طريقة الديلزه الكهربية Electro Dialysis Reverse (ED/EDR)
3. طرق أخرى مثل
   - طريقة التبادل الأيونى Ion Exchange
   - التقطير الغشائي Membrane Distillation
   - طريقة التجميد Freezing
   - المقطرات الشمسية Solar Distillation

كما تنقسم هذه الطرق أيضا إلى طرق فصل الماء العذب (عن المحلول المالح) ، أو طرق فصل الملح وترك الماء العذب وذلك طبقاً للشكل رقم 4-4 الذي يوضح طرق تحلية المياه السابقة حسب تقسيمات فصل الماء أو فصل الملح.



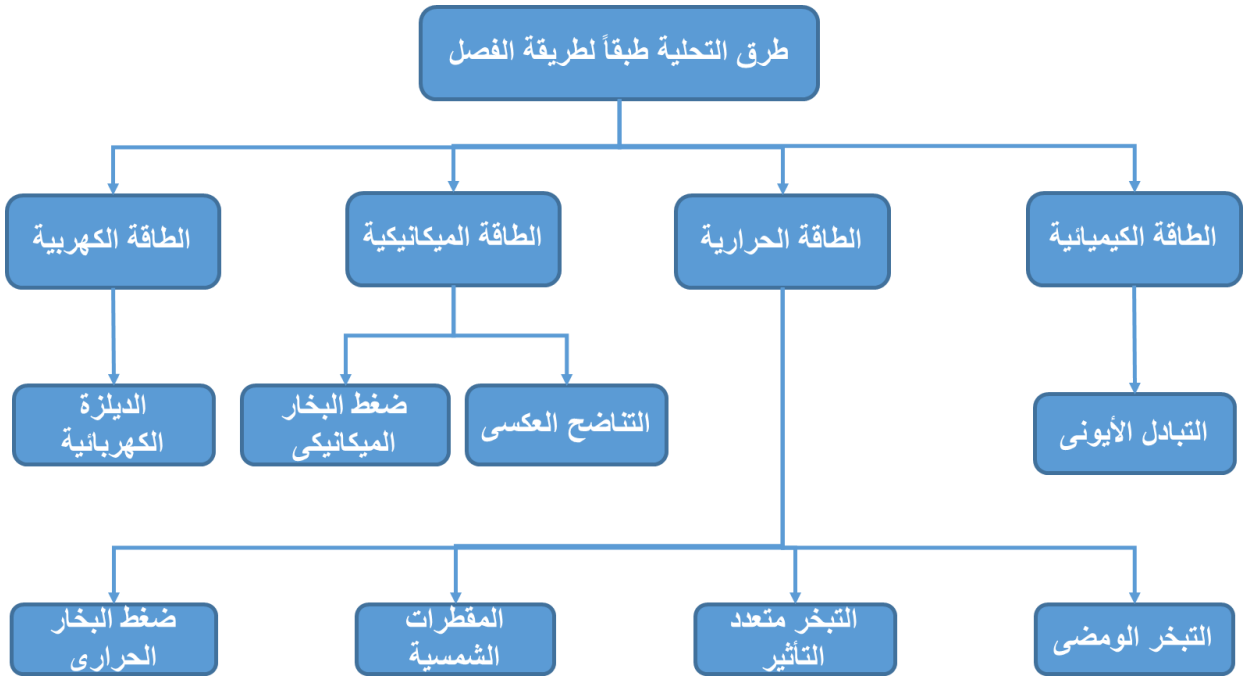
شكل رقم 4-3 : تقسيمات طرق التحلية حسب التكنولوجيا المستخدمة.



شكل رقم 4-4 :تقسيمات طرق التحلية حسب طرقة الفصل (الماء و الملح.)

عوامل إستخدام كل نوع من تكنولوجيات التحلية

يتم إستخدام كل نوع من تكنولوجيات التحلية ، والتي سبق ذكرها ، حسب عدة عوامل منها التكاليف الأقتصادية لسعر الماء المنتج (أي بكم دولار ، أو دينار يكون سعر إنتاج المتر مكعب من الماء).كما تختلف إستخدامات تكنولوجيات التحلية حسب السعة الإنتاجية للوحدة ، وكذلك علي طبيعة ونسبة الملوحة في ماء التغذية (الماء المالح) للوحدة ، وكذا طبيعة وجودة الماء فمثلاً (حتى 500 .جزء في المليون) يمكن إستخدام تكنولوجيا التبادل الأيونى المطلوب إنتاجه . لمعالجة ماء خفيف الملوحة . ولماء أكثر ملوحة مثل ماء آلابار قليلة الملوحة (500 .جزء في المليون إلي 2000 جزء في المليون) يمكن إستخدام طريقتي التناضح العكسي ، أو الديلزة الكهربية . أما لماء الأبار مرتفعة الملوحة (ملوحة حتى 10000 جزء فى المليون) فيفضل إستخدام تكنولوجيا التناضح العكسي . لكن للماء الأكثر ملوحة مثل ماء البحار و المحيطات (حتى 45000 جزء في المليون) وللوحدات الكبيرة(حتى 50000 .م3/اليوم (فتستخدم الطرق الحرارية مثل التبخر الومضي متعدد المراحل والتبخر متعدد التأثير ، وضغط البخار.



شكل رقم 4-5 :تقسيمات طرق التحلية حسب الطاقة المطلوبة

وفي جميع هذه الطرق تحتاج وحدة التحلية إلي طاقة لإدارتها وعاده ما يكون مصدر هذه الطاقة هو الوقود البترولي (الوقود الهيدروكربونى كالفحم والنفط والغاز الطبيعي) . ويستخدم هذا الوقود إلنتاج البخار الالزم إلدارة التكنولوجيات التي تعمل بالطاقة الحرارية (تكنولوجيات التبخر الومضي أو التبخر المتعدد التأثير) ، أو تستخدم لتوليد الكهرباء إدارة التكنولوجيات التي تعمل بالطاقة الكهربية (تكنولوجيات التناضح العكسي ، وضغط البخار والديلزة الكهربية) . أما الطاقات الأخرى مثل التحلية بالطاقة الشمسية ، فهي حتى الآن لم تصل إلى حد المنافسة في السعر الإنتاجي . الإ إنه لظروف تحسين البيئة وكذلك في المناطق النائية والبعيدة عن شبكة الكهرباء وشبكة المد بالوقود البترولي فإن الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح قد تكون هي البديل الوحيد والأفضل . من ناحية أخرى فالطاقة النووية يمكن أيضا إستخدمها (بعد تحويلها إلي طاقة حرارية أو كهربية) لأدارة وحدات التحلية مثلها مثل الطاقة البترولية . والشكل رقم (4 – 5) يبين تقسيمات طرق التحلية حسب الطاقة المطلوبة . لكن هذه هي الطاقة الأساسية لوحدة التحلية (أي فصل الماء عن الملح). وتحتاج محطة التحلية أيضا إلى مضخات لإدارة مياه التغذية ، والماء المنتج ، وماء الراجع ، وهذه المضخات تحتاج إلى طاقة كهربية أو ميكانيكية لادارتها.

إستخدام التحلية كبديل مع مراعاة تكلفة الإنتاج للمتر المكعب

إذا لم تتوفر مصادر المياه العذب الطبيعي في دولة ما (بعض الدول العربية في الخليج و جنوب العراق ، وشمال أفريقيا)، فإنه إما أن تمد المنطقة بشبكة مواسير (أو أي طريقة أخرى) لنقل الماء العذب إلى مكان اإلستخدام (ناقالت الماء البرية والبحرية) ، أو يتم بناء وحدة تحلية مياه للبحر أو تحلية مياه الآبار (إذا توفرت). والفيصل في هذين البديلين (نقل الماء أو تحلية المياه المالحة) هو سعر توصيل الماء للمستهلك . ومازال العلماء والتكنولوجيين يتبارون في تحسين نوعية وإنتاجية وكفاءة وحدات التحلية بهدف خفض السعر الإنتاجي لينافس عمليات نقل المياه خاصة في المناطق البعيدة عن المصادر الطبيعية للماء العذب.

تأثير تكنولوجيات التحلية على البيئة

هي كل ما يحيط بالإنسان من هواء أو ماء أو تربة . والبيئة وحمايتها مسئولية كل فرد . والرسول صلى الله عليه وسلم أوصى بعدم تلويث الماء والتربة والهواء . والتلوث معناه إضافة عناصر غير مرغوب فيها سواء للهواء أو الماء أو التربة ، مما يسبب في النهاية إنعكاس سيئ على الإنسان (والحيوان والنبات). وموضوع البيئة هو مشكلة (وموضة) العصر فكمية الملوثات ونوعيتها سواء كانت صناعية أو زراعية قد زادت عن الحد، حتى إنها تكاد تؤثر على التوازن البيئي . وبالنسبة للتحلية فإن الناتج منها – بوجه عام – هو ماء مالح من نفس فصيلة الماء الداخل (وهو ماء البحر أو البئر) ، لكن بتركيز أعلى قليلا لذا فال يوجد تلوث للبيئة من هذه الناحية (فلا توجد عناصر جديدة) . لكن صناعة التحلية مثلها مثل أي صناعة إذا إستخدمنا وقود لتسخين الماء وإنتاج البخار (أو توليد الكهرباء)، فإن عادم الإحتراق ومخلفات محطة تحويل الطاقة هو من الملوثات ، كذلك المخلفات الناتجة عن تنظيف مكونات وحدة التحلية من الرواسب Scale والتآكل corrosion ،ومن الكيماويات المضافة لمنع الترسبات والتآكل ، يسبب أيضا تلوث (جزئي) للبيئة . وطرق معالجة ملوثات وحدة التحلية مثلها مثل معالجة معظم سوائل الصرف الصناعي ، سواء بإضافة

كيماويات معادلة ، أو الترسيب أو التنقية بالفلاتر، ثم إعادة تصريفه إلى البحر أو حقنه في أبار، أو تجفيف الماء كاملاً حتى عادم صلب ثم دفنه. ويمكن تطوير وحدات التحلية لتستفيد من الطاقة المفقودة من عوادم المحركات (كالديزل والتوربينات الغازية(waste heat recovery)أو إستخدام الطاقة الشمسية (solar energy) وطاقة الرياح (wind energy) أصدقاء البيئة، وهو ما يسمى بالطاقة المجانية ذات البيئة النظيفة(Clean) إستخدام طاقة الهيدروجين كوقود نظيف(Environment + Free Energy) كما يمكن مستقبلا (فإحتراق الهيدروجين ينتج عنه فقط بخار ماء غير ملوث للبيئة)، وكل هذا يجب أن يدخل ضمن الإعتبارات الإقتصادية والفنية للتكنولوجيا المختارة للتحلية.

تحلية المياه بنظرية التناضح العكسى

تكنولوجيا تحلية المياه بالأغشية

تعتمد تكنولوجيات تحلية المياه بالأغشية عن وجود قوة دافعة للماء ، أو الملح للإنتقال عبر غشاء شبه نفاذ يسمح بمرور أحد المكونات مع ترك العنصر الآخر (الماء فقط أو االمالح فقط) .وتنقسم تكنولوجيات التحلية (التجارية) بالأغشية إلى عدة طرق أهمها طريقتي التناضح العكسي والديلزة الكهربائية. وتظهر كلتا الطريقتين القدرة علي 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 العزب من خلال الغشاء تاركا خلفه الأملاح (المحلول الملحي).أما في حالة الديلزة الكهربائية، فيستخدم الجهد الكهربي كقوة دافعة لتحريك وجذب الأمالح من خلال الغشاء إلى جهة الأقطاب الكهربائية بحيث يترك الماء العذب كماء منتج . وقد تم تطوير كلتا الطريقتين منذ بدايه القرن الحالي .غير أنهما لم يستثمرا تجارياً إلا خلال الثالثين سنة الماضية وتعتبر عمليتي التناضح العكسي والديلزة الكهربائية حديثة بالمقارنة مع الطرق الحرارية ، حيث يتم تقديمها تجاريا خلال السبعينات(1970) .

التناضح العكسي

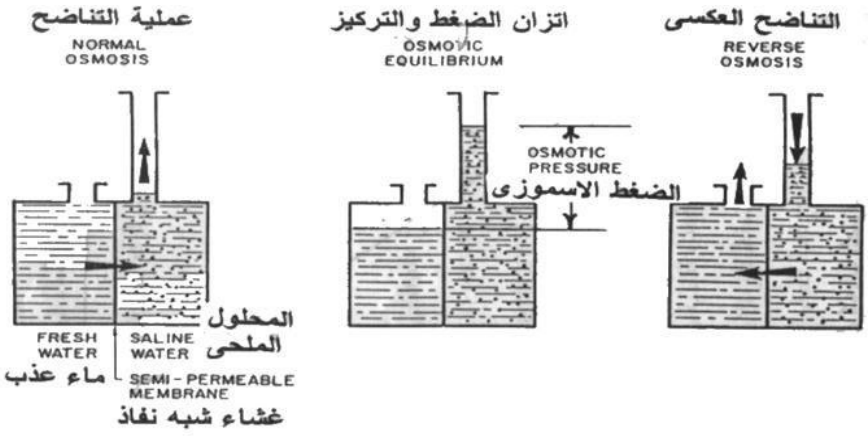
تلعب الأغشية في الطبيعة دورا مهما في فصل الأملاح . ولها تطبيقاتها في جسم الإنسان والحيوان والنبات . فأغلب عمليات إمتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان والنبات تستفيد من عملية التناضح . ومن الأمثلة الطريفة لعملية التناضح ، والتي يمكن للقارئ إجراءها ورؤية نتيجة هذه العملية هي عمل تجويف في أحد ثمرات البطاطس ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف . سيجد القارئ إمتلاء التجويف بالماء المالح. أي أن الماء العذب أنتقل من خلال اغشيه خلايا ثمره البطاطس الى الملح (أي من الجهة الأقل تركيزاً بالملوحه الى الملح اكثر تركيزا بالملوحه)، وهذه هي عملية التناضح. وتعرف عميلة التناضح العكسي بأنها عملية إنتقال عكسي للماء العذب من المحلول الأكثر تركيزا الى محلول اقل تركيزا (إذا فصل المحلولين بغشاء شبه نفاذ) ,والغشاء الشبه نفاذيسمح بمرور الماء دون اخر ، أي مثلاً يسمح بمرور الماء دون السماح للملح بالمرور أو العكس.

وقت ظهور عملية التناضح العكسي

علي الرغم أن العملية الأسموزية كانت معروفة للكثير من منذ أكثر من مائة عام ، فإن تكنولوجيا إستخدام الأغشية لمعالجة المياه تعتبر حديثة وكان أول إعلان لإستخدام التناضح العكسي هي براءة إختراع بنفس الإسم لإزالة عسر الماء بإستخدام أغشية فيروسيانيد علي مثبتات مسامية من البروسلين . وفي سنة 1952 أنتج في جامعة فلوريدا أغشية من أسيتات السيليوز لتحلية الماء بالتناضح العكسي . وكان من عيوب الغشاء المستخدم ضعف معدل الإنتاج للماء العذب لسمك الغشاء (وكان هذا تقريبا وقت ظهور تكنولوجيا الديلزة (أو الفرز الكهربي). وفي الخمسينات تم تطوير الأغشية لزيادة معدل مرور الماء مع إرتفاع معدل طرد الملح . وتم في الستينات إنتاج الأغشية مثل الملفوفة حلزونياً ، أو على صورة أنابيب وغيرها ثم ظهرت في السبعينات أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة من البوليميد مع إستقرار إنتاج أغشية أسييتات السيليوز . وقد كان تطوير الأغشية لإستخدامها لإزالة ملوحة المياه قليلة الملوحة أما الآن (ومنذ نهاية السبعينات) فقد تم تطوير الأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة كمياه البحر.

كيفية إتمام عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي

إذا وضعنا محلول ماء ملحي في جانب لغشاء شبه نفاذ والجانب الآخر ماء عذب ، فمن المعروف طبيعيا أن ينتقل (ينفذ) الماء العذب (الأقل تركيزاً) إلى المحلول الملحي (الأكثر تركيزاً) ، وذلك لإحداث التوازن أو التعادل في عملية التركيز . وهذه تعرف بعملية التناضح . ويستمر نفاذ الماء العذب في هذا الإتجاه ، وعليه يرتفع عمود المحلول الملحي لأعلي نتيجة زيادة كمية الماء بالمحلول بإستمرار نفاذ الماء العذب ، شكل رقم 5 - 1 وبإرتفاع عمود الماء يرتفع الضغط بجانب المحلول الملحي وتزداداً لذلك مقاومة نفاذ ومرور الماء العذب حتى يصل إرتفاع الضغط إلى قيمة تمنع من نفاذ الماء العذب تماما . ، عند هذا الضغط يحدث التوازن ويسمي هذا الضغط بالضغط اًلسموزي وقد إكتشف العلماء أنه يمكن عكس هذه العملية . أي أنه إذا أثرنا علي المحلول الملحي بضغط أعلي من الضغط اًلسموزي فسينتقل الماء العذب من المحلول الملحي (الأكثر تركيزا) في اإلتجاه العكسي وينفذ إلى جهة الماء (الأقل تركيزا). وتعرف هذه العملية بعملية التناضح العكسي والتي يمكن بها الحصول علي الماء العذب من الماء المالح . ومن ثم فعملية التناضح العكسي هي عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء شبه نفاذ وذلك بضغط المحلول الملحي بضغط أعلي من الضغط االسموزي ولا يحتاج الأمر إلي تسخين أو تغيير في الشكل بل يلزم أن يوضع المحلول الملحي (الماء المالح)تحت ضغط أعلي من الضغط الاسموزي لكي تتم عملية التناضح شكل رقم .5 – 1

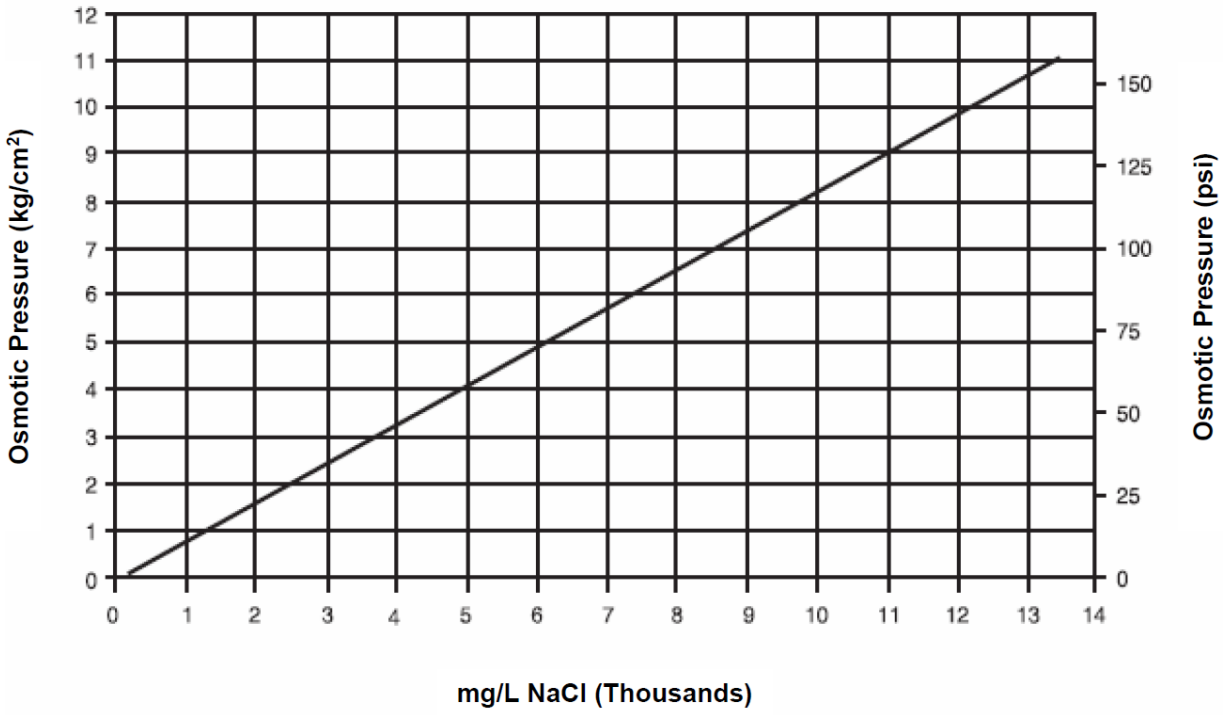


شكل رقم 5-1 :عملية التناضح والتناضح العكسي.

ويعتمد قيمة الضغط ألسموزي علي عوامل عدة منها ، نسبة تركيز الملوحة للماء المالح ، وعلي نوعية الأمالح الذائبة ، وعلي درجة الحرارة ويتراوح الضغط الأسموزي لعنصر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) والذي يمثل 60 %في الماء المالح بين 1 : 1.1 رطل / البوصة المربعة (أي حوالي 0.07 بار) لكل مائة جزء في المليون من الملح الذائب (أو واحد بار لكل 1430 جزء في المليون) ، شكل رقم 5-2 فمثلاً لماء بئر ملوحته 5000 .جزء في المليون ، فإن الضغط االسموزي له يساوى تقريباً 50=1*0.001*5000 .رطل/البوصة المربعة حوالي (3.4 بار) ولماء بحر ملوحته 32000 جزء في المليون فإن الضغط ألسموزي له حوالي 320 رطل / البوصة المربعة (حوالي 22 بار .)

إلا إنه يجب ملاحظة أن الضغط الحقيقي اللازم لعملية التناضح العكسي عادة ما يكون أكبر كثيراً من هذه الأرقام وذلك لإضافة الضغوط اللازمة للأتي:

- الفقد في الضغط الالزم لسريان ماء التغذية خالل مجمع ألغشية، واألنابيب ، والصمامات ، وغيرها.
- الزيادة في تركيز (ملوحة) الماء أثناء مروره بالأغشية (من غشاء لأخر) نتيجة إستخالص الماء العذب منه .
- الضغط الاستاتيكي لرفع الماء لخزانات الماء المنتج أو خزانات ماء الطرد .
- إحتماالت الإنسداد الجزئي للأغشية مع الزمن نتيجة ترسب العوالق والأمالح ، والمكونات العضوية ..إلخ

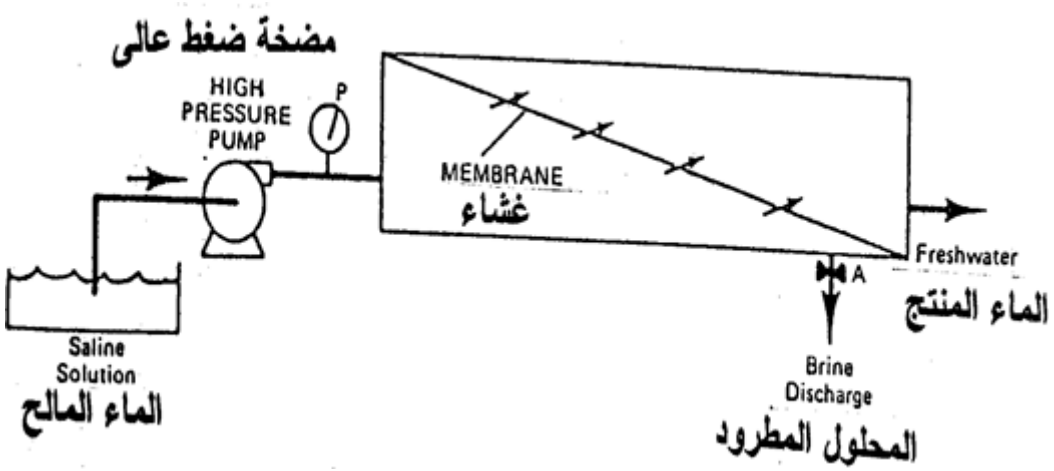


شكل رقم 5-2 :العلاقة بين تركيز محلول كلوريد الصوديوم والضغط الأسموزي.

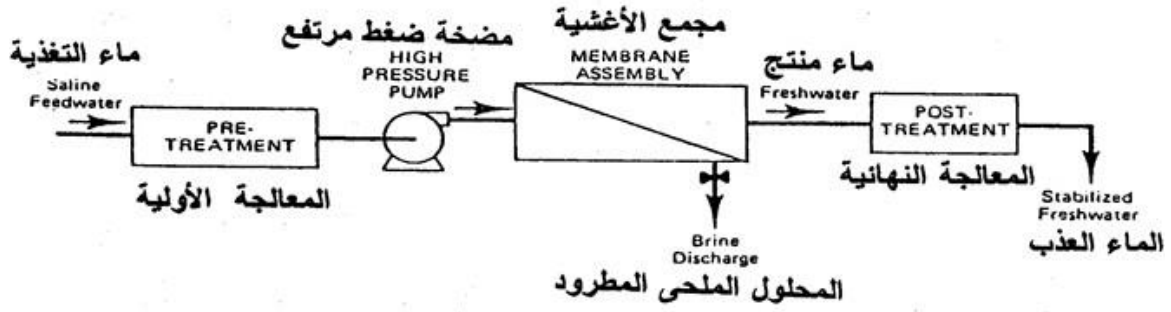
ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية المالح في وعاء ضغط مغلق حيث يضغط الماء المالح ويدفع خلال مجموعة من الأغشية ، وعندما يمر جزء من الماء العذب عبر الغشاء تزداد ملوحة الماء المالح المتبقي، وعليه فان جزء من مياه التغذية الأكثر ملوحة يتم التخلص منها ، وبدون هذا التخلص فأن الإزدياد المطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة ،

مثل زيادة الترسبات ، وزيادة الضغط عبر الأغشية (لزيادة الضغط االسموز ي مع زيادة الملوحة)، وتتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه الطريقة ما بين 20 : 70 % من مياه التغذية اعتماداً علي كمية الأملاح الموجود في مياه التغذية. وتسمي هذا المحلول بالمطرود . أما الماء العذب والذي نفذ من الأغشية فيكون الماء المنتج ويسمي هذا المحلول بالمطرود . أما الماء العذب والذي نفذ من الألغشية فيكون الماء المنتج ويسمي Water (Permeate or Product , شكل رقم 5 – 3 .

وتحتاج هذه التكنولوجيا لعمليات معالجة أولية دقيقة لماء التغذية (لإزالة المواد العالقة من الطمي والرمال وغيرها) ، وكذلك إزالة وقتل وفصل الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات والبكتريا و الطحالب) وذلك للمحافظة علي وحدة التحلية من إنسداد وتلف الأغشية ، كما يحتاج الماء المنتج إلي معالجة نهائية لضبط خواصه بما يناسب الخواص المطلوبة حسب الإستخدام (سواء ماء شرب ، أو مياه للغاليات البخارية، أو لإلستخدام الصناعي والغذائي والطبي). وعليه فمحطة التحلية تتكون من ثالث نظم أساسية ، الأولى للمعالجة الإبتدائية، والثانية لفصل الماء العذب (بمجموع الأغشية) ، و الثالثه للمعالجه النهايه , كما موضح بالشكل رقم 5 – 4 .



شكل رقم 5-3 :نموذج مبسط لوحدة التناضح العكسي.

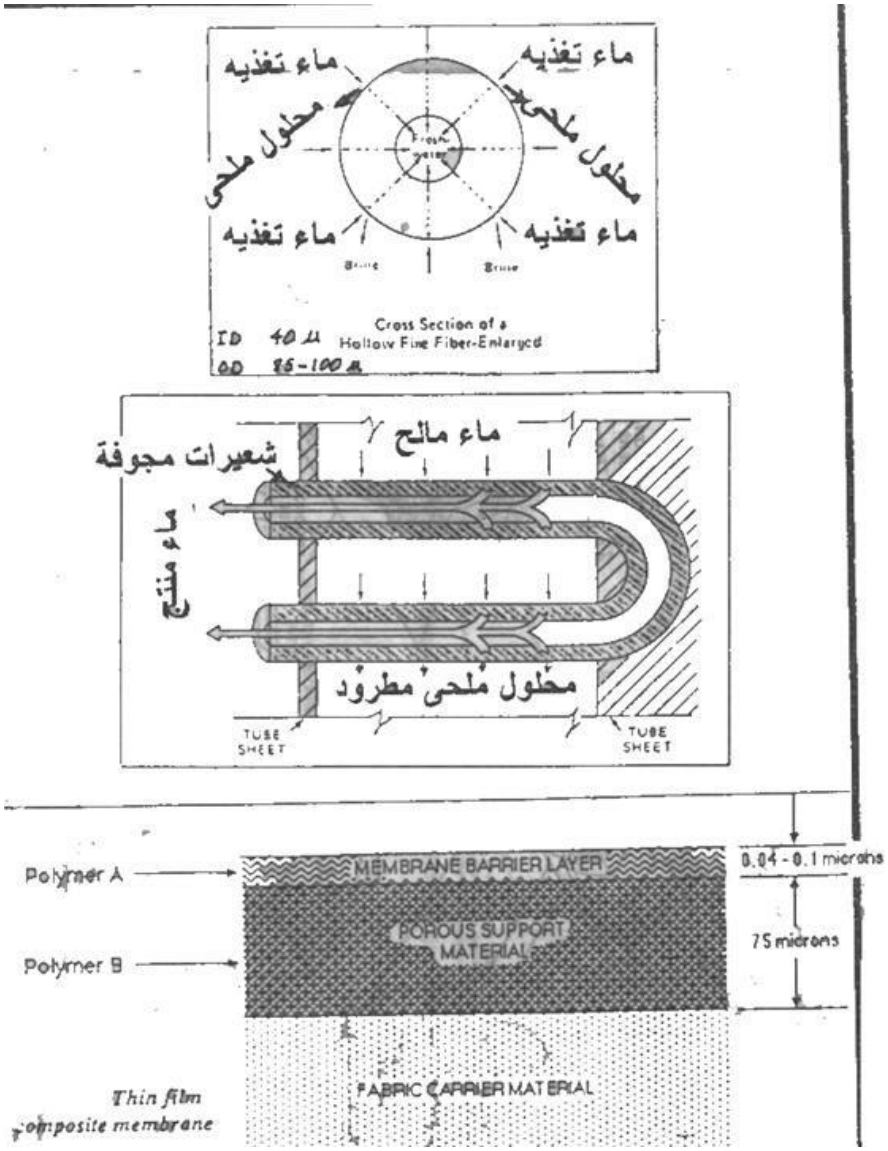


شكل رقم 5-4 : النظم الثالثة ألساسية لوحدة التناضح العكسي.

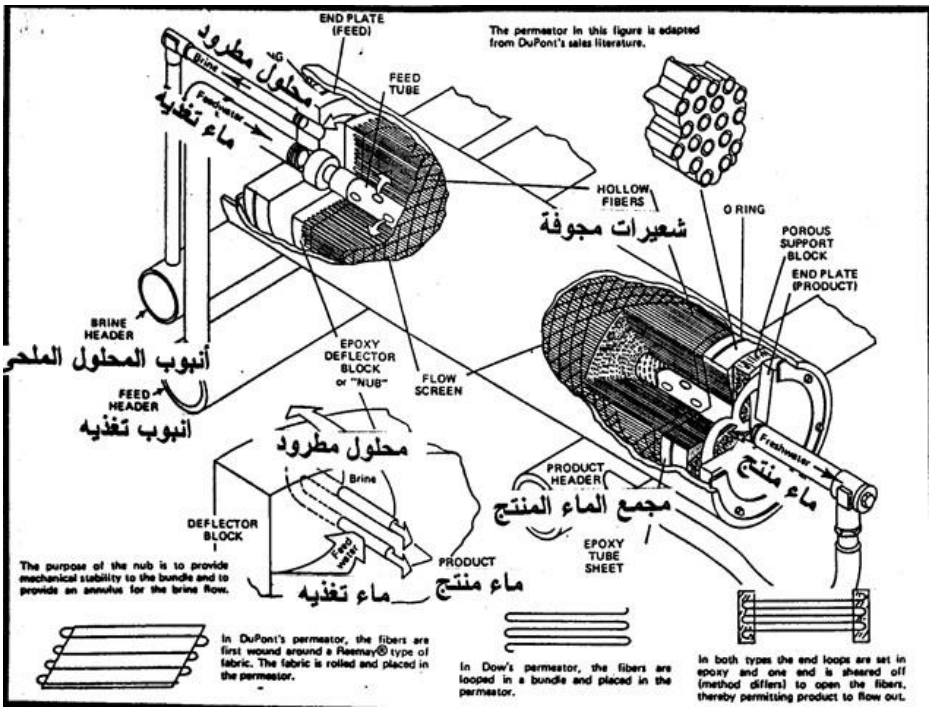
تكون الأغشية وطريقة عملها

الأغشية عبارة عن مواد طبيعية أو صناعية شبه نفاذة (Semi Permeable) أي تسمح بمرور الماء فقط دون الأمالح . وتتكون أغشية التناضح العكسي من مواد خاصة (مثل أسيتات السيليوز) أو البولي أميد ، أما علي شكل شعيرات (خيوط) مجوفة مثل خيوط شعر الرأس تقريبا (Fine Fibers Hollow)شكل رقم 5–5 , ملفوفة علي شكل حرف U ، أو علي شكل ألواح حلزونية ملفوفة (Spiral Wounded Sheets) وتعمل الأغشية بما يسمي بنظرية السريان بالإمتصاص الإنتقائي –بالخاصية الشعرية. أي أن طبيعة الغشاء تسمح بإمتصاص الماء فقط ورفض إمتصاص الأمالح.

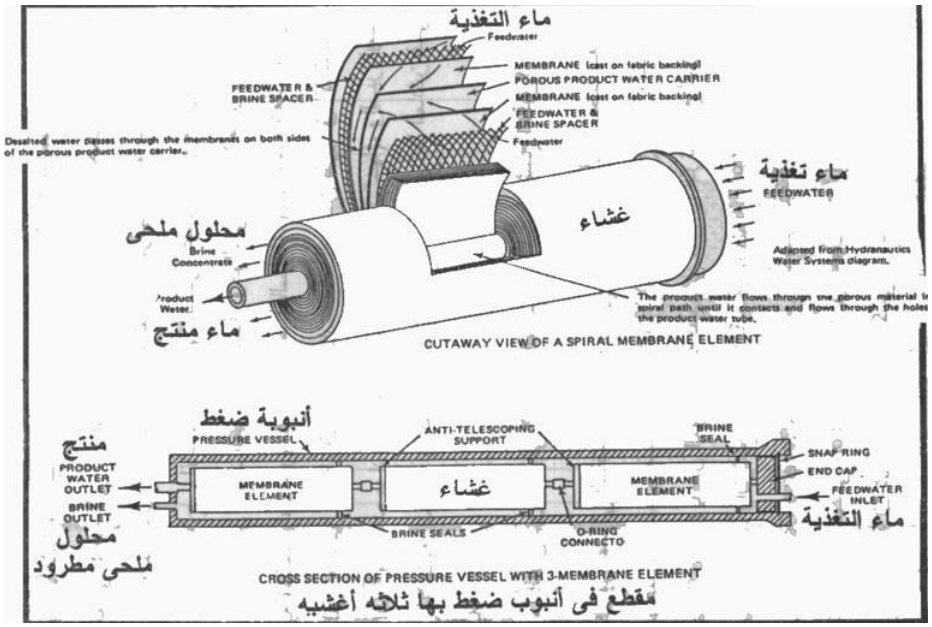
وتعتمد قدرة الغشاء علي فصل الأملاح علي قطر المسام التي من خلالها يمر الماء الممتص . وتتراوح أقطار المسام من 1 : 15 أنجستروم (أي 1 : 15 × 10^{-9} متر) وهي أقل كثيراً من المرشحات الدقيقة(Micro Filtration) والتي تمنع الأحياء الدقيقة بالترشيح . والأشكال شكل رقم 5-6 شكل رقم5 -7 تبين نماذج هذه االغشية.



شكل رقم 5-5 : الشعيرات المجوفة الدقيقة ألغشية التناضح العكسي.



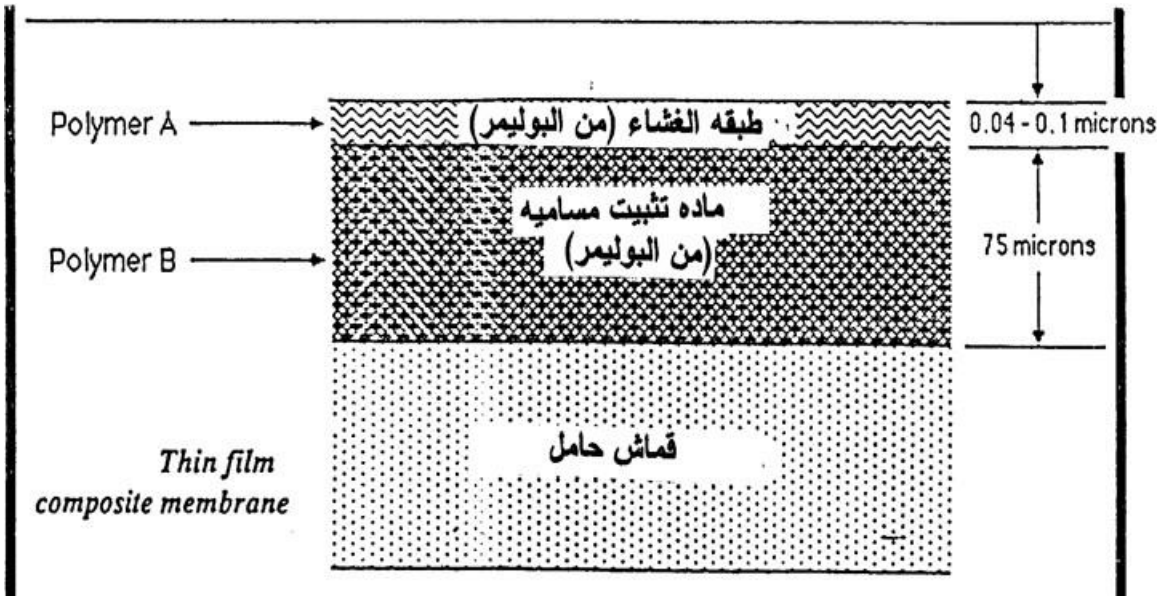
شكل رقم 5-6 :أغشية الشعيرات المجوفة الدقيقة داخل وعاء الضغط.



شكل رقم 5-7 : أغشية االلواح الحلزونية الملفوفة داخل وعاء الضغط.

مقارنة بين أغشية التناضح العكسي

تعتبر الأغشية قلب نظام التناضح العكسي. وهي تتكون من مواد رقيقة بسمك حوالي 0.04 : 0.01 ميكرون ، ومثبتة بمواد مسامية ليصل سمكها إلى حوالي 0.01 مم ، شكل رقم (5-8) وهي تختلف في قدرتها علي مرور الماء العذب وطرد الأملاح ، والأغشية لها القدرة علي منع مرور من(90 % : 99 %) من المواد الغير عضوية ، وحوالي 100 % من المواد العضوية (كالبكتريا ، والفيروسات) وغيرها(كال سيلكا) ويمر الماء العذب من خلال الفراغات بين الهيكل الجزيئ لمادة الغشاء عن طريق الإنتشار. وتستخدم مواد مثل أسيتات السيليوز (ومركباتها) والبروليميد كأساس لألغشية التجارية و جدول 5-1 يوضح الفرق بين كال المادتين في الأغشية.



شكل رقم 5-8 : مقطع مكونات الغشاء.

يتفق كلا من عمليتي التناضح العكسي ، والترشيح الدقيق في أنهما يفصلان الماء عما يحتوي من مكونات ، إلا أن الترشيح الميكروني يفصل المواد العالقة فقط ، في حين أن الترشيح الدقيق والترشيح المتناهي الدقة والتناضح العكسي ،يمكنهما فصل العناصر الذائبة . لذا تسمي أحيانا عملية التناضح العكسي . الجدول(5-1) والجدول (5-2)يوضحان بعض الفرق بين عملية الترشيح أو التناضح العكسي . والجدول (5-3) يوضح خصائص أغشية الترشيح المختلفة ومقارنتها بالتناضح العكسي .

جدول 5-1 :مقارنة مواد الأغشية.

م	أسيتات السيليوز	البوليميد
1	معدل مرتفع لمرور الماء العذب لوحدة المساحات	معدل أقل لمرور الماء لوحدة المساحات
2	تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا، والشعيرات الدقيقة المجوفة وغيرها	تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا والشعيرات الدقيقة المجوفة وغيرها
3	عمرها أقل من البوليميد	عمرها أطول من أسيتات السيليوز
4	تقاوم وجود الكلورين الزائد حتى أقل جزء في المليون	حساس لوجود الكلورين
5	مستقر حتى رقم هيدروجيني بين 3.5 : 6.5	مستقر في حدود الرقم الهيدروجيني 3 - 11
6	حساس لهجوم البكتريا	يقاوم البكتريا
7	حساس لإمكانية إنهياره مع إرتفاع درجة الحرارة وعدم إنضباط الرقم الهيدروجيني	يقاوم الإنهيار مع إرتفاع درجة الحرارة وعدم إنضباط الرقم الهيدروجيني
8	نسبيا أرخص سعراً	نسبيا أعلي سعراً

جدول 5-2 : الفرق بين الترشيح (الدقيق) والتناضح العكسي.

م	الترشيح	التناضح العكسي
1	الضغط الأسموزي صغير جداً	الضغط الأسموزي مرتفع حسب ملوحة الماء
2	الملوحة لا تزداد مع الترشيح	الملوحة تزداد لفصل الماء العذب أثناء العملية
3	تفصل العناصر حسب حجمها	هناك عوامل أخرى تسبب عملية فصل الأملاح
4	تترسب العوالق المفصولة علي المرشح (الغشاء)	يمر الماء العذب ويبقي المحلول الملحي
5	السريان عمودي علي المرشح لفصل العناصر منه	سريان الماء المالح موازي للغشاء
6	الترشيح(حتى الدقيق) يحتاج لضغط منخفض (حتى 5 بار)	يحتاج إلى ضغط مرتفع لأداء العملية (أكثر من عشرة أمثال الترشيح الدقيق)
7	لا يزيل إلا العناصر المذابة ذات الوزن الجزئي المتوسط	يمكن إزالة العناصر ذات الوزن الجزئي الصغيرة .

جدول 5-3 : خصائص أغشية التناضح العكسي ومقارنتها بالأغشية الأخرى.

م	الطريقة	شكل الأغشية	المواد المستخدمة في صنع الأغشية	المواد التي يمكن فصلها	الضغط المستخدم (رطل/بوصة2)	حجم مسام الأغشية
1	ترشيح رقيق Micro filtration	أنبوبي-tubular	بولي سلفون- فلوريد كربون – كربون زجاج	رواسب- غرويات	30-10	A (2000-50)
2	ترشيح فائق Ultra Filtration	أغشية لا تماثلية شعيرات جوفاء دقيقةhff	سيليوزية / أكريليك ولي سلفون / سيراميك	بروتينيات ومواد عضوية ذات وزن جزئي عالي	75-20	A(1000-10)
3	ترشيح متناهي الدقة Nano Filtration	أغشية مستوية مركبة Flat Sheet Composites	بولي أميدات أروماتية . مشتقات كحولية بولي فينل	أيونات ثنائية التكافؤ	150-50	A(100-7)
4	تناضح عكسي Reverse Osmosis	لا تماثلية مستوية مركبات مستوية لا تماثلية شعيرات جوفاء	أسيتات سيلولوز. بولي أميدات اليفاتية. بولي أميدات أروماتية. بولي سلفرن بولي فيوران	كل ما سبق مع الأيونات أحادية التكافؤ	300-150LB 600-350St br 1200-800Sw	A(15 - 1)

مكونات وحدة التناضح العكسي

تتكو ن وحدة التناضح العكسي أساسا، من مضخة ضغط مرتفع للحصول علي ضغط أعلي من الضغط الأسموزي، بالإضافة إلي مجمع الأغشية . لكن أكثر تفصيلاً تتكون من الأجزاء الأساسية التالية

أ- مكونات وحدة المعالجة اﻷولية لمياه التغذية

ب- مضخة ذات ضغط عال .

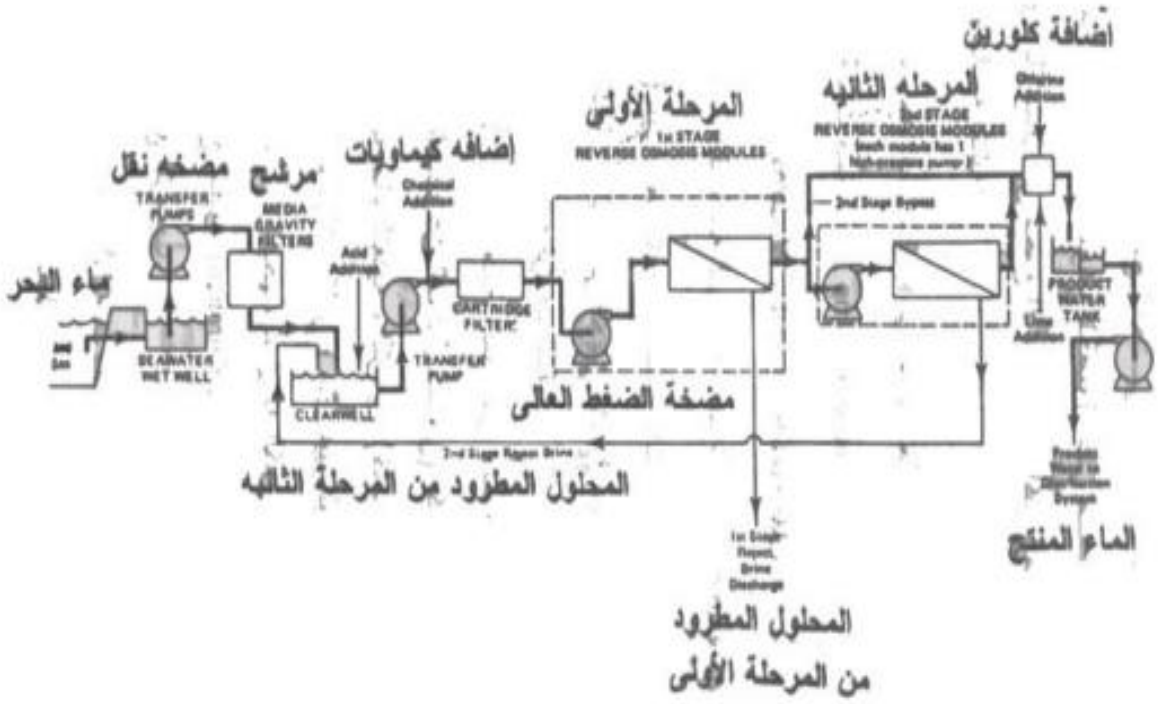
ت- مجمع أغشية

ث- مكونات وحدة المعالجة النهائية.

والشكل رقم (1-6)يبين وحدة تناضح عكسي ذات مرحلتين من مجمعات الأغشية . والمعالجة الأولية تعني تجهيز ماء التغذية لدخول مجمع الأغشية وذلك بإزالة العوالق ، ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها علي الأغشية) وهي مهمة جداً لأن مياه التغذية ستمر عبر الممرات الضيقة للأغشية ، أثناء عملية فصل الماء العذب عن المحلول الملحي) .كما تشمل المعالجة الأولية كل من عمليات ضخ ماء التغذية ،الترويق) خاصة للمياه العكرة) ، والترشيح (الفلترة) ، وإضافة مركبات الكلور (مثل هيبوكلوريد الصوديوم) لقتل الأحياء الدقيقة بالماء ثم ترشيحها ، ثم إزالة الكلور الزائد (حتى لا يضر الأغشية) ، والترشيح الدقيق ، وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخري لمنع الترسيب .ويتبع عملية المعالجة الأولية ضغط الماء المالح عن طريق مضخة ذات الضغط العالي (أعلي من الضغط الأسموزي) لتوفر الضغط اللازم لعبور الماء العذب من خلال الأغشية وحجز الأملاح . وهذا الضغط يتراوح ما بين 17 : 27 بار (ضغط جوي) لمياه الآبار ، وبين(45 : 80) بار لمياه البحر) حسب ملوحة الماء ومعدلات الإنتاج). ويتكون مجمع الأغشية من عدد أوعية الضغط الأشكال شكل رقم (5-7)شكل رقم(5-8)شكل رقم(2-6)، تبين أوعية الضغط والتي تحتوي علي مجموعة من الأغشية شبه النفاذه وهي مختلفة الأنواع والأشكال وكذلك مواد التصنيع . كما تختلف في مقدرتها علي مرور الماء العذب وحجز الأملاح كما سبق

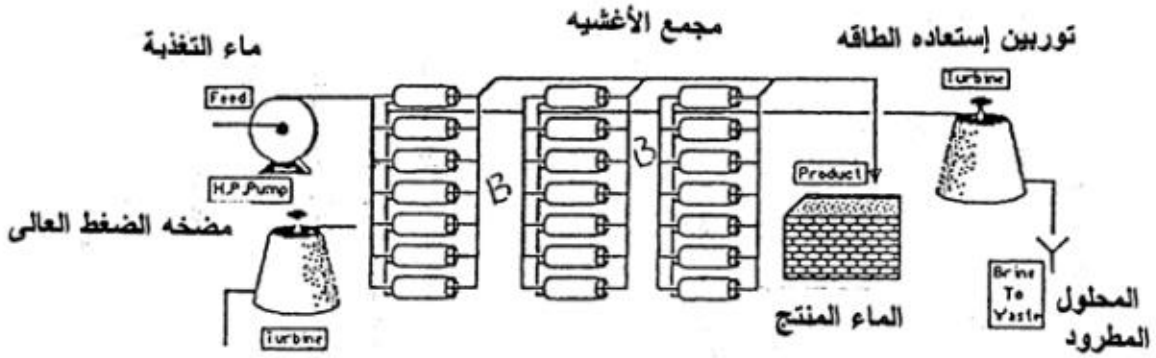
شرحه . وليس هناك غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأمالح ، بل ينفذ جزء صغير من الأمالح مع الماء خلال الأغشية ، ولذلك توجد بعض الأمالح في المياه المنتجة بطريقة التناضح العكسي . ويمكن خفض ملوحة الماء المنتج بإستخدام مرحلة ثانية كما في الشكل رقم(6-1). وتصنع أغشية التناضح العكسي من اشكال مختلفه . وهناك شكلان شائعان تجاريا وهما اللوح الحلزوني واألليا ف / الشعيرات الدقيقة .

المجوفة لتحلية كل من مياه آلبار ومياه البحر علي الرغم من إختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط ، وذلك إعتمادا لي المصنع وملوحة الماء المراد تحليته . وتستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه آلبار علي نطاق واسع ، بينما تستخدم الأغشية ذات الضغط المرتفع في تحلية مياه البحار الأعلى ملوحة.



شكل رقم 6-1 : مكونات وحدة تناضح عكسي من مرحلتين.

أما المعالجة النهائية فهي للمحافظة علي خصائص الماء وإعداده بالمواصفات المطلوبة للإستخدام . وربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات ، وتعديل درجة القلوية بضبط الرقم الهيدروجيني . وبالإضافة إلى المكونات الأساسية السابقة ، يلزم للمحطة مصدر للطاقة الكهربية ، ومضخات مساعده (لضخ ماء التغذية ، والماء المنتج ، والكيماويات ، والرجيع المطرد) ، وكذلك خزانات وأنابيب لمياه التغذية والماء المنتج وماء الرجيع ، وأجهزة القياس للمراقبة والمتابعة والتحكم ، وغير ذلك من المكونات المساندة لأي منظومة هندسية وقد تكون المحطة ذات مرحلة واحدة ، أو ذات مرحلتين حسب التصميم . كما قد يوضع توربين مائي عند مخرج الوحدة للإستفادة من الضغط المتبقي بعد إنتهاء عملية الفصل ، وإستعادة جزء من الطاقة للمساعدة في إدارة مضخة الضغط العالي وتوفير جزء من طاقتها المطلوبة ، ومن ثم خفض تكاليف الإنتاج.



شكل رقم 6-2 : أوعية الضغط علي التوالي / التوازي.

أهم عناصر تقييم أداء وحدة التناضح العكسي

يتم التقييم االولى لعملية التحلية بالتناضح العكسي علي عدة معايير منها 9 : :

أ- إنتاجية الوحدة (متر مكعب في اليوم)

ب- جودة الماء المنتج (ملوحته بجزء من المليون)، ونسبة طرد الملح ، ونسبة إستعادة الماء العذب من الماء المالح

ت- سعر الوحدة الإبتدائي ، وتكلفة التشغيل والصيانة ، ومن ثم تكلفة إنتاج المتر المكعب من الماء المنتج.

ث- ضغط وقدرة مضخة الضغط العالي.

ج- معدل تغيير الأغشية.. إلخ

ويمكن حساب فيض الماء العذب عبر الأغشية أي معدل السريان لكل متر مكعب من مساحة سطح الأغشية حسب الفرق بين ضغط التغذية وضغط الماء المنتج والضغط الأسموزي (لكل من ماء التغذية والماء المنتج)

ويعتمد الثابت (K1) يعتمد علي نوع مادة الأغشية ، وسمكها ، وشكل الغشاء . ويجب ملاحظة أن الضغط االسموزي لماء التغذية يزيد بمرور الماء المالح خلال الأغشية ، حيث يسحب منه الماء العذب فيزداد تركيزه ، ومن ثم يزداد ضغطه الأسموزي . وقد يلاحظ من المعادلة أنه بزيادة ضغط ماء التغذية يزداد الإنتاج(Water Flux) . وهذا صحيح لكن لحدود معينة حيث أن بزيادة ضغط ماء التغذية يضغط علي الأغشية (ميكانيكا)ويسبب لها ما يسمي بالانضغاطية ، حيث تقل المسام ، مما يقاوم مرور الماء العذب ويقاوم زيادة الإنتاج .5 كما أنه بزيادة ضغط ماء التغذية وزيادة الإنتاج يقل معدل ماء الرجيع أي يزداد تركيز ملوحة الماء المالح ومن ثم يزداد الضغط الأسموزي (المقاوم) فلا يزداد الإنتاج .كما يمكن حساب فيض الملح عبر الأغشية (J2 Salt Flux) من الفرق في التركيز (Concentration)بين ماء التغذية والماء المنتج حسب المعادلة-:

$$N_i = \frac{K_i D_i}{l_M}\left(c'_{i_0} - c'_{i_L}\right)$$

- $P_{Mi} = K_i D_i$ is the permeability for the solution-diffusion model, where K_i accounts for the solute solubility in the membrane and D_i accounts for diffusion through the membrane

وعليه فإن من المتوقع أن الماء المنتج من ماء البحر سيكون أكثر ملوحة من الماء المنتج من ماء البئر . وتسمي النسبة بين معدل إنتاج الماء العذب إلى معدل دخول ماء التغذية المالح نسبة الاستعادة (أو الاستفادة) وتتراوح بين 35% الى 45 % لماء البحر ، وحوالي 85 % لماء ابار أي كما تسمي النسبة بين تركيز الماء العذب المنتج إلي تركيز ماء التغذية نسبة مرور الملح وهي تمثل ملوحة الماء المنتج والتي تصل إلي حوالي 10 % من ملوحة ماء للتغذية.أما الفرق بين 100 % ونسبة مرور الملح فتسمي بنسبة طرد الملح Salt Rejection والتي تصل إلي 90% .

العوامل المؤثرة علي أداء تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي

تكنولوجيا التناضح العكسي (RO) هي عملية تحلية المياه تعتمد على غشاء نصف نفاذ يسمح بتمرير الماء وعدم تمرير المواد الصلبة. هناك العديد من العوامل التي تؤثر على أداء تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي، من بينها:

1. جودة المياه الخام: تؤثر جودة المياه الخام على أداء عملية التناضح العكسي، فمياه ذات درجات عالية من الأملاح أو الشوائب العضوية قد تؤدي إلى تدهور أداء الغشاء بسرعة
2. الضغط: زيادة الضغط قد تحسن من كفاءة عملية التناضح العكسي وتقلل من استهلاك الطاقة. ومع ذلك، يجب أن يتم التوازن بين زيادة الضغط وتكاليف الطاقة وتكاليف الصيانة
3. درجة الحرارة: الحرارة يمكن أن تؤثر بشكل كبير على أداء عملية التناضح العكسي، فزيادة درجة الحرارة قد تزيد من كفاءة العملية ولكن بشكل عام يجب تشغيل الأنظمة عند درجات حرارة معتدلة
4. تلوث الغشاء: الرواسب والتلوث على سطح الغشاء قد يقلل من كفاءته ويؤدي إلى تدهور سريع في أدائه، لذا يجب الاهتمام بعمليات الصيانة الدورية
5. تكلفة الطاقة: يعتبر استهلاك الطاقة أحد التحديات الرئيسية في تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي، لذا يجب مراعاة استخدام أنظمة تشغيل فعّالة من حيث استهلاك الطاقة
6. تكلفة الصيانة: تتطلب تكنولوجيا التناضح العكسي صيانة دورية للحفاظ على أدائها الأمثل، وقد تكون هذه الصيانة مكلفة، ولكنها ضرورية لضمان استمرارية عملية التحلية بكفاءة

تلك هي بعض العوامل الرئيسية التي تؤثر على أداء تشغيل تكنولوجيا التناضح العكسي، ويمكن أن يكون التأثير متغيرًا باختلاف الظروف والمتطلبات المحددة لكل تطبيق

المعالجة الأولية والنهائية لمياه التحلية و النظم المساعدة

الفرق بين التحلية ومعالجة المياه بوجه عام

التحلية ومعالجة المياه هما عمليتان مختلفتان تستخدمان لأغراض مختلفة، ولكن يمكن أن تتداخلا في بعض الأحيان في عمليات معينة. إليك الفروق الرئيسية بينهما:

1. الغرض:

- التحلية: الغرض الرئيسي من التحلية هو إزالة الملوحة من المياه العذبة لجعلها صالحة للشرب أو للاستخدام في الزراعة أو الصناعة.
- معالجة المياه: الغرض الرئيسي من معالجة المياه هو تنقية المياه من الشوائب والملوثات المختلفة، مثل البكتيريا، والفيروسات، والمواد الكيميائية الضارة، والرواسب، والألوان العضوية، والطين.

2. التقنيات المستخدمة:

- التحلية: التقنيات الشائعة لتحلية المياه تشمل التناضح العكسي، والتقطير، والتبخير، والتبلور، والتجميد.
- معالجة المياه: التقنيات المستخدمة في معالجة المياه تشمل الترشيح، والتناضح، والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية، والتعقيم بالكلور، والتعقيم بالأوزون، وعمليات الكيميائية مثل ترسيب الرواسب والتخلص من الملوثات العضوية والكيميائية.

3. المكان الذي يتم تنفيذها فيه:

- التحلية: غالباً ما تتم عمليات التحلية في المناطق التي يعاني سكانها من نقص في المياه العذبة.

- معالجة المياه: يتم تنفيذ عمليات معالجة المياه في محطات معالجة المياه الكبيرة قبل توزيعها للاستخدامات المختلفة.

4. المدى الجغرافي:

- التحلية: يمكن أن تتم عمليات التحلية على مستوى صغير مثل تحلية المياه في المنازل باستخدام أجهزة منزلية، ويمكن أيضًا أن تتم على مستوى كبير مثل تحلية المياه لمدينة بأكملها.
- معالجة المياه: عمليات معالجة المياه غالباً ما تتم على مستوى كبير في محطات معالجة المياه، ولكن يمكن أيضًا تنفيذ عمليات صغيرة لمعالجة المياه في المنازل أو المباني الصغيرة.

بشكل عام، تحلية المياه تركز على إزالة الملوحة، بينما تهتم معالجة المياه بتنقية المياه من مجموعة متنوعة من الملوثات والشوائب.

((الختام))

تحلية المياه تمثل حلاً مهماً لمشكلة نقص المياه النظيفة في العالم، وتساهم في توفير مصادر مياه آمنة وصالحة للشرب. رغم التحديات التي تواجه عمليات تحلية المياه، فإن الابتكارات التكنولوجية والتطورات في هذا المجال تعزز من فعالية واستدامة هذه العمليات.

المصادر :

- INMA Kingdom training and Development Center