

الباب السابع

تخلية المياه المالحة

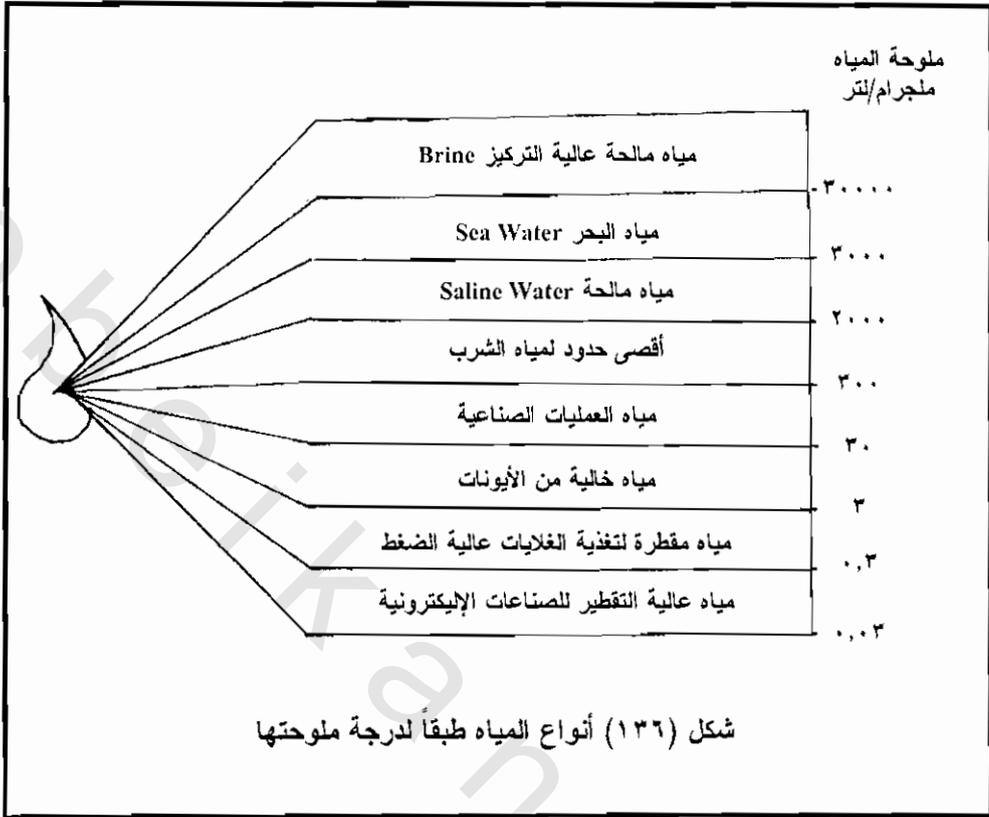
obeikandi.com

القسم الأول

تعريف

1- **تحلية المياه بعمليات الغشاء : (Membrane Processes)**

إن زيادة معدلات الاستخدام للمياه من المصادر السطحية العذبة مع محدودية هذه الموارد وكذلك تسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية بالإضافة إلى تلوث المياه بالمواد العضوية المعقدة. لهذه الأسباب كان اللجوء إلى استخدام تكنولوجيا الغشاء المتقدمة والذي وفر نوعية ممتازة من مياه الشرب أكثر صلاحية من نظم المعالجة التقليدية وذلك بمعالجة المياه المالحة أو الملوثة. شكل (١٣٦) يوضح تسمية أنواع المياه طبقاً لدرجة ملوحتها. وقد كان التطور في عمليات الأغشية لخفض التكاليف الرأسمالية والصيانة والتشغيل بما جعل عمليات الأغشية منافسة لعمليات المعالجة التقليدية.



* أنواع عمليات الأغشية :- (Types Of Membrane Processes)

توجد أنواع معينة من الأغشية ذات الفتحات المختلفة كما في الشكل (١٣٧) والتي توضح العلاقة بين فتحات الغشاء وحجم الميكروميتر للمواد ووزنها الجزيئي. وفي الشكل (١٣٨) مجال المعالجة بالأغشية ذات العلاقة بالملوحة أو بالأملاح الكلية المذابة. وعمليات الأغشية تشمل فصل الأملاح المذابة باستخدام الغشاء بعده طرق وهي التناضح العكسي (Reverse Osmosis) والأليكترودياليسيس (Electrodialysis). والترشيح بأنواعه المختلفة.

أ- التناضح العكسي : (Reverse Osmosis - RO)

وهي عملية ضغط للمحلول الملحي مقابل غشاء شبه نفاذ، حيث تدفع المياه النقية خلال الغشاء وتترك كل الأيونات (الأملاح). الضغط يزيد عن الضغط الأسموزي للمحلول الملحي.

ب- الأليكترودياليسيس : (Electrodialysis - ED)

هي عملية تنتقل فيها الأيونات خلال الأغشية من محلول أقل تركيز إلى المحلول أكثر تركيزاً. تدفق المياه يكون ملامساً لسطح الغشاء بينما تدفق الأيونات يكون عمودي على الغشاء. عملية الأليكترودياليسيس العكسية. EDR (Electrodialysis Reversal) هي عملية تحليل كهربائي حيث يتغير نوع القطب طبقاً لدورة زمنية وبذلك يتغير اتجاه الأيونات في الأغشية.

٣- أنواع الترشيح :

أ- الترشيح الفائق (Ultrafiltration UF)

الترشيح الفائق هو عملية تتم بالضغط لتركيز المحاليل أو تقطيرها (Fractionating) وذلك للمحاليل المحتوية على مواد هلامية (Colloids) ومواد ذات وزن جزئي عالي. الترشيح العالي بحجز المواد الغير متأينة (Non Ionic) وعموماً يمرر المواد المتأينة حسب قدرة الحجز للوزن الجزيئي للغشاء. (Membrane -MWC- Molecular Weight Cut Off A The Membrane – MWC). وقدرة الحجز للغشاء هذه توصف بالوزن الجزيئي الذي يتم حجز ما زاد عنه. ويعتبر الوزن الجزيئي كدليل تقريبي لحجم الجزيئي. يقوم صناع الأغشية بتصنيف نسبة الحجز لمحلول معين مع معرفة الوزن الجزيئي للمواد المذابة. وتتوقف نسبة

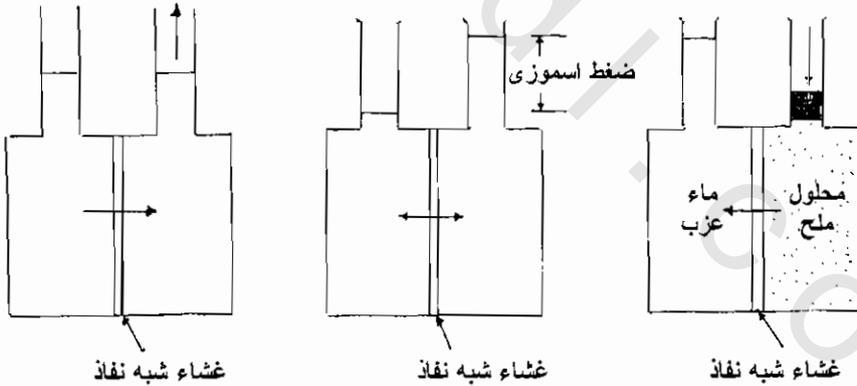
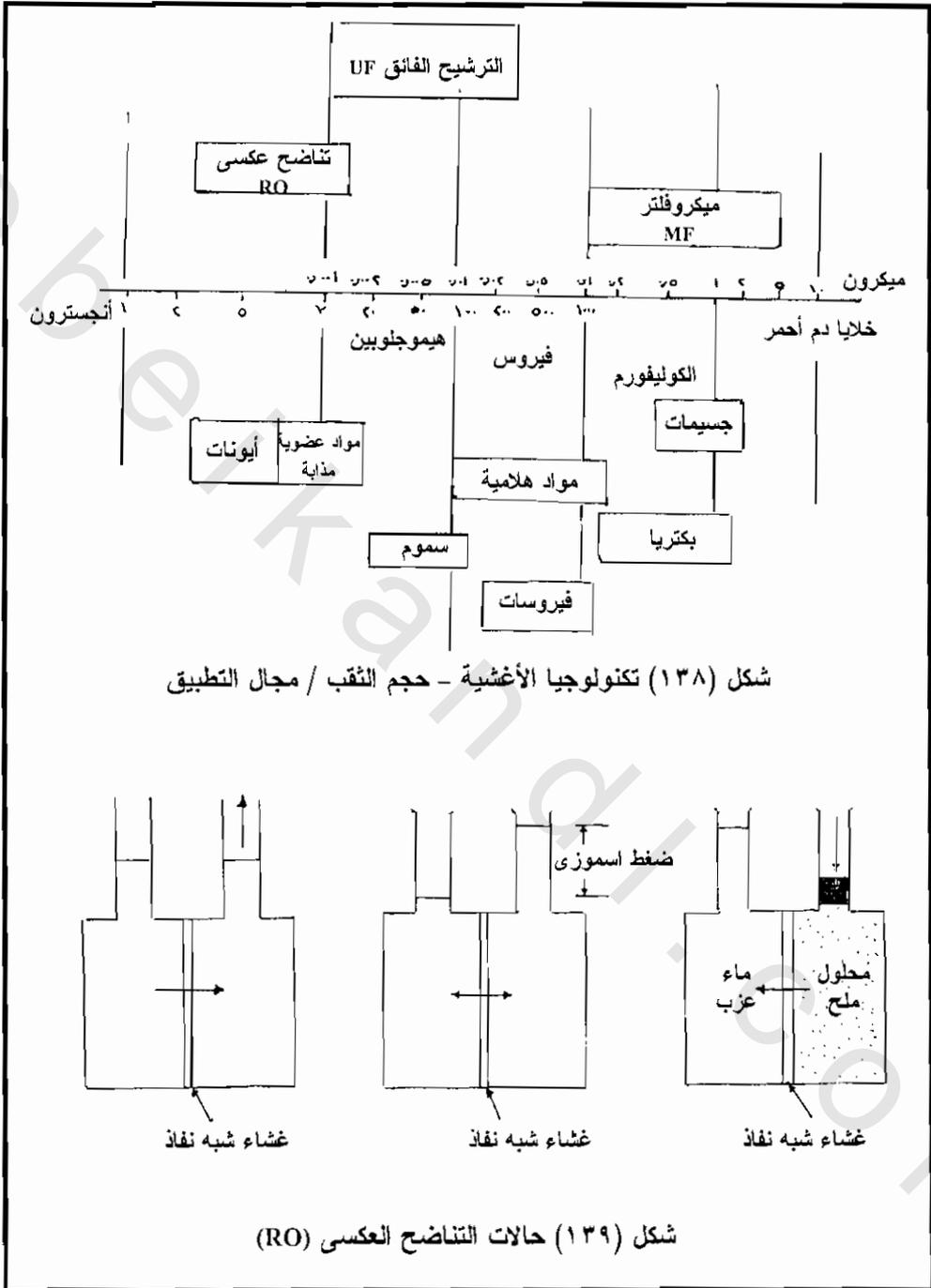
الحجز ليست فقط علي الوزن الجزئ ولكن كذلك علي حجم الجزئ وشكله وشحنته.

ب- ألنا نو فلتر : (Nano Filtration - NF)

يسمي ألنا نو فلتر غشاء إزالة العسر (Membrane Softening). نانو تعني ١ علي ألف مليون أو (10^{-9}) وتعني في هذه الحالة حجم الثقب للغشاء. النانوفلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جدا ويمرر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو ملليمتر (10^{-9}) (INM) وبذا تشبه إلى حد ما خصائص كلا من غشاء الترشيح الفائق (UF) وغشاء التناضح العكسي (RO). يعمل غشاء النانوفلتر عموما عند مجال وزن جزئ مرتفع أكثر من التناضح العكسي وبذا فإنه لا يمرر بنسبة عالية الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ولكن النانوفلتر يمرر الأيونات أحادية التكافؤ بنسبة عالية عن الأيونات ثنائية التكافؤ.

ج - الميكروفلتر :- (Micro Filtration)

وهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومترى 10^{-6} ملليمتر في محلول عبر مادة الغشاء. الميكروفلتر يعمل علي ترويق المياه والسوائل الأخرى وذلك بحجز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة علي سطح الغشاء أو داخل المرشح بينما يمرر المواد المذابة والماء.



القسم الثاني

التناضح العكسي

(Reverse Osmosis - RO)

أشكال (١٣٩ - ١٤٢)

التناضح العكسي هو عملية الغشاء الذي يعمل كمرشح لجزيئات (Molecules) المواد المذابة، فهو يزيل حتى ٩٠% من كل الأملاح المذابة، حتى ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة ويزيل أكثر من ٩٨% من المواد الهلامية (Colloidal) والبيولوجية من الماء والتي تصل تركيزاتها من ٥٠ جزء في المليون حتى ٦٠٠٠٠ جزء في المليون.

١- نظرية التناضح العكسي :

الضغط الأسموزي هو الظاهرة التي تحدث أحيانا عند تدفق الماء (أو أي مذيب آخر) خلال غشاء شبه نفاذ، أي الغشاء الذي يسمح بمرور المذيب وليس المادة المذابة. المحاليل التي تفصل بمثل هذا الغشاء تميل إلى أن تتساوى في التركيز للجزيئات، وبهذا فإن الماء سوف يتدفق من المحلول الأقل تركيزاً إلى المحلول الأكثر تركيزاً. حتى الوصول تقريبا إلى تركيزات متساوية. تدفق المياه خلال الغشاء يولد ضغط يسمى الضغط الأسموزي.

الضغط الأسموزي لمحلول يزداد بتركيب المحلول. الشكل (١٣٩) يوضح العلاقة الأسموزية لثلاث أنيه كل مجهز بغشاء شبه نفاذ كما في الشكل. الإناء في اليسار يوضح النضح (Osmosis) الطبيعي الحدوث. الإناء الأوسط يوضح التعادل الأسموزي أما الإناء علي اليمين فإنه يوضح الضغط الأسموزي العكسي (RO).

ويمكن التعبير عن تدفق الماء خلال الغشاء الشبه نفاذ بالمعادلة :

$$Fw = A(\Delta P - \Delta \pi)$$

حيث Fw = تدفق الماء جرام / سم^٢ في الثانية

A = معامل نفاذية الماء (ثابت) جرام/سم^٢/ثانية عند الضغط الجوي

ΔP = الفرق في الضغط المسلط عبر الغشاء (جوي)

$\Delta \pi$ = الفرق في الضغط الأسموزي المسلط عبر الغشاء (جوي)

يقدر تدفق الملح المذاب (المادة المذابة) خلال الغشاء الشبه منفذ بالمعادلة

الآتية:

$$Fs = B (C_1 - C_2)$$

حيث Fs = تدفق المادة المذابة جرام / سم^٢ في الثانية.

B = نفاذية المادة المذابة في الغشاء سم / ث.

$C_1 - C_2$ = الاختلاف في التركيز عبر الغشاء جرام / سم^٣.

تدفق المياه خلال الغشاء يتوقف علي الضغط المستخدم. فمع زيادة الضغط علي المياه الداخلة أكثر من الضغط الأسموزي للمحلول، فإن تدفق المياه خلال الغشاء يزداد. تدفق الملح يظل أساسا ثابت وان كان يتناسب مع الاختلاف في التركيز. ولهذا تزداد كميات المياه المنتجة مع زيادة الضغط المستخدم. ويقل معدل تدفق المياه مع زيادة ملوحة المياه الداخلة نظرا لزيادة الضغط الأسموزي.

تتوقف نوعية المياه المنتجة علي نسبة الحجز للملح المذاب

الملح المحجوز = ١٠٠ - الملح المار خلال الغشاء.

تركيز المياه الداخلة - تركيز المياه المعالجة (المنتجة)

$$= \frac{100 \times \text{تركيز المياه الداخلة}}{\text{تركيز المياه الداخلة}}$$

معدل الحجز هو النسبة بين تركيز المواد المذابة في المياه الداخلة إلى تركيزها في المياه المنتجة. ويختلف حجز المواد المذابة طبقاً للغشاء المستخدم، تركيز المياه الداخلة، التكافؤ الكيميائي للأيونات وعوامل أخرى. فمثلاً الزرنيخ ثلاثي التكافؤ بحجز نسبة (بمعدل) أقل من الزرنيخ خماسي التكافؤ.

مثال رقم (١)

مياه خام ملوحتها ٢٥٠٠ ملليجرام / لتر أملاح كلية مذابة. المياه المنتجة بعد المعالجة ملوحتها ٨٥ جزء في المليون. ما هي نسبة الحجز للأملاح. ونسبة الأملاح المارة خلال الغشاء.

الحل :

$$\text{نسبة الحجز للأملاح} = \frac{\text{تركيز المياه الخام} - \text{تركيز المياه المعالجة}}{\text{تركيز المياه الخام}} \times 100$$

$$= \frac{2500 - 85}{2500} \times 100 = 96,6\%$$

نسبة الأملاح الغير محتجزة = ١٠٠ - نسبة الأملاح المحتجزة

$$= 100 - 96,6 = 3,4\%$$

كلما زاد معدل الإنتاج يعني زيادة إنتاج المياه من المياه الخام الداخلة ويتوقف زيادة معدل الإنتاج علي نوعية المياه ومدى تشبع الغشاء بالرواسب مثل كبريتات الكالسيوم وكبريتات الأسترنشيوم وكبريتات الباريوم في المحلول المشبع.

مثال (٢)

المياه الداخلة ٢,٥ مليون لتر في اليوم بنظام التناضح العكسي أنتجت ٢ مليون لتر في اليوم ما هي نسبة الإنتاج؟

$$\text{معدل الإنتاج} = \frac{\text{معدل المياه المحجوزة} - \text{معدل المياه الخام}}{\text{معدل المياه الخام}}$$

المياه المحجوزة (شديدة الملوحة) = ٢,٥ - ٢ = ٠,٥ مليون لتر / اليوم

$$\therefore \text{معدل الإنتاج} = \frac{٠,٥ - ٢,٥}{٢,٥} = \frac{٢}{٢,٥} = ٨٠\%$$

٣- مواد الأغشية المستخدمة في التناضح العكسي: (Membrane Material)

تصنع الأغشية من مواد مختلفة مثل أسيتات السليلوز (Cellulose Acetate - CA) وثنائي أسيتات السليلوز (Cellulose diacetate - CDA) وثلاثي أسيتات السليلوز (Cellose Tri Acetate- CTA) والبولي أميد (Poly Amide - PA) ومواد أخرى (Aromatic Polyamide) وقد يستخدم غشاء رقيق من مواد مركبة (Thin Film Composite Membrane - TFC) بالنسبة لكيمياء أسيتات السليلوز (CA) كلما زاد المحتوى من مادة الأسيتيل (Acetyl) كلما زاد حيز الأملاح وقل تدفق المياه. واغشية السليلوز عموماً أقل سعراً ويمكن إن تقاوم الكلور لأقل من ١ ملليجرام / لتر في المياه المعالجة مقيم ككلور حر. ولكن هذا الغشاء له سلبياته فهو معرض للتحلل البيولوجي وكذلك معرض للتحلل الكيماوي بالنتفاعل مع الماء مكون السليلوز وحامض الأستيك (الخليك) وهذا التغير يحدث بسرعة عند الرقم الهيدروجيني المنخفض جداً أو المرتفع، ويزداد هنا التحلل مع زيادة درجة حرارة المياه الخام أو الرقم الهيدروجيني لهذه المياه خارج الحدود من ٥ إلى ٦ ولهذا تتم المعالجة المسبقة بالحامض لجعل المياه الخام عند هذا الرقم الهيدروجيني ٥ إلى ٦.

البولي أميد أو الأغشية من المواد المركبة (TFC) معرضة للتحلل في حالة وجود الكلور أو أي مؤكسد آخر إلا أنها تقاوم التحلل البيولوجي وهذه الأغشية تعمل بكفاءة عند رقم هيدروجيني ٤ إلى ١١.

أحيانا يتغير أداء الغشاء وكفاءته بسبب الانضغاط (Compactness) والترسيبات (Fouling) والملوثات. وانضغاط الغشاء يسبب أحيانا خفض في لتدفق. ويزداد الانضغاط للغشاء مع زيادة الضغط للمياه الخام وكذلك مع زيادة درجة حرارتها. معظم الانضغاط يحدث عادة في السنة الأولى من التشغيل وهو متغير (Irreversible). الأغشية المتاحة تجاريا تعمل في حدود درجة حرارة من ٢١-٣٥°م. كلما كانت درجة حرارة التشغيل في نطاق هذه الحدود (٢١-٣٥°م) كلما زاد معدل إنتاج المياه المعالجة. يحدث التلوث والترسيب علي الغشاء من وجود الترسيبات (Scales) والمواد الهلامية (Colloidal) والأكاسيد والسيليكات العضوية وبعض الملوثات في المياه الخام. وقد يلزم المعالجة المسبقة في بعض الحالات لحماية الغشاء من التلف وتلوث الغشاء ووجود ترسيبات عليه يمكن التعرف عليها من نقص الإنتاج وكذلك زيادة نسبة الأملاح المارة خلال الغشاء. وهذا المؤشر يوجب عمل إجراءات النظافة للغشاء.

٣- أشكال الأغشية : (Membrane Configuration)

توجد أربعة أشكال من تجهيزات الأغشية وهي الحلزونية، والأغشية الرقيقة الجوفاء (Hollowfine Fiber)، والغشاء الأسطواني (Tubular)، الأغشية في شكل ألواح محاطة بإطار (Plate And Frame) ومن بين هذه التجهيزات المستخدمة في تنقية المياه لأغراض الشرب هو تجهيزه الغشاء الحلزونية (Spiral)، الأغشية الرقيقة الجوفاء.

أ- الغشاء الحلزوني شكل رقم (١٤٠) :

يتكون من مسطحين مستويين من الأغشية مفصولين عن بعضهما بواسطة مسطح مثقب حامل (Support) وملحومين من ثلاثة أجناب لتكوين جيب. الجانب

الرابع ملتصق بمادة لاصقة وبه أنبوبة مجوفة من البلاستيك لتجميع الماء المعالج. يتم اللف (Rolled) الحلزوني لهذا الجيب أو السطح حول أنبوبة الماء المعالج شكل (١٤٠ - ب) مع أحاطه الجيب بغطاء خارجي (External Spaces) ليسمح بتدفق المياه الخام. تتدفق المياه الخام خلال الفراغات بين اللغات الحلزونية. تتسرب المياه خلال الغشاء ثم تتدفق من المحيط الداخلي داخل جيب الغشاء الي أنبوبة المياه المعالجة شكل (١٤٠ - ح) يعد تجهيز الوحدة للمعالجة بالتناضح العكسي باستخدام حتى ستة وحدات محاطة بغطاء يتحمل الضغط (Pressure Vessel) ومركبة في صفوف والغطاء المستخدم يكون عادة من الفيبر جلاس.

الغشاء المستخدم في التناضح العكسي لتحلية المياه المالحة من ٣٠٠٠ حتى ٣٠٠٠٠ مليجرام / لتر يكون أستيات السليلوز أو البولي أميد أو من البولي إيثر بولي أميد بولي سلفون.

ب- الأغشية من الشعيرات الرقيقة الجوفاء : (Hollow Fine Fiber Module)

أقوي الأغشية المجهزة هو الغشاء من الشعيرات الرقيقة الجوفاء. الشعيرات سمكها قريبا من سمك الشعر الأدمي من مادة البولي أميد بينما المصنع من مادة السليلوز أسيات لها ضعف السمك.

الشكل (١٤١ - أ) يوضع الغشاء (B 9 Membrane). الشعيرات كثيفة ورقيقة علي السطح بما يعيق تسرب الملح ويسمح بمرور الماء. وأسفل هذا السطح للشعيرة توجد طبقة مثقبة والتي تعمل كحامل لجلد الغشاء المانع لنفاذ الملح ولوجود الثقوب فإنها تسمح بمرور المياه الي تجريف الشعيرة. في عام ١٩٧٣ أنتج غشاء B - IO لتحلية مياه البحر وله قدرة علي تحمل الضغط وسمك جداره أكبر. القطر الخارجي له سمك ٩٥ ميكروميتر (95 Mm) والقطر الداخلي ٤٢ ميكرو متر. الشعيرة الجوفاء لها قدرة تحمل ذاتية وهي عبارة علي أسطوانة كثيفة الجدار. نظرا لأن النسبة بين القطر الخارجي إلى القطر الداخلي هي ٢ : ١ فإن هذه الشعيرات لها قدرة علي تحمل ضغوط التشغيل العالية بدون تلف. الشكل (١٤١ - ب) يبين

مبادئ التجهيز للشعيرات الجوفاء الأسموزية يشبه أحيانا المبادل الحراري الذي يعمل بالأنابيب. المياه الخام تتدفق خارج وحول الأنابيب. المياه المنتجة تدفع داخل جدار الشعيرات بضغط التشغيل العالي، وتتدفق في الأنابيب الي الخارج والمياه المالحة المركزة تخرج من جانب الجدار الخارجي.

٤ - التغذية بالمياه الخام في التحلية بالضغط الأسموزي : (Feed Water Supply)

المياه الجوفية هي المصدر المفضل لإزالة الملوحة بالضغط الأسموزي وذلك نظرا لثباتها الكيماوي. وقد لوحظ أن من أسباب تلوث وتلف الأغشية هو ترسيبات الحديد والأملاح الناتجة عن تآكل القيسون والطلبة لأبار المياه الجوفية. هذا بالإضافة إلى أنه في حالة تعرض المياه الجوفية للهواء الجوي يتأكسد الحديد المذاب في الماء وكذلك مركبات الكبريت بما يسبب تلف شديد للغشاء. ولهذا تستخدم مواد مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم أو البلاستيك في إنتاج المياه من الآبار هذا بالإضافة إلى أحكام قفل البئر لعدم تسرب الهواء سواء استخدمت الطلمبة الجوفية أو السطحية.

ويعتبر من الأمور الهامة الدقة في اخذ العينات والتحليل للمياه. ويوصي بما لا يقل عن ثلاث تحليلات منفصلة لتأكيد دقة البيانات التصميمية. يشمل التحليل كل الملوثات وكل الأملاح المذابة في الماء. المياه من المصادر السطحية تتطلب معالجة إضافية مسبقه لمواجهة التغيرات الموسمية في مصدر المياه، بالإضافة إلى تأمين المجري المائي من الملوثات كما ان نوعية المياه المنتجة تتغير مع تغيير نوعية المياه المعالجة. وكذلك يلزم ان تكون المهمات والمعدات والمواسير من مواد غير قابلة للصدأ.

المعالجة المسبقة: (Pretreatment)

تعتبر المعالجة المسبقة عامل مهم للمحافظة علي كفاءة واستمرار الأداء الجيد للغشاء. يلزم إزالة العكارة والمواد الصلبة العالقة من المياه الخام قبل وصولها الي

الغشاء. يستخدم جهاز مقياس العكارة أو جهاز التحكم وذلك لمراجعة المياه المعالجة بالنسبة للعكارة مع الإيقاف الآلي في حالة زيادة منسوب العكارة عن الحد المسموح به. المواد العالقة مثل الطين والطفلة والتي يمكن أن تعلق بالغشاء تسبب عدم تجانس توزيع المياه وإذا لم يكن هناك نظافة جيدة يحدث ترسيب وتراكمات علي الغشاء. وتقاس نوعية المياه المعالجة باستخدام مؤشر كثافة الطفلة (Slitdensity Index - SDI) هذا الاختبار أو اختبار التراكمات (Fouling Index) يلزم عمله من أن الي آخر علي إمدادات المياه المعالجة. اختبار مؤشر كثافة الطفلة يبين كميات الجسيمات والمواد الهلامية الموجودة في المياه المعالجة، كما أن هذا الاختبار للمياه المعالجة مسبقا يقدر مسبقا كمية المواد التي يمكن أن ترسب على الغشاء في المياه. عموما فإن الغشاء الحلزوني يمكن ان يتحمل أقصى مؤشر كثافة الطفلة قيمته ٥ بينما أغشية الشعيرات الدقيقة تعمل في حدود أقل من ٣ أو ٤. يلزم دائما إضافة كيمياويات لمنع الترسبات. عادة يضاف حامض الكبريتيك بتركيز ٩٣% (Baumie ٥٦٦) إلى المياه الداخلة للتحلية لمنع ترسيب كربونات الكالسيوم $Ca CO_3$ وكربونات الماغنسيوم ($Mg CO_3$) علي الأغشية. من خلال استعمال طريقة ضبط الرقم الهيدروجيني فإن المياه المملحة (Brackish) يضاف لها الحامض حتى الحصول علي مؤشر لانجيلبير للتشبع لتدفقات المياه المالحة المركزة بعد المعالجة (Concentrate Stream).

يستخدم عموما ٢ مقياس للرقم الهيدروجيني (pH Sensors) أحدهما لمقياس الرقم الهيدروجيني للمياه الخام والأخر لقياس الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة. معدات تغذية الكيماويات بتنسيب معدل التغذية طبقا لتدفق المياه الخام. جهاز ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه الخام يتم ضبطه لإعطاء الرقم الهيدروجيني لتدفقات المياه الداخلة. وكذلك يمكن لجهاز التحكم في الرقم الهيدروجيني إيقاف محطة المعالجة في حالة تجاوز حدود الرقم الهيدروجيني وذلك لأمكان حماية الغشاء من الترسبات والتلف. تتم تغذية الكيماويات قبل خرطوشة المرشح وقد تشمل خلاط علي الخط لتأكيد الخلط الجيد قبل وصول المياه الي الغشاء. يمكن كذلك منع ترسيبات كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم بالتبادل الأيوني ولكن هذه الطريقة أكثر

تكلفة من ضبط الرقم الهيدروجيني باستخدام الحامض. مع توقف وحدة التحلية يتم شطف (غسيل Flushed) الأغشية بتدفقات مياه خام حامضية أو بمياه محلاه غير مكلورة لإزالة المياه عالية التركيز (Brine) نتيجة طول الالتصاق مع الأغشية. وفي حالة ترك المياه عالية التركيز ملاصقة للغشاء سيحدث ترسيب. في حالة توقف الوحدة لعدة أيام يتم تطهير الأغشية أو تعقيمها بالمليء بمحلول مطهر مثل الفورمالدهايد أو بايسلفيت صوديوم (Sodium - Metabisulfite) طريقة أخرى هي وضع الوحدة في الإحتياط بدون استخدام مطهرات مع التشغيل اليومي لمدة لا تقل عن ٣٠ دقيقة، عندئذ يتم مراقبة النمو البيولوجي عند استخدام هذه الطريقة.

ترسيب الكبريتات اكثر صعوبة في الحد منها عن ترسيب الكربونات. كلا من كبريتات الكالسيوم والباريوم والأسترلشيوم يمكن ان تسبب مشاكل في أنظمة معالجة المياه متوسطة الملوحة (Brackish) مع مراجعة الحسابات لتأكيد عدم الزيادة عن حدود الإزابه. وعموما لا تعتبر الكبريتات مشكلة في تحلية مياه البحر بالضغط الأسموزي ورغم هذا يلزم عمل الحسابات لعمل حدود الإزابه.

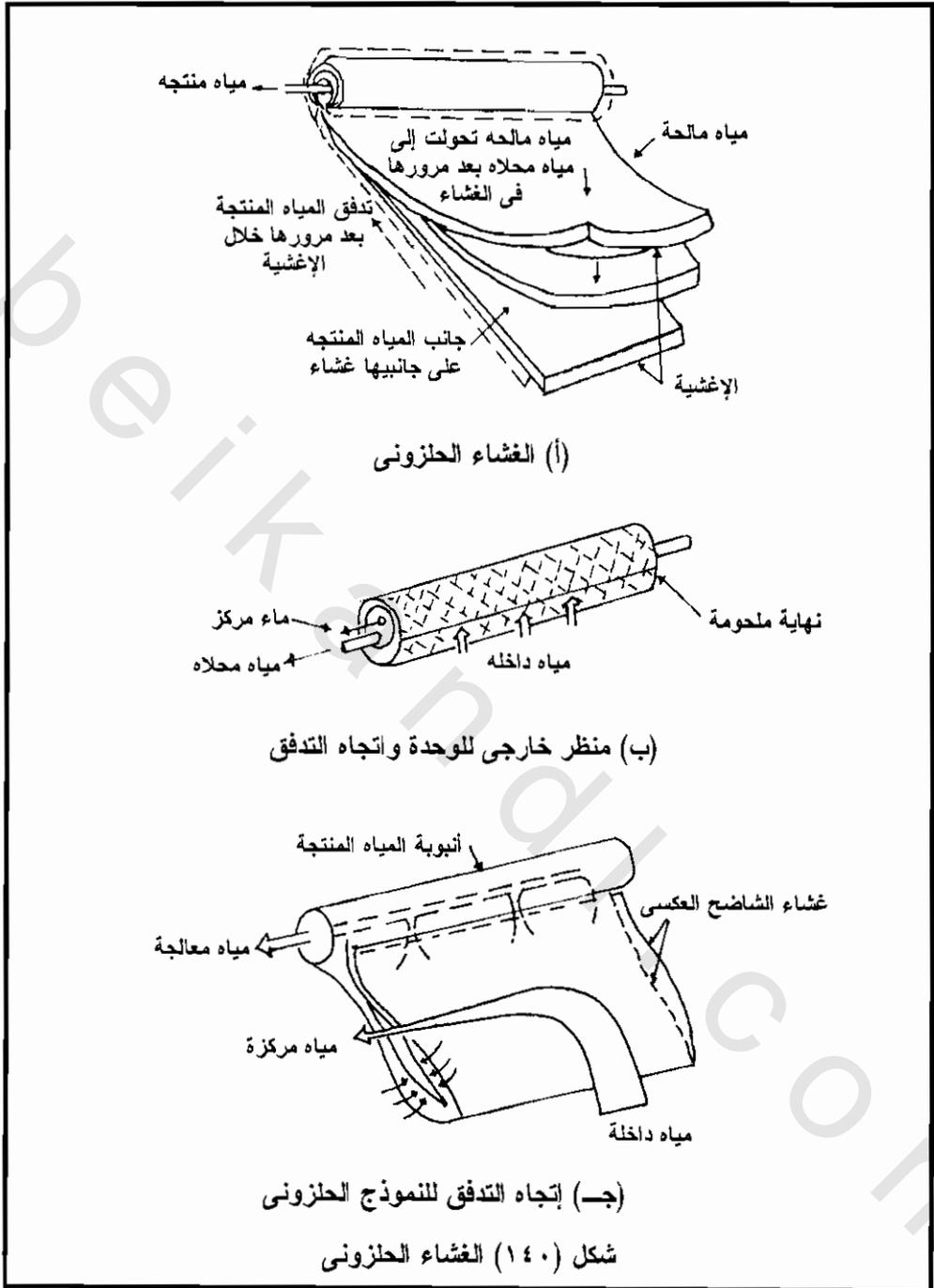
فقد استخدم مركب صوديوم هكساميتا فوسفيت (Sodium Hexa Meta Phosphate) (SHMP) كمادة تغلف (Sequestrant) للحد من ترسيبات الكبريتات. ولقد استخدمت مادة SHMP للحد من ترسيبات الكبريتات عند ضعف مستوى التشبع للمياه المركزة (Concentrate). كلا من الباريوم والأسترلشيوم أقل في الإذابة من كبريتات الكالسيوم. يتم حقن مادة SHMP في مجري التغذية بالمياه الخام بعد الحامض وقبل خرطوشة الترشيح. ويوصي كذلك بتجهيز الخلط بخلاط ثابت لضمان حسن الخلط ويقدر معدل التغذية بـ ٥ - ١٠ ملليجرام / لتر. وعيوب مادة SHMP هي أن المادة تتحلل في الماء مكونة مادة الأورثوفوسفيت وهي مادة غير مؤثرة في منع ترسيب الكبريتات ولهذا يلزم تحضير احتياجات يوم واحد وخطها قبل الاستخدام. حديثا استبدل استخدام مادة SHMP بمواد مانعة للترسبات أو البلمرات عالية الكثافة (Long Chain Polymars) بديلا عن الحامض فان مادة SHMP أو أحد المواد المانعة للترسيب (Antiscalants) يمكن أن تضاف الي المياه الخام (الداخلة) عندئذ فان مؤشر لانجليير للتشبع يمكن إن يرتفع حتى ١,٠٩. وهذا

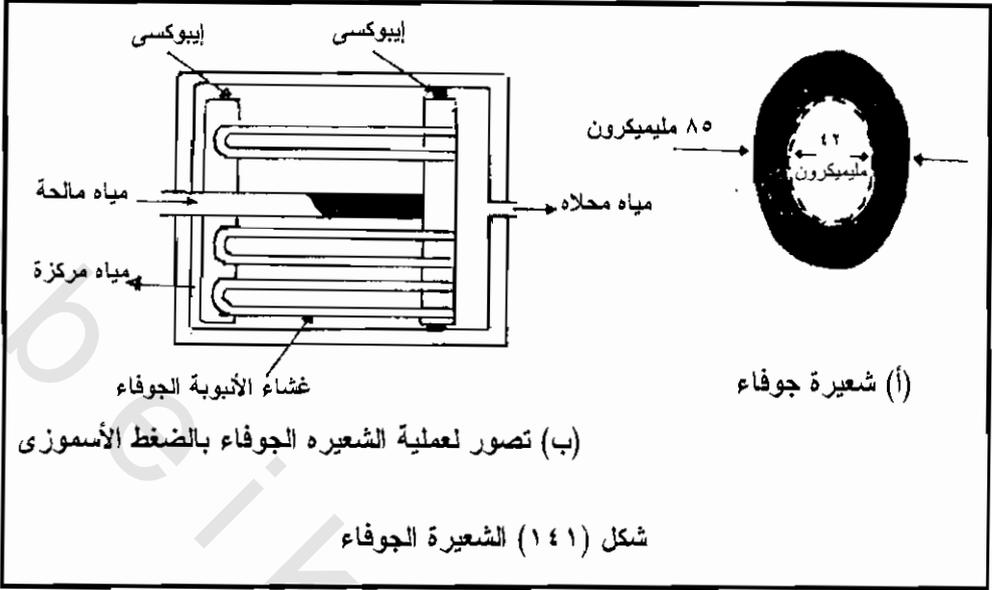
يقلل من الاحتياج إلى الحامض بدرجة كبيرة كما أنه مناسب لكل الأغشية من البولي أميد مع الحجز الجيد عند رقم هيدروجيني متعادل.

الأغشية من أسيتات السليلوز (CelluloseAcetate - CA) تظل تحتاج الي إضافة حامض لمنع التحلل. يعتبر الاختبار التجريبي لمواد التغليف كملحوق لاختبار العملية نظرا لأن بعض المواد يمكن إن تعمل بكفاءة مع نوعية معينة من المياه.

تعتبر خرطوشة الترشيح ضرورية لكل من المياه السطحية والجوفية. ويستخدم عادة المرشح ذو الثقوب ٥ ملليمكرون (5 Mm) في وحدات الضغط الأسـموزي. ويتم تغيير المرشح عندما يكون الفرق في الضغط عبر المرشح حوالي ١٥ رطل / البوصة المربعة وذلك بواسطة أجهزة قياس الضغط عبر المرشح التي تركيب علي مدخل ومخرج المرشح. ويكون غطاء المرشح من الصلب المقاوم أو الفيبر جلاس. المحتوي من المواد العضوية والكائنات الدقيقة يلزم تقديره مسبقا. وهذه الملوثات احتمالاتها في المياه السطحية أكثر منه في المياه الجوفية. والمواد العضوية الغير مذابة في الماء يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء. التناضح العكسي يمكن إن يعمل علي مياه تحتوي علي ٢٠ مليجرام / لتر كربون عضوي (Organic Carbon). البكتريا والطحالب يمكن إن تسبب ترسيبات وتلوث للمياه المنتجة وكذلك التحلل البيولوجي للغشاء. يمكن استخدام الكلور مع الأغشية التي تتحمل استخدامه للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعض الأغشية لا تتحمل مادة الكلور المتبقي مما يتطلب استخدام المبيدات للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعد التخلص من الملوثات يمكن معالجة الغشاء بمادة مبيدات حشرية ثم باستخدام منظف صناعي. المياه السطحية قد تحتاج الي مرور أو بوليمر كاتأيوني قبل الترشيح للتخلص من المواد الهلامية (Colloidal). كلا من كبريتات الألومنيوم وبعض البلمرات الآن أيونية مثال للإضافة الكيماوية التي قد تسبب التلف ولهذا لا يتم استخدامها. المحتوي من الألومنيوم أكثر من ١.٠ مليجرام / لتر (AsAL⁺⁺⁺) يمكن إن يسبب مشكلة لنظام المعالجة بالتناضح العكسي.

كلا من الزيوت والشحوم يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء بتكوين طبقة علي سطح الغشاء بما يؤثر علي نوعية الحجز.





٥ - مجموعات وصفوف الأغشية : (Membrane Blocks and Arrays)

تتكون وحدة المعالجة بالضغط الأسموزي من مجموعات كل مجموعة من عدة وحدات في صف، كل وحدة مماثلة للأخرى وذات طاقة مناسبة طبقاً للتصميم. في حالة الرغبة في زيادة طاقة محطة المعالجة يمكن تنفيذ ذلك بسهولة. كما يمكن إيقاف مجموعة للنظافة أو التعديل. المجموعة يتم تنظيفها مرة واحدة وهي تتكون إما من وحدة واحدة أو أكثر. وتتوقف المراحل أو عدد المجموعات على معدل المعالجة (Recovery Rate) والذي يتوقف بالتالي على نوعية المياه الخام. يمكن تحقيق نسبة معالجة ٥٥% للمياه المملحة (Brackish) في مرحلة واحدة. أما المرحتين فتحقق نسبة ٧٥ - ٨٠% والثلاث مراحل من ٨٥ - ٩٠% في هذا النظام شكل (١٤٢). في النظام متعدد المراحل فإن المرحلة الأولى تكون المياه عالية التركيز المنتجة منها هي المياه الخام للمرحلة الثانية والمياه العالية التركيز من المرحلة الثانية هي المياه الخام للمرحلة الثالثة، وهذا للإستفادة من الضغط المتبقي في المياه المركزة. عند معرفة البيانات التفصيلية لنوعية المياه، وعدد

المراحل والوحدات في كل مرحلة ومعدل المعالجة ونوعية المياه المنتجة يمكن بسهولة عمل التصميم لمحطة المعالجة بالضغط الأسموزي كما تصمم المحطة مع مراعاة كفاءة الغشاء طبقاً لعمره الافتراضي. والعمر الافتراضي التصميمي للغشاء والذي يتراوح ما بين ٣ - ٥ سنوات حيث يحدث بعد ذلك انضغاط تام للغشاء. يحدد الضغط للمياه الداخلة عند التصميم.

أ - الأجهزة المستخدمة : (Instrumentation)

يلزم توفير المطلوب من أجهزة التحكم لتأكيد سلامة التشغيل وعدم التلف للغشاء المستخدم. وهذه الأجهزة تعمل علي توقف المحطة في حالة زيادة ضغط الطلمبة، وضعف ضغط السحب (Low Suction Pressure) وزيادة ملوحة المياه المعالجة (زيادة التوصيل الكهربائي) وزيادة أُنقص معدل التدفق وزيادة الملوحة للمياه المنتجة وضعف تدفق مزيلات الترسيب بالإضافة إلى عوامل أخرى.

ب - نظام المعالجة النهائية : (Post Treatment Systems)

يلزم إزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. خفض ثاني أكسيد الكربون يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة وإزالة كبريتيد الهيدروجين يعمل علي إزالة الرائحة الكريهة. يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة باستخدام الصودا الكاوية أو الجير، يضاف الكلور للتطهير. نظراً لإزالة كل المواد العضوية من المياه المنتجة فإن الكلور المطلوب يكون قليلاً وعادةً فإن الكلور المضاف يكون كلور حر متبقي.

ج - إستعادة الطاقة : (Energy Recovery)

لقد كانت استعادة الطاقة تعتبر اقتصادية لمعالجة (تحلية) مياه البحر فقط والآن أصبحت مناسبة كذلك للمياه المملحة (Brackish) حيث استخدمت في المحطات ذات الضغط المنخفض وذلك باستخدام طلمبة غاطسة من الصلب المقاوم والمحرك يدور في الإتجاه المضاد. والحركة العكسية للتربين توضع في خط الصرف المضغوط

(Pressurized brine). مع تدفق المياه عالية التركيز تدور التربينات الغاطسة بالعكس وبالتالي تحرك المحرك بالعكس، وبذا تتولد طاقة كهربائية. الطاقة المنتجة تعود إلى مصدر الطاقة الرئيسي للاستخدام في محطة التناضح العكسي.

د- النظافة وتجديد الغشاء :

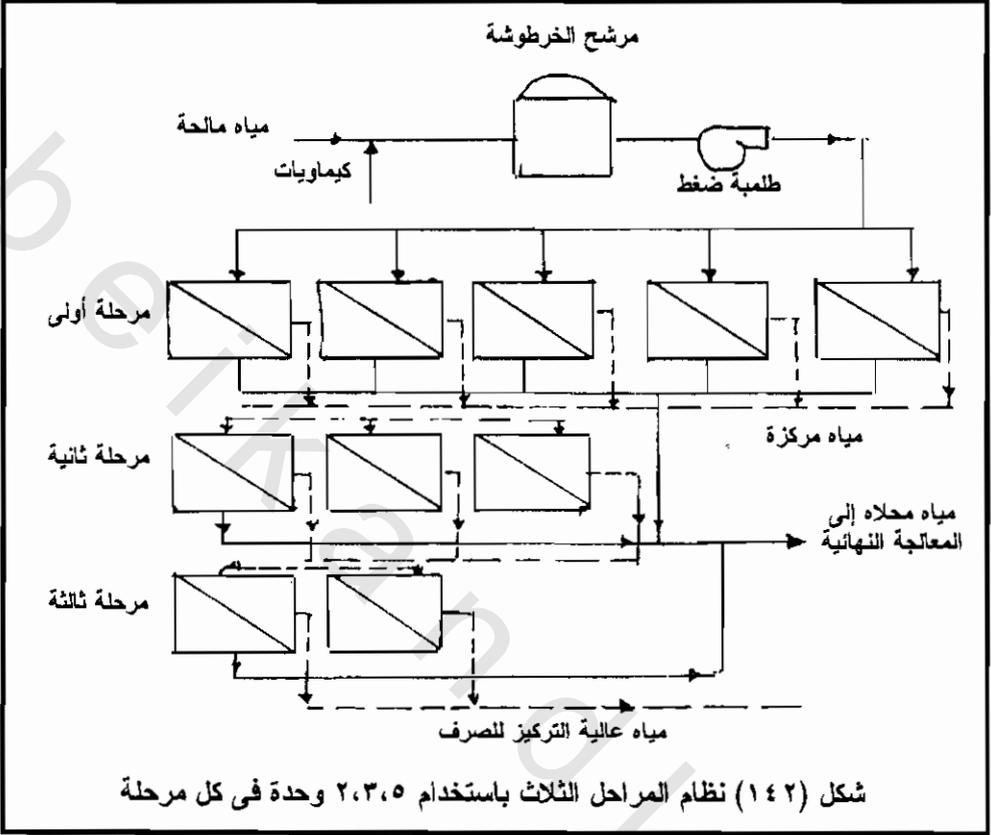
وحدة النظافة تعتبر مكملة لمحطة المعالجة. وتتكون وحدة النظافة من طلمبة من الصلب المقاوم توفر التدفق والضغط المطلوب، حوض من الفيبر جلاس أو من البولي إيثيلين بسعة تخزين ثابتة، مرشح خرطوشة ١ - ٥ ملليمكرون، مواسير غير قابلة للصدأ والتآكل وكذلك المحابس وخلطة.

يلزم إن يكون العاملين علي وعي لظروف التشغيل حيث تعطي إشارة عند الحاجة الي النظافة. ومن هذه الإشارات زيادة مرور الأملاح بنسبة ١٥ % أو أكثر، الانخفاض في الضغط بنسبة ٢٠% أو أكثر، تدفق المياه المحلاة يقل أو يزيد بنسبة ٥%، تغير تدفق المياه المركزة بنسبة ٥% وكذلك وضوح الترسبات. مواد النظافة عادة توصف بواسطة المنتج وذلك للنظافة الكيماوية أو البيولوجية. بعض الكيماويات المستخدمة في النظافة تشمل حامض التنيك (Tannic acid) بولي فينيل ميثيل أثير (Ploy Vinyl Methyl Ether).

٦- إمكانيات المعالجة بالتناضح العكسي :

بالإضافة إلى تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة، فإن التناضح العكسي يستخدم في التخلص من المواد العضوية الطبيعية والمخلقة المذابة في الماء. وكلما انخفض الوزن الجزيئي كلما زادت إمكانية الحجز. ويزال كذلك كلا من البكتيريا والفيروسات. وكذلك نسبة الإزالة عالية بالنسبة للمعادن الثقيلة والأملاح المذابة الأخرى. وكذلك يمكن التناضح العكسي من إزالة المواد المشعة (Radionuclide). والاستخدام الرئيسي للتناضح العكسي هو إنتاج المياه للإغراض الطبية ولأغراض الترطيب ولإنتاج البخار في عمليات كي الملابس بالبخار. هذا بالإضافة إلى

استخدامها في إنتاج مياه الشرب وذلك بعد زيادة ملوحة المياه المعالجة طبقاً للمعايير المقررة.



obeikandi.com

القسم الثالث

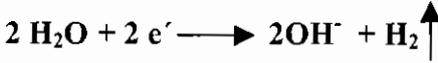
الفصل الكيمياء الكهربي أو الأليكترودياليسيس (Electrodialysis – ED)

أشكال من (١٤٣ - ١٤٧)

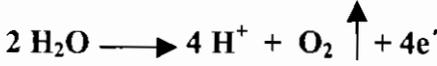
الأليكترودياليسيس هي عملية فصل كهر وكيميائية حيث تنتقل الأيونات التي أغشية أن أيونية وأغشية كاتيونية من محلول أقل تركيز الي محلول أكثر تركيزاً نتيجة لتدفق التيار كهربي ثابت. والفصل الكهربي الكيمياء العكسي (EDR) هو عملية يتم فيها تغيير اتجاه حركة الأيونات في الاتجاه العكسي. وتستخدم طرق ED / EDR في معالجة المياه المملحة لتكون صالحة للشرب أو لإزالة الأملاح أو تركيز لمحاليل بهدف إعادة الإستخدام. وسيتم التعبير عن الفصل الكهروكيميائي أو الأليكترودياليسيس بالرمز (ED) وعن الأليكترودياليسيس العكسي بالرمز (EDR).

١- حركة الأيونات : (Ion Transport)

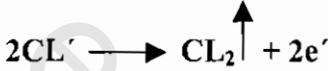
لتفهم ED فإنه يلزم تفهم اثر التيار الثابت علي محلول أيوني. بفرض حوض مستطيل مزود بقطب عند كل جانب. الحوض مملوء بمحلول كلوريد الصوديوم شكل (١٤٣) عند مرور تيار ثابت عبر القطبين، فإن الكاتيونات Na^+ تنجذب نحو القطب السالب والذي يسمى الكاثود، بينما الآن أيونات Cl^- تنجذب نحو القطب الموجب والذي يسمى الأنود. وعند الكاثود يحدث تفاعل الاختزال التالي لأيون الهيدروجين نتيجة تحلل المياه..



وعند الأنود يحدث تفاعل الأكسدة التالي لأيون الأيدروكسيد



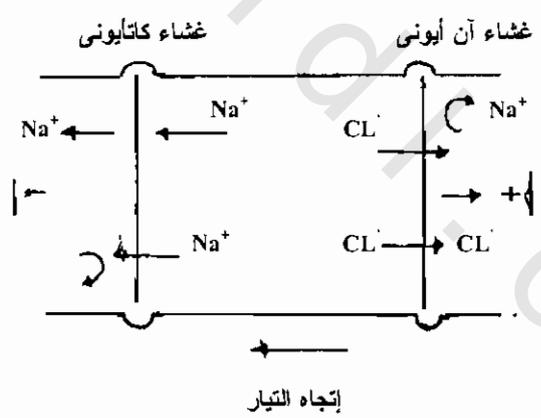
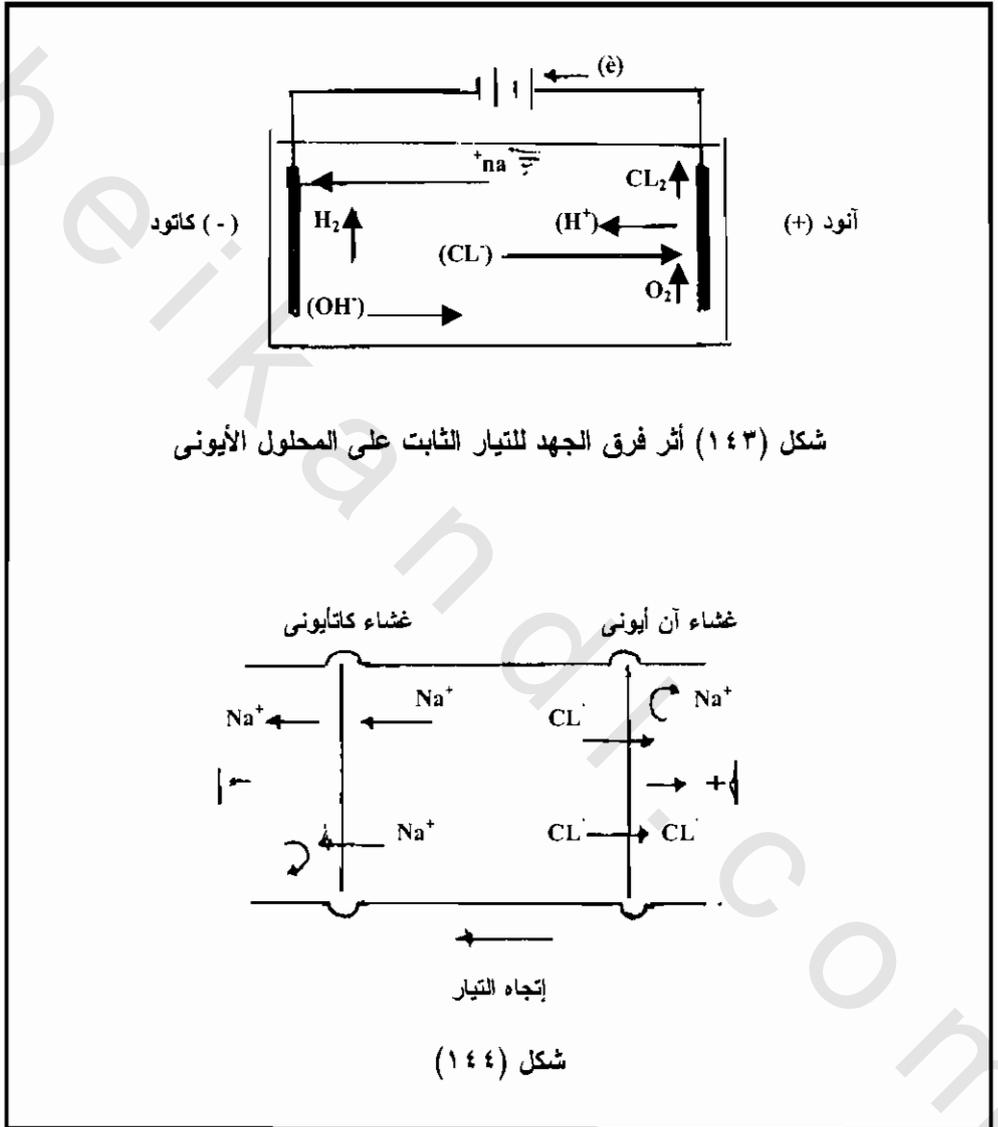
وقد يحدث عند الأنود كذلك تفاعل يشمل تكوين غاز الكلور



أغشية ED هي أساسا راتنجيات في شكل رقائق (مسطحة) كاتأيونية أو أيونية أو غير أيونية. ولهذا تسمى غشاء كاتأيوني أو غشاء أن أيوني. وفي عمل مصفوفة ED شكل (١٤٣) فإن الأيونات المذابة والغشاء الكاتأيوني والآن أيوني ومجال التيار الكهربائي الثابت تعمل مع بعضها لإزالة الأملاح أو الأيونات في الماء وكذلك تعمل علي تركيز الأيونات المزالة في مجرى المياه المركزة. في مصفوفة الأغشية فإن المياه المحتوية على الأيونات المذابة يتم ضخها بين الغشاء الكاتأيوني والآن أيوني وذلك خلال مجرى من البولي إيثيلين.

الأيونات السالبة تمر خلال الغشاء الآن أيوني بينما الأيونات الموجبة تحتجز. وعلي العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتأيوني بينما الأيونات السالبة تحتجز. وهذه الأيونات المارة خلال الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية تجمع في غرفة التجميع وتكون المحلول الملحي المركز. أغشية ED هي أغشية موصلة للكهرباء وهي غير منفذة للمياه تحت الضغط. وعند تمرير تيار كهربائي ثابت فسي هذه المصفوفة فإن كل الكاتأيونات تتحرك نحو القطب السالب. وفي حالة مقابلة الكاتأيونات للغشاء الأول عندئذ فان الكاتأيونات تمر إذا كان هذا الغشاء كاتأيوني فإن الأيونات تمر الي غرفة المياه التالية، تاركة خلفها خلية تخفيف أو مزالة كاتأيوناتها. وعلي العكس في حالة مقابلة الكاتأيونات للغشاء الأول ويكون غشاء أن

أيوني، فإن هذا الأيون لا يمر بل ويحتجز في مكانه حيث تصبح هذه غرفة تركيز كما في الشكل (١٤٣) الآن أيونات تمارس الحركة في الاتجاه المضاد حيث تجذب بواسطة القطب الموجب.



شکل (١٤٤)

٣ - المصفوفة : (The Stack)

في الشكل رقم (١٤٤) الأيونات تترك الغرفة الوسطي خلال الغشائين ويتم إزالة الأملاح من المياه، بينما الغرف الخارجية يزداد تركيزها بالأيونات. في الشكل (١٤٥) فإن هذه الفكرة تم امتدادها لتكوين أغشية متبادلة من الكاتيون والآن أيون، كل بنفس التيار الثابت المار خلالها بالتالي بتكرار نفس النظام المبسط الشكل (١٤٤). في الشكل (١٤٥) فإن الغرف الثانية والرابعة والسادسة (من اليسار) تزال ملوحتها بينما الغرف الأولى والثالثة والخامسة والسابعة تزداد ملوحتها. تجهز المصفوفة بنظام صرف لكل من هذه الغرف المتماثلة مع بعضها. وهذه المصفوفة في الواقع تتكون من عدد من الوحدات المكررة والتي تسمى الخلية المزدوجة. المصفوفة الواحدة تحتوي عادة علي ١٠٠ إلى ٦٠٠ خلية مزدوجة والخلية المزدوجة بين القطبين تكون كهربيا علي التوالي ولهذا تحمل نفس التيار الكهربائي.

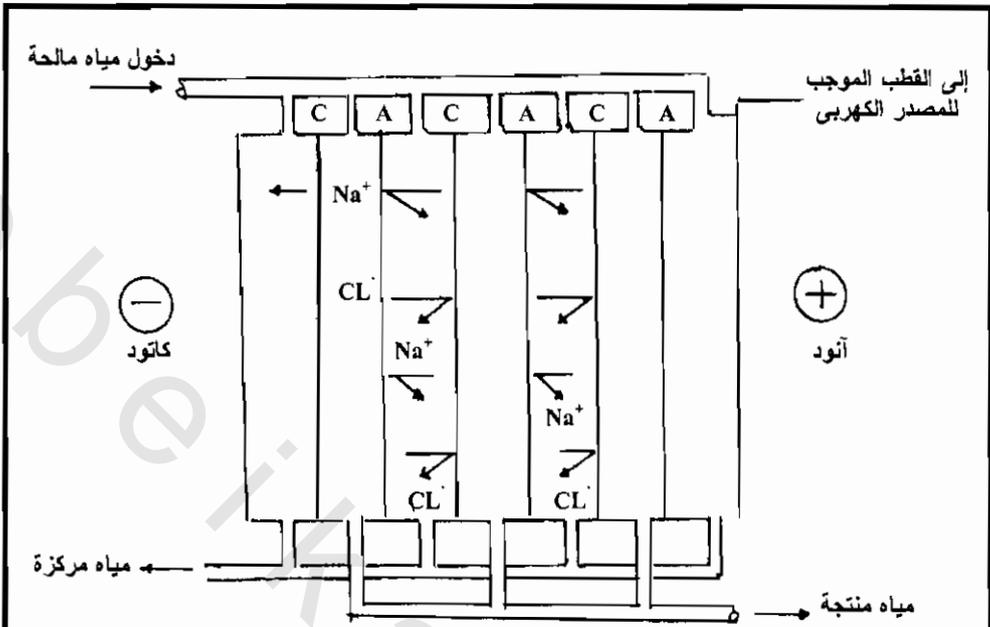
الشكل (١٤٦) يبين بالتفصيل الخلية المزدوجة (Cell Pair) وهي تتكون كهربيا من أربع مقاومات علي التوالي، حيث مقاومة الأغشية الرقيقة والموصلة صغيرة نسبيا. خلية التركيز (Concentrate Cell) محتوياتها عادة جزء من تدوير التدفق، فبالندوير يحدث خفض للصراف وكذلك لزيادة التوصيل الكهربائي للصراف وكذلك تتخفض المقاومة الكهربائية لخلية التركيز الي مستوي منخفض نسبيا. خلية التخفيف أو إزالة الملوحة (Desalting Cell - Dilute Cell) تحتوي علي مياه ذات ملوحة ما بين المياه الداخلة والمياه المنتجة، والتي تقل بالتدريج مع إزالة الأملاح الموصلة من المياه المالحة. وعملية خفض المتدرج للتوصيل (زيادة المقاومة) هي العامل الحاسم في نقاء المياه المنتجة. نظريا التيار يمكن أن يمر خلال المياه حتى إزالة كل الأملاح المذابة (Electrolytes) (ولكن كمية الطاقة الكهربائية اللازمة لاستمرار هذه العملية مع خفض الأليكتروليت كبيرة). عمليا تنقية المياه بطريقة ED ينتهي عندما يكون الأملاح الكلية المذابة TDS للمياه المعالجة (المخفضة - Dilute) مكافئ لحوالي ٥٠٠ جزء في المليون مقيم ككلوريد صوديوم (NaCl). ونوعية المياه هذه تمثل مياه الشرب طبقا لمعايير منظمة الصحة العالمية. وحاليا يزداد

استخدام (ED) في عملية المعالجة المسبقة للمياه قبل عملية التبادل الأيوني بما يقلل من احتياجات لأحماض والقلويات، حيث نقل الملوحة الي ٥٠ جزء في المليون قبل عملية التبادل الأيوني.

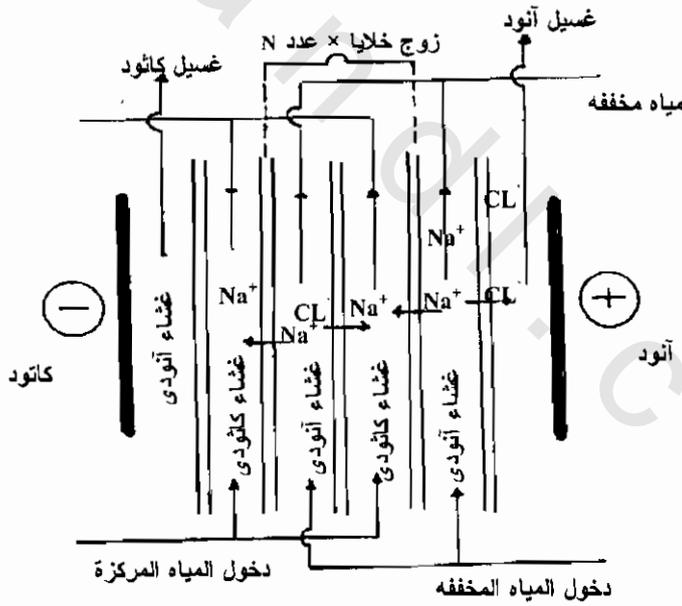
٣- تغيير وتبديل الأقطاب : (Polarity Reversal)

بدلا من ED التقليدي نو الاتجاه الواحد، ففي الأليكتروديا ليسيس العكسي (EDR- Electrolysis Reversal) فإنه يتم عكس الأقطاب طبقا لدورة زمنية محددة، وهي حوالي ١٥ - ٢٠ دقيقة. التغيير في الشحنة الكهربائية للأقطاب عبر منظومة الغشاء تغير في اتجاه الحركة. حيث يحدث تبادل لتدفق الأيونات وكذلك المياه المحلاة والمركزة. ويحدث تغير اتجاه التدفق آليا بواسطة المحابس التي تنقل كلا من مجري الدخول والخروج بحيث تتدفق المياه الداخلة إلى غرف الدخول الجديدة (البديلة) وكذلك المياه المركزة إلى غرفة التركيز الجديدة.

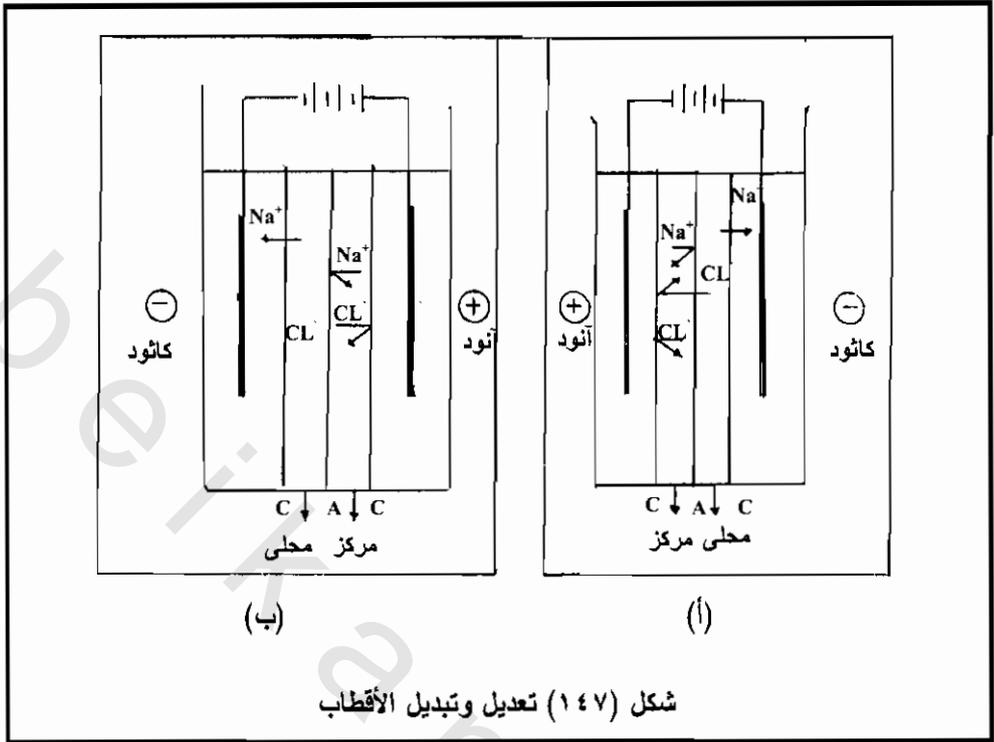
القطبية المعكوسة توفر الغسيل الآلي للمواد المكونة للترسيبات من علي سطح الغشاء. ولهذا فإن القطبية المعكوسة تتطلب معالجة مسبقة صغيرة وقد لا يحتاج لها ذلك لتقليل الترسيب الذي تحدثه المياه الداخلة شكل (١٤٧- أ، ب).



شكل (١٤٥) نظام المصفوفات



شكل (١٤٦) زوج الخلايا



٤- الاستقطاب : Polarization

كثافة التيار هي كمية التيار علي وحدة المساحة من سطح الغشاء. يمكن زيادة كثافة التيار حتى نفاذ كل الأيونات تقريبا القريبة من سطح الغشاء. عند الوصول الي هذا الحد فانه يتم الوصول الي تركيز الاستقطاب أو حدية كثافة التيار. وهذا الحد يتوقف كذلك علي درجة الحرارة، تدفق المياه، نوع الأيونات وتركيزها ونوع الغشاء. في ED كل الأيونات تنتقل خلال الغشاء بواسطة الانتقال الكهربائي، والباقي يصل الي سطح الغشاء من تدفق المياه وانتشارها. تركيز الأيونات في خلية (غرفة) إزالة الملوحة يصبح غير موجود في الطبقة الرقيقة المجاورة لسطح الغشاء نظرا لانتقال الأيونات من الخلية خلال الغشاء وعند الاستقطاب فإن السائل عند سطح

الغشاء يكون خاليا من الأيونات تماما (Electrolyte) وبذا تحدث زيادة ملحوظة في المقاومة لخلية الغشاء. وهذه الزيادة في المقاومة مع كثافة التيار هي علامة الاستقطاب. عند هذه النقطة فإن الأيونات الناتجة عن تحلل الماء لها تركيز مساو للإلكترونات عند سطح الغشاء. يحمل جزء من التيار الكهربائي خلال الغشاء الآن أيوني بواسطة أيونات الأيدروكسيد الي جانب التركيز، بما ينتج عنه زيادة في الرقم الهيدروجيني وزيادة في ترسيب كربونات الكالسيوم. والتغير في الرقم الهيدروجيني للتدفقات يمكن إن يوضح متي يحدث الاستقطاب.

الاستقطاب يسبب مشاكل منها خفض كفاءة التيار، وزيادة استهلاك الطاقة، وخفض انتقال الأيونات المطلوبة في منطقة الاستقطاب. والقيمة الحدية أو النهائية للتيار (Limiting Current density) يمكن زيادتها بزيادة درجة الحرارة، وسرعة السائل أو تركيز المحلول. وأقصى قيمة حدية للتيار يمكن استخدامها تعادل ٧٠% من القيمة الحدية لنظم ED والذي يسمح بمعامل أمان مناسب.

تخفض الترسبات في نظام ED بعمل الاضطراب المناسب (Turbulence) في مجري المياه القريب من سطح الغشاء، أو بإضافة الكيماويات مثل الأحماض أو مزيل الرواسب (Antiscalant). EDR. تزيل الترسبات بدون الحاجة الي كيماويات.

هناك اعتبارات تصميميه بالنسبة لنظام ED يلزم مراعاتها وهي :

نسبة تركيز الأيونات يلزم إن تظل أقل من ١٥٠ : ١ (المياه المركزة مقابل المياه المحلاة) ويمكن أن تزداد هذه النسبة الي ٢٠٠ : ١ أو ٢٥٠ : ١.

عند استخدام EDR بدون إضافة كيماويات فإن المياه المركزة يجب إن تحتوي علي أقل من ٢٠٠% من تشبع كبريتات الكالسيوم. وعند إضافة الكيماويات إلى المحلول المركز (المياه المركزة) يمكن أن يكون تشبع كبريتات الكالسيوم حتى ٣٥٠%. مؤشر لانجيلير للتشبع يجب إن يظل أقل من ٢,٢.

٥- خصائص الأغشية : (Membrane Properties)

كلا من الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية لها مظهر سطح البلاستيك شبه شفاف المقوي بألياف من البلاستيك. والسطح ناعم وأملس والمسطح مستطيل كما أن له عدة أشكال (أحجام) كل الأغشية لها نفس السمك (٠,٥ ملليمتر) معظم الأغشية الآن أيونية شبه شفافة بيضاء بدون أي لون ومختومة بكلمة (Anion). علي جانب الغشاء وخلالها تثبت الشحنة الموجبة في مرحلة التصنيع وهي عبارة عن أيونات الأمونيوم الرباعية والتي تصد الأيونات الموجبة وتسمح للأيونات السالبة بالمرور.

أغشية الكاتأيونات تختلف في اللون من البني الي الأبيض ومختومة بكلمة (CATION) وأثناء التصنيع تثبتت علي جانبي الغشاء وخلالها الشحنت السالبة التي تصد الأيونات السالبة وتسمح للأيونات الموجبة بالمرور خلالها.

وكلا من الأغشية الكاتأيونية والآن أيونية لهم خصائص واحدة فكليةما غير منفذ للمياه تحت الضغط، مقاوم للترسبات، قدرة تحمل عالية، مقاوم للتغير في الرقم الهيدروجيني من ١١ إلي ١٠، شبة صلب، وله مقاومة كهربية منخفضة، ولا يذوب في المحاليل المائية، ويمكن أن يعمل في درجات أكثر من ٤٦ °م ومقاوم للانتفاخ الأسموزي.

استهلاك الطاقة الكهربائية لضخ المياه الداخلة هو حوالي ٢,٥ كيلووات/ساعة لكل ١٠٠٠ جالون عند الضغط العادي للمحطة ٥ - ٦ جوي. الطاقة اللازمة للأغشية للمنظومة حوالي ٢ كيلو وات ساعة لكل ١٠٠٠ مليجرام / لتر من الأملاح المزالة. الطاقة اللازمة لنظم التحكم والسيطرة هي حوالي ٥% من إجمالي الطاقة.

٦- الاعتبارات التصميمية :

يتم التغذية بمياه المصدر إلى طلمبة التغذية بضغط ٠,٢ الي ٢ جوي. طلمبة التغذية تضخ المياه الي خرطوشة المرشح تحت ضغط ٥-٦ جوي (١٠ ميكروميتر) المياه المنتجة من (ED) لا تمر خلال الغشاء كما في حالات التناضح

العكسي (RO) أو الترشيح الفائق (UF) ولهذا يلزم الأخذ في الاعتبار في نظم المعالجة المسبقة في حالة (EDR / ED) عدم وجود مواد عضوية أو مواد هلامية أو كليهما في المياه الداخلة. المياه الداخلة تتطلب معالجة مسبقة عادة إذا كانت تحتوي علي كلور حر أكثر من ٠,٥ ملليجرام / لتر، حديد أكثر من ٠,٣ ملليجرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين أكثر من ٠,٣ ملليجرام / لتر، عكارة أكثر من ٢ نيفيلومتري (2NU) أو منجنيز أكثر من ٠,١ ملليجرام / لتر.

أقصى إزالة للأملاح هي من ٤٠ - ٥٠ % لكل مرحلة هيدروليكية. تستخدم طريقة (ED / E DR) لمعالجة المياه المملحة (Brakish) لإعدادها للشرب، كذلك لإزالة الأملاح ولتنقية المواد الغذائية، وإعادة استخدام مياه الصرف الصناعي.

القسم الرابع

الترشيح الفائق

(Ultra Filtration . U F)

١- الترشيح الفائق يعرف بعملية الفصل باستخدام أغشية شبه نفاذه (Semipermeable Membrane) لفصل جزيئات الأملاح (Macro Molecules) في المحلول. العامل الهام في حجز الجزيئات هو حجمها وشكلها. أغشية الترشيح الفائق لها فتحات أقل في الأحجام من أغشية التناضح العكسي وليس لها شكل محدد بل هي فتحات بين أنسجة البوليمر حيث يمكن حجز جزء صغير من المياه. أغشية الترشيح الفائق لا تحتجز المواد المذابة. مجال الوزن الجزيئي للترشيح الفائق هو من ٧٠٠٠ الي ٧ جوي باستخدام طلمبة الطرد المركزي.

تصنع أغشية الترشيح الفائق من أسيتات السليلوز (CA) أو الأكليرك وبعض البلمرات الأخرى مثل البولي فينيل كلوريد أو البولي أميدز. الخ وشكل الغشاء مشابه لغشاء التناضح العكسي (RO) ويشمل الأسطواني، اللوح والإطار، الحلزوني، الشعيرات الجوفاء.

استخدم الترشيح الفائق للمعالجة المسبقة لمياه البحر قبل التحلية بالتناضح العكسي لإزالة الكربون العضوي (TOC)، العكارة والمواد العالقة من مياه الصرف المعالجة قبل إعادة الإستخدام أو الحقن الجوفي. التناضح العكسي (RO) يزيل معظم المواد العضوية، البكتريا، الجسيمات من الماء وكذلك إزالة الملوثات الغير

عضوية بنسبة ٦٠ - ٩٩ % طبقا لنوعية الملوثات والغشاء المستخدم. أما E D R / فإنها تقلل الأملاح المذابة ولكنها تترك كل المواد الغير متأيّنة (Nonionic) في المياه المنتجة.

٢- النانو فلتر (Nano filtration - NF) وهي أغشية تستخدم لإزالة العسر، البكتريا والفيروسات، المواد العضوية ذات العلاقة باللون بدون إنتاج ملوثات عضوية مثل الهيدروكربونات الكلورية. وتستخدم هذه الطريقة في المياه ذات الأملاح المذابة المنخفضة لإزالة العسر والمواد العضوية.

القسم الخامس

التحلية الحرارية للمياه المالحة Thermal Desalination

بالإضافة إلى طرق التحلية باستخدام نظم الأغشية مثل عمليات التناضح العكسي والإليكترودياليسيس والترشيح الفائق فإنه يمكن استخدام الطاقة الحرارية لتحلية المياه المالحة وذلك بتحويلها إلى بخار الماء ثم تكييفها أو بعمليات التجميع (Freezing) أو إنتاج البخار بفعل أشعة الشمس.

١- التحلية الحرارية بتحويل المياه المالحة إلى بخار الماء :

Desalination by Distillation

نظام التحلية المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للشرب هو بالنقطير الحراري. في هذه العملية يتم غلي الماء المالحة للحصول على بخار المياه نقية وسائل متبقى به أملاح مركزه، حيث يتم تكثيف الأبخرة واستخدامها لأغراض الشرب. ولتحقيق الإقتصاد في الطاقة الحرارية المستخدمة يستخدم النظام متعدد التأثير (Multi Effect System)، حيث تدفع أبخرة المياه النقية المنتجة في المرحلة الأولى لغلي الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانية. في هذه المرحلة الثانية عندما يتكثف بخار الماء عندئذ تنطلق الطاقة الحرارية التي تكفي لتحويل المياه المالحة إلى بخار ماء. وباستخدام هذه العملية يمكن إنتاج رطل من المياه المحلاه باستخدام وحدة طاقة حرارية (IBTU/lb of water).

عند استخدام هذا النظام يجب أن يؤخذ في الاعتبار القواعد التطبيقية التي تؤثر على الكفاءة، ومنها عملية الانتقال الحرارى والتي تتوقف على مساحة الانتقال الحرارى ومعامل الانتقال الحرارى. معامل الانتقال الحرارى يتوقف على الفرق فى درجات الحرارة بين السائل الباعث للحرارة والسائل الممتص للحرارة والشكل الهندسى ومساحة ونوع مادة الانتقال الحرارى. لذلك فعند زيادة المساحة ورأو معامل الانتقال الحرارى يزداد معدل الانتقال الحرارى. ونظراً لأن زيادة المساحة تعنى زيادة فى حجم المعدات المستخدمة، لذلك يكون الهدف هو زيادة معامل الانتقال الحرارى.

العامل الأخر هو التخلص من الملوثات فى مياه البحر والتي تؤثر على الانتقال الحرارى. فمياه البحر مخلوط معقد من المواد المذابة الصلبة والغازات والكائنات البحرية. المواد الصلبة المذابة تشكل خطورة فى عملية التقطير نظراً لأن بعضها يرسب على سطح الانتقال الحرارى (Scaling)، كما أن الكائنات البحرية يمكن أن تسبب عزل على أسطح الانتقال الحرارية مكونة ترسيبات عضوية (Fouling). لهذا فإنه يلزم المعالجة المسبقة لمياه البحر فى حالة استخدامها لإزالة وتحييد الأثر السلبى لهذه العوامل.

تستخدم التحلية الحرارية بتقطير المياه المالحة ذات الملوحة العالية ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون.

الأنواع الرئيسية الثلاث لتبخير المياه المالحة ذات الملوحة ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون (الملوحة العالية) هي:

المبخر السريع متعدد المراحل: (MSF) Multistage Flash Evaporator:
المبخر متعدد التأثير: (ME) Multiple Effect Evaporator: المبخر بإعادة ضغط البخار: (VR) Vapour Recompression Evap

١- المبخر السريع متعدد المراحل : (Multistage Flash Evaporator) : (M S F)

يوضح الشكل (١٤٨ - أ) مبادئ عمل المبخر السريع متعدد المراحل في إزالة الملوحة.

يتم ضخ مياه البحر خلال عدد متتالي من المبادلات الحرارية حيث تتدرج حرارتها في الارتفاع، بتكثيف البخار الناتج في غرف التبخر السريع المقابلة (Flash Chambers) إلى درجة حرارة ٨٠ - ١١٠°م. وبعد التسخين التالي الي درجة حرارة ٩٠ - ١٢٠°م بواسطة مصدر بخار خارجي، فإن مياه البحر تتحرر من الضغط (Flashed) بالتتالي خلال عدد من المراحل حيث ينخفض ضغط البخار بالتدرج الي ١٠ كيلو بار. يحدث غليان وتبخر جزئي في كل مرحلة، البخار الذي يتكثف علي المبادل الحراري المقابل والذي يتجمع في قنوات كمياه مقطرة، وهذا البخار يستمر إنتاجه في كل مرحلة بالتوازي مع المياه المالحة (Brine) وذلك حتى إنتاج كلا من المياه المقطرة والمياه المالحة من آخر مرحلة عند درجة حرارة حوالي ٤٠°م. تجهز غرف التبخير السريع لتخفيف الضغط (Vacuum) باستخدام باثق البخار (Steam Ejectors) للمحافظة علي استمرار الانخفاض المطلوب في الضغط خلال المبخر. المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) يتطلب في تصميمه نسبة عالية من مياه البحر لكل وحدة من المياه المقطرة والتي قد تصل الي ٨ : ١٠. ولهذا السبب فان طاقة الضخ المطلوبة تكون كذلك عالية حيث تصل الي ٣-٥ كيلوات ساعة / متر المكعب من المياه المقطرة.

٣ - المبخر متعدد التأثير : (M E) {Multiple Effect Evaporator}

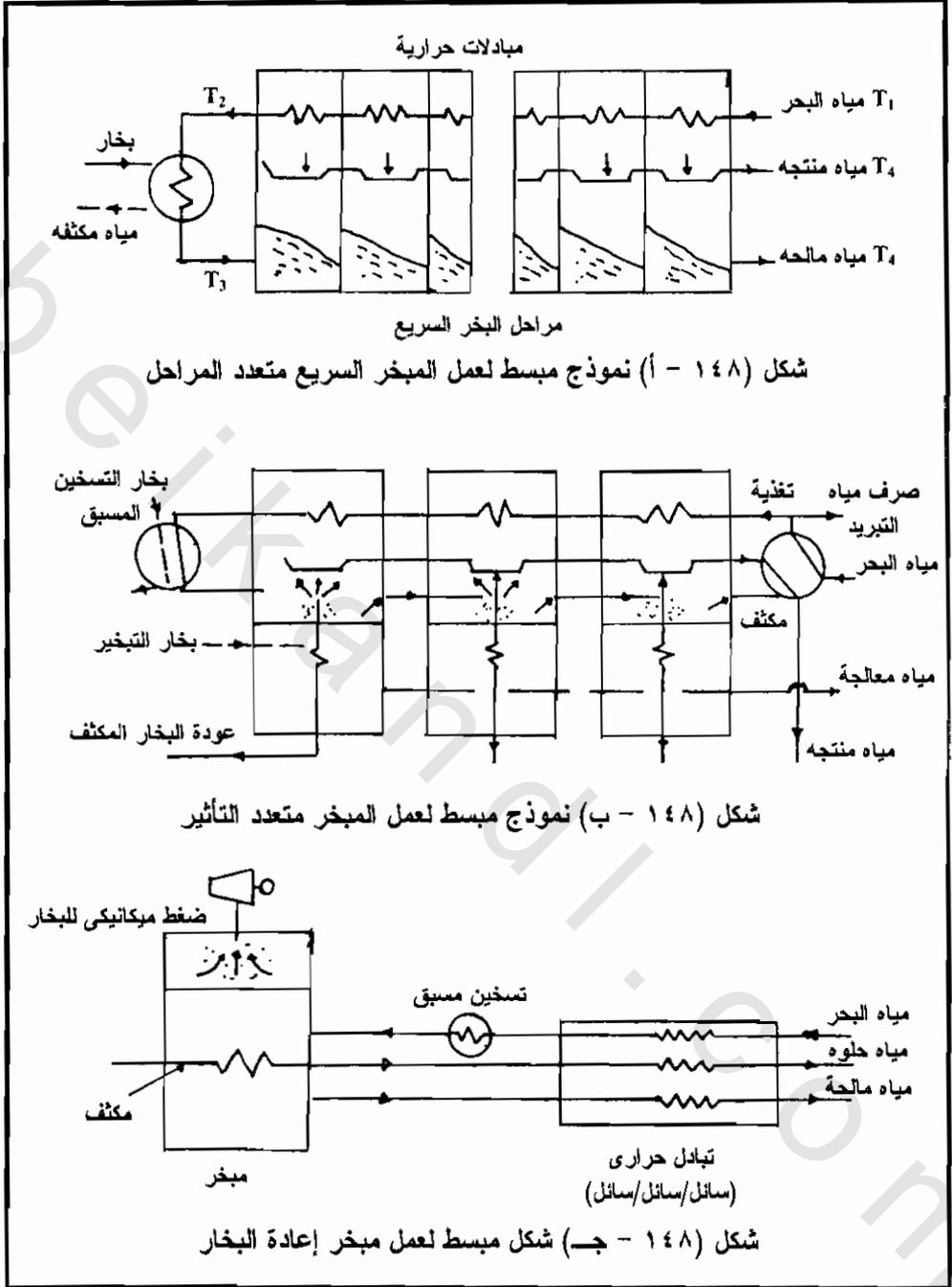
طريقة العمل للمبخر متعدد التأثير موضحة في الشكل (١٤٨ - ب) مياه البحر يتم تسخينها بالتدرج بطريقة المبادلات الحرارية بواسطة تكثيف البخار من عدد مساو من غرف التبخير. مياه البحر التي تم تسخينها تدخل غرف التبخير الأكثر سخونة عند درجة حرارة ما بين ٦٠ - ١٠٠°م عادة ثم تبخر جزئيا بواسطة بخار

من مصدر خارجي. البخار الناتج يمر الي المؤثر التالي بعد سحب البخار المكثف (المستخدم في التسخين المسبق). في نفس الوقت فان مياه البحر التي لم تتبخر من المؤثر الأول يدفع (Flashed) الي المؤثر الثاني، وينخفض درجة حرارته تحت تأثير مكثف التبريد بمياه البحر بعد المؤثر الأخير. يحدث تبخير آخر في المؤثر الثاني ما بين البخار الداخل والمياه المالحة المحررة من الضغط (Flashed Brine) ثم يكرر العمل في كل من المؤثرات التالية والتي يصل عددها الي ٢٠ أو أقل من ١٠، وذلك قبل تكثيف بخار آخر مؤثر وسحب المياه المالحة (المركزة).

طاقة الضخ اللازمة للمبخر المتعدد التأثير (ME) أصغر من تلك اللازمة لمتعدد المراحل (MSF) وهي عادة ما بين ٢ - ٣ كيلو وات ساعة / المتر المكعب.

٣ - مبخر إعادة ضغط البخار: {Vapour Recompression Evap} (VR)

طريقة عمل مبخر إعادة الضغط (VR) موضحة في الشكل (١٥٠). يتم تسخين مياه البحر بالتبادل الحراري مع المياه المقطرة والمياه المالحة المركزة للصرف وذلك في واحد أو أكثر من المبادلات الحرارية الي درجة حرارة من ٦٠ الي ١٠٠م. ولغرض البدء في التشغيل وللمحافظة علي ظروف التشغيل العادية تعد بعض المحطات بسخان لعمل التسخين المسبق للمياه وذلك للحصول علي درجة الغليان المطلوبة في المبخر، وفي ايسر صورة يكون هذا السخان ذو مرحلة التأثير الواحدة أو الأكثر من مرحلة (Single Effect Or More) البخار الناتج من المبخر يتم ضغطه أما ميكانيكيا أو بالضغط الحراري (Thermo Compression) وذلك قبل العودة الي التكثيف للبخار في المبادل الحراري. عملية الضغط تعمل علي رفع ضغط التشبع لبخار الماء، وهذا يوجد فرق في الحرارة مستمر بين المياه المكثفة والمياه المالحة (Brine) وهذا يعمل علي استمرار عملية التبخير. البخار المكثف (المقطر) والمياه المالحة الزائدة يتم صرفهم خلال مبادلات حرارية (سائل / سائل) ولا توجد حاجة الي مكثف منفصل.



إزالة الترسبات : (Scale Removal)

كل المياه المالحة تحتوي علي كل من العسر المؤقت والعسر المستديم وذلك لوجود أيونات الكالسيوم والماغسيوم والبيكربونات والكبريتات.

عند تسخين مياه البحر، تتحلل البيكربونات وتتكون كربونات الكالسيوم كراسب (Scale) وهي عسر مؤقت علي أسطح التسخين. وفي حالة عدم إجراء منع ترسيبها فإن كفاءة الانتقال الحراري تنخفض، بما ينتج عنه خفض في إنتاج المياه المقطرة وفي الحالات الشديدة يمكن حجز تدفق المياه. أما الرواسب من كبريتات الكالسيوم (العسر المستديم) علي الجانب الأخر هي ببساطة نتيجة خفض الأرابية لكبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) بالحرارة. يمكن تجنب ترسيب كبريتات الكالسيوم العسر المستديم في التصميم والتشغيل بعدم تعدي حد الإزابة للأشكال المختلفة لبلورات كبريتات الكالسيوم (كبريتات الكالسيوم قليلة الذوبان في الماء في حدود ١-٢ مليجرام / لتر). أما عن ترسيب الكربونات فإنه يلزم إتخاذ إجراءات إيجابية لمنع حدوثها أو علي الأقل خفض مستواها الي الحد الذي يمنع حدوث الترسبات.

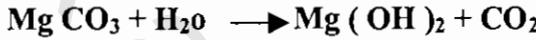
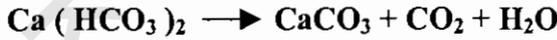
أ- ترسيبات كبريتات الكالسيوم : ($Ca SO_4$ Scales)

حدود الإزابة لكبريتات الكالسيوم هي دلالة لدرجة الحرارة والتركيز وذلك بالنسبة لمياه البحر ذات الملوحة القياسية (٣٥٠٠٠ مليجرام / لتر). فقد لوحظ أن مع تركيز مياه البحر عند درجة حرارة إنتاج البخار $100^{\circ}C$ ويحدث تشبع للمياه المالحة بالنسبة لكبريتات الكالسيوم اللامائية ($CaSO_4$) وذلك عند زيادة الملوحة عن ٤٥٠٠٠ مليجرام / لتر. يمكن تجنب حالة التشبع هذه (Super Saturation) وهذا يتم عادة بالحد من تركيز المياه المركزة المالحة للصرف لتكون أقل من ٦٠٠٠٠ مليجرام / لتر (أملاح كلية مذابة) في حالة المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) حيث يحدث تعدي لهذه النسبة نظرا لحالات تدوير المياه المالحة، ويتم الاعتماد علي بطني ترسيب بلورات كربونات الكالسيوم في تجنب ترسيبها. كما يمكن البدء بإضافات لتجنب الترسيب مثل إضافة صوديوم هكسا ميتا فوسفيت Soduim Hexa

Meta Phosphate $\text{Na}_6(\text{PO}_4)_5$ ولكن في معظم الحالات يمكن عدم اللجوء الي هذه الإضافات بالنسبة لترسيبات الكبريتات طالما أمكن التحكم في ظروف التبخر بما لا يتعدى حدود الإذابة. كبريتات الكالسيوم بمجرد تكوينها كترسيبات فإنه يصعب إزالتها من الناحية العملية.

ب- الترسيبات القلوية : Alkaline Scales

يمكن أن يرسب كلا من كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنيسيوم في مبخرات تحلية مياه البحر وترسيب كربونات الكالسيوم نتيجة تحلل (Decomposition) البيكربونات أما ترسيب أيدروكسيد المغنيسيوم فهو نتيجة تميؤ (Hydrolysis) الكربونات



إزالة الكربونات من المياه الداخلة (Decarbonation of Feed)

(1) في عملية إزالة الكربونات من المياه المألحة قبل التحلية :

في هذه العملية يتم حقن الحامض الي مياه البحر بالتركيز الذي يمكن من تحلل ما لا يقل عن ٩٠% من البيكربونات الموجودة عادة في مياه البحر إلى حد ١٤٠ - ١٥٠ ملجرام / لتر ويتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون $2\text{HCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{SO}_4$ في برج تهوية وقد تستخدم أحماض أخرى مثل حامض الهيدروكلوريك وحامض السلفاميك (Sulphamic) أو حتى حامض النيتريك ولكن يفضل حامض الكبريتيك لرخص سعره نسبيا. ولتفكك ٩٠% من البيكربونات في مياه البحر فإن جرعة حامض الكبريتيك اللازمة هي حوالي ١١٠ ملجرام / لتر من مياه البحر (مقيم ٩٨ % حامض الكبريتيك). يجب ملاحظة أن إضافة هذا الحامض سيعمل أولا علي خفض الرقم الهيدروجيني من ٨ إلي ٤,٥ - ٥، يلي ذلك ارتفاع الرقم الهيدروجيني الي ٦,٥ مع التخلص من ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك اتجاه

نحو عدم استخدام حامض الكبريتيك للمحافظة علي مواد المبخرات من التآكل ولكن علي الجانب الآخر فان إزالة الكربونات هي الوسائل الإيجابية الوحيدة لتجنب ترسيب القلويات.

(٢) المعالجات الأولية (Threshold Treatments)

البديل لإزالة الكربونات بواسطة الحامض هو الحقن بمثبط الترسيبات (Scale Inhibitors) للمياه الداخلة للتحلية، عادة بتركيز من ٢ - ١٠ ملجرام / لتر وعمل هذه المثبطات هي تشويه بلورات الكربونات الي درجة تكون حماة لينة فقط (Soft Sludge) وذلك بدلا من الترسيبات الصلبة (Hard Scales) وهذه الحماة اللينة يتم صرفها مع مياه البحر المركزة. حتى عام ١٩٧٠ كان افضل مثبط في حالة مياه البحر هو صوديوم تراي بولي فوسفيت ($Na_5 P_3 O_{10}$) وكان يستخدم عادة كحقن اختراع (Patented) محتويا علي اللجنين ومواد ضد وجود الرغوة (Anti Foaming) وكان مثل هذه المركبات مادة (HA Gevap) لها حدود استخدام حتى ٩٠م نظرا لتحللها الي الأورثوفوسفيت ($Na_3 PO_4$). عند ارتفاع درجة عن ٩٠م. ثم تم تطوير إضافات أخرى من البلمرات كمنثبات والتي تسمح بدرجة حرارة حتى ١١٠م أو أكثر عند استخدامها. وهذه عادة بلمرات عضوية حامضية مثل (Polymaleic Acid) وحاليا توجد أنواع كثيرة من المركبات منها (-Belgrade E V) (Ciba Geigy)، (Al BRIVAPDSB)، (Flocon247 من Pfizer) وهذه من أفضل الأنواع. وعموما مهما كان نوع المثبط المستخدم، فإنه يلزم إزالة الترسيبات من المبخر باستخدام جرعة حامض مع مياه البحر علي الأقل مرة كل عام. وعادة فإنه يستخدم الحامض والإضافة كمنثبات مع بعضهما.

٣- المعالجة النهائية للمياه المقطرة : (Distillate Post Treatment)

كل المياه المنتجة من عمليات التبخير تحتوي عادة علي ١٠-٥٠ ملجرام في اللتر من الأملاح المذابة كما إنها منخفضة العسر ومنخفضة الرقم الهيدروجيني. ولهذا فإنها مياه عدوانية لمواد الإنشاء وبخاصة الخرسانة. وكذلك هي ليست مقبولة

كمياه الشرب. والغرض من المعالجة النهائية هو رفع الرقم الهيدروجيني إلى ٧ - ٨، عسر الكالسيوم الي ١٠٠ ملليجرام / لتر ككربونات كالسيوم وكذلك توفير التهوية الكافية والمواد المذابة من كلوريد الصوديوم وكذلك التخلص من المذاق الغير مقبول المرتبط بالمياه المقطرة. وتوجد وسائل مختلفة للحصول علي المياه المناسبة للشرب. ولكن كلها تشمل إضافة أيونات الكالسيوم والبيكربونات. في المحطات الصغيرة حتي ٥٠٠م^٣ في اليوم يكون من المقبول إضافة كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم ولكن تكاليف الكيماويات تكون مرتفعة في المحطات الكبيرة وفي هذه الحالة يمكن استخدام نوعين من المعالجة.

أ - الحقن بلبن الجير - ثاني أكسيد الكربون : (Lime - CO₂ Dosing)

وخلاصة المعالجة بهذه الطريقة كالتالي:

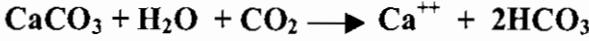


يتم إذابة ثاني أكسيد الكربون تحت الضغط في المياه المقطرة، يخفض الرقم الهيدروجيني (لتكوين حامض الكربونيك)، ثم يضاف مستحلب لبن الجير مع الخلط حتى الوصول إلى العسر المطلوب. يرفع الرقم الهيدروجيني الي ٧ ولكن يمكن زيادته عن ذلك بإضافة الصودا الكاوية في حالة الرغبة في هذا. في حالة عدم إمكان الحصول علي ثاني أكسيد الكربون من الإنتاج الصناعي. (الغازات الصناعية) فإنه ينتج عادة من حرق الزيوت (Hydrocarbon Oil) أو الغاز الطبيعي في مولد خاص ثم تنقية الغاز بالكيماويات.

ب- المعالجة بالجير - ثاني أكسيد الكربون :

(Limestone - Co₂ Treatment)

في هذه العملية فان المياه المركبة (Carbonated Water) تضخ خلال حبيبات الحجر الجيري.



وفي هذه العملية متطلبات ثاني أكسيد الكربون أقل من الطريقة السابقة بالإضافة الي عدم إنتاج وضخ مستحلب لبن الجير. بعض البدائل تستخدم الحجر الجيري من نوع (Dolomitic Limestone)، حيث يضاف كلا من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم إلى المياه المقطرة. وقريبا ثم اللجوء علي طريقة لاستعادة ثاني أكسيد الكربون الناتج من تحلل البيكربونات الموجودة في مياه البحر في مراحل درجات الحرارة المرتفعة لحقن الإضافات في المبخر السريع متعدد المراحل (MSF).

المعالجة النهائية لإعداد المياه المحلاة للشرب:

إعداد المياه للشرب فان المياه التي تم ضبط عسرها ورقمها الهيدروجيني يتم كلورتها. وفي بعض الحالات يتم إضافة كمية قليلة من مياه البحر المكلورة لزيادة تركيز كلوريد الصوديوم الي المستوي المفضل للاستهلاك.

التحلية بتحويل المياه إلى الجليد (تجميد):

Desalination by Freezing

الحصول على المياه النقية من المياه المالحة باستخدام الحرارة يمكن كذلك تحقيقه باستخدام التبريد وبالتحديد التجميد. تجميد المياه المالحة ينتج عنه بللورات نقية من الثلج من بين المحلول الملحي إزالة هذه البللورات الثلجية وإعادة زوبانها ينتج عنه مياه خالية من الأملاح. مقارنة باستخدام الحرارة فإن عملية التجمد لها مميزاتا وعيوبها. من بين هذه المميزات هي الطاقة الحرارية الصغيرة المطلوبة. الطاقة الحرارية اللازمة للإزابة (Latentheat of Fusion) تعادل ٧/١ من الطاقة الحرارية اللازمة للبخر. كما يمكن من خفض التكلفة عند استخدام عملية التجمد في درجة حرارة منخفضة. ولكن تكاليف الوحدات الحرارية في التبريد أكبر كثيراً عن المستخدمة في التنسيق، بما يتطلب رفع كفاءة العملية. توجد خاصيتين تتميز بهما

عملية التبريد وهما الآثار التي تسببها ارتفاع درجة حرارة المياه المالحة على مواد البناء مثل المعادن من الصلب أو الخرسانة مثل التآكل والتلف وهذه الآثار تنخفض بدرجة كبيرة في حالة درجة حرارة التجمد. وهذا يخفف من تكاليف المواد المستخدمة في الخزانات والمعدات. هذا بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى التوقف وذلك لعدم حدوث ترسيبات على أسطح التبادل الحرارى.

يعتبر التبادل الحرارى خلال الأسطح ذو أهمية خاصة في عمليات التحلية المختلفة. تحقيق معامل إنتقال حرارى عالى مكلف في عملية التبريد حتى التجمد الأداء الأولى للإنتقال الحرارى هو الإتصال المباشر للسوائل ذات درجات الحرارة المختلفة. يتجه ذلك، فإن عملية التجمد تحقق معامل إنتقال حرارى عالى، وبذلك تنخفض تكلفة التصميمات الهندسية اللازمة لزيادة معامل الانتقال الحرارى. ولكن توجد سلبيات لعملية التجمد. يتم الحصول على المياه النقية في شكل ثلج، وفصل بللورات الثلج النقي تتطلب خطوة منفصلة.

الطاقة الحرارية لتحويل المياه إلى بللورات (Latent Heat of crystalization) لتحية يمكن استخدامها في إذابة هذا الثلج. وهذا هو الجزء المقابل لحرارة التكتيف في عملية ضغط البخار المستخدم لتوفير الطاقة الحرارية للتبخير (تحويل المياه إلى بخار). كذلك نظام التجميد يحتاج إلى إنشاءات ضخمة لتكون متعددة المراحل ليتمكن إعادة استخدام الطاقة الحرارية الكامنة (Latent Heat) التي أدخلت في تغير حالة الماء. ذلك لأن عملية التجميد يجب أن تتم عند درجة حرارة ثابتة. أحد سلبيات الهامة، خصائص التجمد هو التخلص من المياه المالحة.

تحسين أداء العملية لزيادة تطبيقاتها العملية يتطلب (١) زيادة حجم بللورات الثلج لتسهيل فصلها وخفض الادمصاص بالمياه المالحة عند زيادة المساحة السطحية، (٢) تحسين تداول بللورات الثلج (عموما بقطر ١ مم)، (٣) زيادة معدل التجمد. معظم هذه الاعتبارات مرتبطة بالعمليات المنفصلة (Patch Process).

مبادئ التحلية بالتجمد :

عملية الفصل لبلورات الثلج من المحلول الملحي الذي تعرض لعملية تجميد تتوقف على خصائص حالة الاتزان التي تشمل المجال السائل والمجال الصلب، نوعية هذا النظام موضحة في مخطط المجال (Phase Diagram) شكل (١٤٩).

المادة A تمثل الماء، المادة B تمثل الملح. معظم الأملاح مثل كبريتات الصوديوم تكون (Eutectic) الحد الأدنى من الإزابة مع الماء. وهذه عموماً تمثل حالات معينة من التميؤ. في المخطط العام يكون هذا الحد الأدنى ممثلاً بالنقطة C. لأغراض إزالة الملحوة يؤخذ في الاعتبار الجزء من المخطط على اليسار، المنطقة ما بين ١٠٠% مياه نقية (A) والحد الأدنى (C) تمثل بعض من الإتحاد بين الملح والماء. عند أي مكونات كما في الحالة X ما بين الماء النقي A، عند درجة حرارة t، خفض درجة الحرارة إلى t¹ سيسبب انفصال المحلول الملحي إلى مادتين وهما مركب نقي A (الثلج) زائد محلول ملحي ظهور الثلج يمثل ظاهرة التجمد للمياه النقية، طبقاً لقانون الرافعة فإن الكميات النسبية للثلج والمحلول الملحي الناتج عن التجمد إلى درجة حرارة tⁿ تمثل بمقلوب بأطوال الخطوط من النقطة Xⁿ إلى خط التغيير في المجال AC، من النقطة Xⁿ إلى الخط الذي يمثل ١٠٠% ماء (A). إذا كانت درجة حرارة المحلول الملحي ذات مكونات X وانخفضت درجة حرارتها إلى t² عندئذ وطبقاً لقانون الرافعة، عند النقطة X² كمية أكبر من الثلج (مركب ١٠٠% ماء (A) يكون أكثر) يمكن إنتاجه. وهذا يبين الخبرة المعروفة أن إنخفاض درجة الحرارة ينتج تجمد (ثلج) أكثر.

إستخدام المبردات : The Use of Refrigerants

يمكن استخدام الهيدروكربونات المسيلة Liquified Hydrocarbonates كمبردات بالإتصال المباشر مع المحلول الملحي. درجات حرارتها المنخفضة تساعد في تجمد المحلول الملحي. مثال لهذه المواد هو (n. butane). إزابته في المياه المالحة ضعيف ودرجة غليانه عند الضغط الجوي هي تقريباً عند درجة تجمد مياه البحر.

ولذلك عند تبخرها، فإنها تساعد في زيادة تبريد المياه المالحة الجارية معالجتها. لها ميزة إضافية وهي السعر المنخفض، عند إستعراض الكميات الفاقدة أثناء التجمد، ولهذا لاتضيف كثيرا لتكلفة المياه المنتجة. في نظام الألتصاق المباشر يتم خلط البيوتين المثلج مع مياه البحر. يحدث تبادل حرارى، تتجمد المياه، ويسخن الهيدروكربون. يزال البيوتين كبخار يخفض الضغط على إناء الخلط. حرارة تحويل المياه إلى بلورات التى تتطلق عند تكون الثلج تساعد في تبخير البيوتين ولتحقيق كفاءة العملية بهدف زيادة تأثير التجميد بفعل تبخر البيوتين يستخدم ماء البحر الذى سبق تبريده (Prechilled). تزال بلورات الثلج المتكونة من مستحلب الثلج. الماء المالح فى عامود الفصل لفصل الثلج بتدفقات الغسيل العكسية Counter Current شكل (١٥٠-أ). المحلول الملحي الذى أمتز على سطح بلورات الثلج يزال بالغسيل باستخدام مياه نقية. عندئذ تزال بلورات الثلج فى مكثف الإزابة (Melter Condenser) بتحولها إلى مستحلب مع المياه النقية. فى المذيب (Melter) بخار النيوتين عند مقابلته بلورات الثلج التى تذوب يصبح بارد (Chilled) نظرا لأن الثلج يمتص منه الحرارة اللازمة للإزابة. هذه المحافظة على تأثيرات التبريد تعتبر ظاهرة أساسية نحو إقتصاديات الجدوى للعملية. يستفاد كذلك بالمحلول الملحي الذى تم فصله من بلورات الثلج حيث يتم فى المبادل الحرارى حيث المياه المالحة المبردة تقوم بتبريد مياه البحر المعدة للتجميد بواسطة البيوتين السائل.

للحصول على نمو بلورات الثلج مع تجنب الكميات الكبيرة من البللورات الصغيرة، يتم العناية بالتصميم والتشكيل لوحدة التجميد. يقسم المجمد (Freezer) إلى أربع حجرات بواسطة بطاريات مثقبة. هذه التقسيمات تسمح بالتدفق البطئ لبلورات الثلج والمحلول الملحي لنتجه نحو جهاز فصل الثلج (Ice Decanter)، مع خفض التدفق المعاكس وعدم التعرف على إتجاه التسرب فى غيبة هذه الحواجز. الحواجز المثقبة تمتد فقط فوق منسوب السائل بجزء صغير فى جهاز التجميد. وهذا يمكن طبقة البيوتين السائل تخطى الأربع غرف والتدفق فى الإتجاه المعاكس لحركة مخلوط الثلج والمحلول الملحي عند تحركه نحو جهاز الفصل (Decanter).

طبيعى عند التدفق المعاكس يتبخر جزء من البيوتتين. وهذا يخفض درجة حرارة المتبقى من المبرد، ومع تقدم التبخر ستزال فى المقابل الحرارة طبقاتاً لمتطلبات حرارة التبخر. هذا الموقف يجب العمل على تجنبه حيث سيزيد من تجمد المحلول الملحى فى إتجاه معاكس للتدفق. فى حالة حدوث ذلك ستكون هناك كميات كبيرة من البلورات الحبيبية فى منطقة دخول المياه المغذية لجهاز التجميد، وهذا عكس الموقف المطلوب. المطلوب هو الزيادة المضطردة فى معدل التبريد للمحلول الملحى مع تدفقه ببطئ نحو جهاز فصل الثلج مع نمو البلورات وزيادة كمية الثلج، فإن المحلول الملحى المتبقى سيزداد باضطراد محتواه من الملح المذاب، الخلية القريبة من جهاز الفصل ستصبح الأكثر تركيزاً وبالتالي تكون لها أدنى درجة تجمد بالتالى وبهدف تجنب حالات التبريد الزائد للمبرد (البيوتن) عند لقاءه الأول مع المحلول الملحى الذى يدخل إلى المجمد (Freezer)، فإن درجة غليان (البيوتين) ترتفع باضطراد عند تدفقاته فى الإتجاه المعاكس. يحدث هذا بالإضافة القليلة بجزء من النفط (Naphtha - النافتا) إلى البيوتين. مع تدفق البيوتين من خلية إلى أخرى (فوق تقسيمات الخلية المثقبة) يزداد إضافتها بالنافتا أكثر وأكثر حتى آخر خلية ولكنها الأولى التى يدخل إليها المحلول الملحى. هذا الإرتفاع المضطرد فى درجة الغليان مادة التبريد يساعد فى المقابل على خفض درجة حرارتها فى التبريد مع أن عملية التبخير وما يصاحبها من التبريد خلال امتصاص حرارة التبخير تتخفض باضطراد.

مفتاح العملية هو التحكم فى درجة غليان البيوتين خلال الخلط بنسبة معلومة مع النافتا ذات درجة الغليان الأعلى. هذا يمكن حدوث التجمد الكافى فى الخلية الأولى حيث تدخل المياه المالحة إلى المجمد لإنتاج أدنى مساحة سطحية من البلورات فى شكل بلورات حبيبية صغيرة. مع تحرك هذه ببطئ خلال القواطع المثقبة إلى الخلية إلى الناحية الثابتة حتى جهاز فصل الثلج فإنها تقابل طبقة من المبرد الأكثر برودة، حيث البيوتين ذو درجة حرارة الغليان المنخفضة المحتوى على نسبة نافتا قليلة المحلول الملحى الآن أكثر تركيزاً نظراً لفقده للمياه خلال تكون الثلج، وبالتالي له درجة منخفضة، حيث المبرد ذو درجة الحرارة المنخفضة يساعد

نمو بللورات الثلج هذه العملية يتم تكرارها بالتتالي في الخليتين التاليتين، مع خفض المضطرد للنافتا وخفض درجة غليان المد، مع زيادة حجم وكمية الثلج وتركيز المياه المالحة. النتيجة المطلوبة بالخفض المضطرد لدرجات الحرارة للخلايا التالية، هو زيادة وزن وحجم قطع الثلج في حدة الحجم لجهاز التجميد.

الجدوى الاقتصادية لهذه العملية تتطلب أقصى إستفادة للبيوتين والنافتا تدوير محلول البيوتين - النافتا يصمم لتغذية الخلايا حيث درجة حرارة التجمد تتطلب تحسين تأثيرات النافتا وبالتحديد تلك الخلايا الأقرب إلى جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) وتلك المحتوية على أقصى تركيز للمياه المالحة (Brine) ولذلك تحتاج إلى أبرد مبرد (Coldest Refregerant). في كل خلية يدخل المبرد خلال رشاشات (Spargers) عند القاع هذا يساعد على خلط المحتوى خلال أداء الفقاعات، وبهذا يتوفر التقليب اللازم للتأثيرات الجيدة للانتقال الحرارى.

بعد إزالة البيوتين بالضخ، يضخ الثلج فى شكل مخلوط من الثلج والماء المالح إلى جهاز فصل الثلج حيث يتم فصل الثلج من المحلول الملحى. (يتم تدوير المحلول الملحى أو التخلص منه طبقاً للحاجة). يتم بعد ذلك غسيل الثلج من المياه المالحة العالقة (يتم تدوير مياه الغسيل) ودفعه فى شكل مستحلب ثلجى من المياه النقية إلى المذيب (Melter) لتحويله إلى مياه نقية منتجة.

عملية التجميد بالضغط : Pressure Freezing Process

قام إثنان من الصينيين فى تايوان بتصميم عملية جديدة للتخلية. وهذه تتوقف على الخاصية الفريدة للماء بالتمدد والتجمد طبقاً لقاعدة لوشالتليير، يذوب الثلج عند تعرضه للضغط. بمعنى آخر عند ضغط واحد جوى تتخفض درجة التجمد للثلج 0.01°C . معظم المواد لها درجة تجمد (أو إزابة) عند الضغوط العالية. الفرق بين سلوك الثلج والهيدروكربونات المجمدة تحت الضغط تعاون كأساس فى تطوير التخلية بالتجميد.

عند تجميد هيدروكربون يغلى في درجة حرارة مرتفعة وخلطه مع مياه البحر الباردة ينتج خليط من الثلج، الهيدروكربون المجمد، مياه مالحة، وهيدروكربون سائل. يتم فصل الثلج من الخليط (Decanting) بعد إزابة الهيدروكربون المجمد، ثم غسيله من الملح الممتصة. كل ما سبق يتم في الضغط الجوى بدلاً من الإزابة المباشر للثلج يتم خلطه بسائل الهيدروكربون وتعرضه لضغط ٢٠٠٠ رطل/البوصة المربعة. يتجه لذلك يتجمد الهيدروكربون منتجاً حرارة التبلر وبذلك ترتفع درجة الحرارة ما بين ٢-٣°م يتم فصل المياه المنتجة من إزابة الثلج (Decanted) والمخلوط من الهيدروكربون الصلب - السائل يستخدم لتجميد ثلج أكثر من كمية أخرى من مياه البحر المبردة.

توجد فوائد كثيرة من هذه العملية. أولاً باستخدام هيدروكربون ذو درجة عليا ومرتفعة (٢٥٠°) يقلل من المخاطر المصاحبة باستخدام مواد مثل البيوتين الذي له نقطة اشتعال منخفضة (Flash point). ثانياً لا يتطلب جهاز لضغط الغاز لاسالة الهيدروكربون ولا تجهيزه تفريغ لازالته بالتبخير. ولذلك يبدو أن الطاقة المستخدمة في هذا النظام تكون منخفضة. هذا بالإضافة إلى تكون بللورات من الثلج كبيرة في هذه العملية بما يخفض من تكاليف الغسيل. نظراً لأن معدل تكون بللورات الثلج العالى ولا توجد خطوة للتبخير فإن المعدات تحتاج إلى حجم صغير نسبياً. ولكن لها سلبياتها. عملية المضايقة في فصل الثلج وتكلفتها وغسيل الثلج تكون مضاعفة في هذه الطريقة. وكقاعدة فإن جدوى التحلية تتوقف على عوامل إقتصادية وليست على عوامل فنية فقط. ولذلك لتقدير جدوى التحلية بهذه الطريقة يلزم التقييم على أساس التجارب النصف صناعية.

التبريد ببخار الماء : Refregiration by Water Vapour

بدلاً من استخدام مواد التبريد بالالتصاق المباشر، استخدام بخار الماء نفسه لأحداث أثر التجمد في مياه البحر. يتم هذا بواسطة عملية (Zarchin Colt Process) للتجميد شكل (١٥٠ - ب).

تضخ مياه البحر الباردة إلى المجمد، حيث يتم خفض درجة حرارتها تحت نقطة التجمد للمياه النقية وتقريباً إلى درجة تجمد المياه المالحة. عند هذه النقطة، يستخدم تأثير التبخير بواسطة ضاغط لضخ بخار الماء من المجمد. أداء الامتصاص من هذا يسبب تكون بخار إضافي لتوفير الاتزان بين الماء والبخار، وبذلك فإن درجة حرارة التبخير المأخوذة من مياه البحر تسبب تجميدها. الوساطة في هذه العملية هو الضاغط الغير مكلف. هذا ويعمل بمحرك ذو طاقة عالية ومناسب للضغوط ونسبة الانضغاط المطلوبة. الضغوط منخفضة قليلاً، ينتج ضغط جوى يساوى ٠,٠٥ فقط عند نقطة تجمد مياه البحر تسمى هذه العملية (Lyphlization).

في عملية التحلية تنتج حبيبات البلورات التي تنمو حتى ٠,٥ ملليمتر في مدة من ٢٠ إلى ٦٠ دقيقة. وتفصل بواسطة جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) ثم يتم غسلها، وإزابتها... إلخ. في مرحلة الإذابة بخار الماء الذى يسحب خلال مانع للضباب (Demister) للتخلص من المحلول الملحي العالق، يقابل بلورات الثلج التبادل الحرارى الناتج يساعد ليس فقط فى إذابة الثلج، ولكن كذلك فى تكثيف البخار. وبذلك تزداد كمية المياه المنتجة. يتم ترشيد استخدام الطاقة فى مراحل الأداء الهندسى ما بين مياه البحر والمياه النقية الباردة المنتجة. وقد يساعد على خفض حرارة المياه المالحة قبل تبريدها وتجهيزها.

امكانيات طرق التجميد :

بالنسبة للمياه ذات ملوحة ٣٠٠٠ جزء فى المليون تعتبر عملية التجميد هى المفضلة لإزالة ملوحة المياه. عملية التجميد تحتاج إلى ضواغط وبعض المعدات والأجهزة لتنفيذ العملية. بينما التحلية بالتبخير والتقطير حيث المعدات المستخدمة مؤثرة منذ فترة طويلة ومألوفة، ولذلك فإن التحلية بالتجميد تحتاج إلى تطوير ودراسة.

التحلية باستخدام الطاقة الشمسية للتبخير :

Desalination By Solar Evaporation

تعتبر الطاقة هي أكثر عناصر التكلفة في عمليات التحلية. ولذلك فإن استخدام الطاقة الشمسية يعتبر هاما واقتصاديا. الطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض في الأماكن حيث الأشعة الشمسية تصطدم مباشرة في معظمها (بزوايا طبيعية نحو سطح الأرض) يمكن أن تكون ١٠٠٠٠ وحدة حرارية في اليوم على القدم المربع (10000 BTU/ day / ft²). من الناحية العملية هذه القيمة تنخفض، حيث بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة الجو والسحب ... إلخ. ولذلك ففي المتوسط تكون قيمة الطاقة الشمسية التي تصطدم بسطح الأرض ثم حسابها لتكون من ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ وحدة حرارية في اليوم / القدم المربع. ولذا وجد أن استخدام الطاقة الشمسية مشجع وخاصة في الأماكن حيث كثافة ضوء الشمس عالية.

الإضافة إلى مميزات استخدام الطاقة الشمسية فإن لتحلية لإنتاج البخار بالطاقة الشمسية يتطلب فقط معدات بسيطة.

نموذج لجهاز التحلية المنزلي في الشكل (١٥١) يبين إنتاجية رطل من المياه العذبة النقية في اليوم / القدم المربع من سطح الحوض.

تمتص الطاقة الشمسية على القاع الأسود للحوض الضحل الذي يحتوى على مياه البحر ترتفع أبخرة المياه لتتكثف على السطح الزجاجي أو من البلاستيك الذي يميل بما يسبب تدفق المياه المتجمعة إلى حوض التجمع نظراً لأن سطح التكتيف يعلو أحواض التبخير فإنه يجب أن يكون شفاف ليمرر أشعة الشمس إلى القاع المغطى بطبقة سوداء، ولكن بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة سطح التكتيف، كما أن ارتفاع درجة الحرارة يثبط بواسطة التبريد الجوى. يزداد الفقد للطاقة الساقطة بالأترربة والأجسام التي تعلق على الجزء العلوى لسطح التكتيف بما يستوجب النظافة باستخدام العمالة.

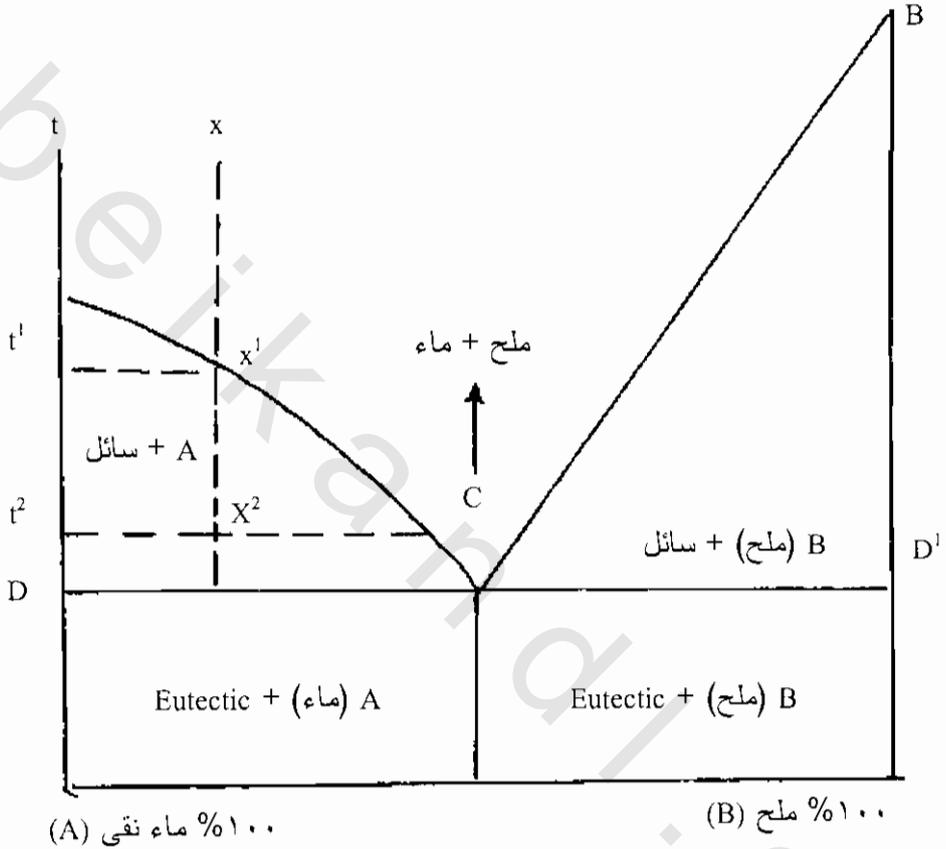
ثم عمل عدة تصميمات هندسية لزيادة كفاءة الحصول على الطاقة الشمسية وخاصة تخفيض الفقد نتيجة الانعكاس ولذلك استخدمت أسطح دائرة وكذلك أسطح دوارة، كما تمت محاولة للتسخين المسبق للمياه المالحة واستخدام جهاز التحلية متعدد التأثير (Multiple Effect).

في المناطق ذات المناخ الحار مثل شمال أفريقيا والهند أمكن تحقيق ٠,٤ إلى ٠,٨ جالون في اليوم / القدم المربع خلال العام. وهذا يعني أن الطاقة الحرارية التي تصل إلى الجهاز تكون في حدود ٥٠% من الطاقة الشمسية التي تصل إلى الجهاز. ولذا فإن الاعتبارات العملية قيدت الوصول إلى قيم أعلا.

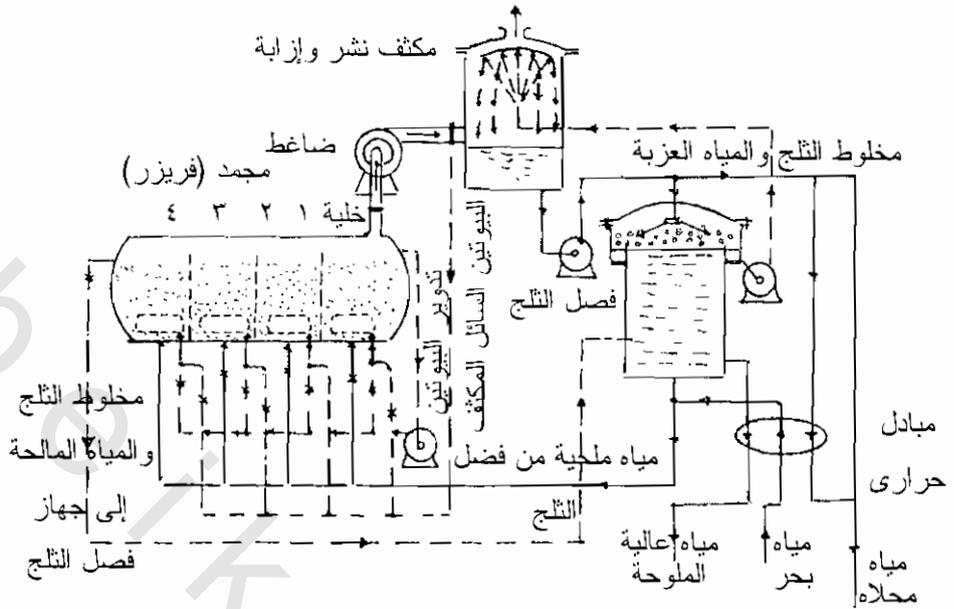
في اليونان أنشئ على مساحة ١٣٠٠٠٠ قدم مربع مساحة للتبخير قدرها ٩٣٠٠٠ قدم مربع هذه المساحة تتكون من خجان مزدوجة ذات مساحة ١٠ قدم × ١٣١ قدم أحواض التقطير من الألومنيوم المبطن بالمطاط الأسود (Black Butyl Rubber) سطح المكثف من زجاج النوافذ بسمك أقل قليلاً من ٨/١ بوصة وبميل ١٢° نحو الجنوب. الأحواض ملئت بالمياه المالحة. المياه المركزة تزال من آن إلى آخر طبقاً لمعدل التبخير وهو أسبوعياً في الشتاء وكل يومين في الصيف. كانت الحصيلا ٢٧ جالون في العام / القدم المربع من المياه المقطرة، وهذا يعادل ٧٠٠٠ جالون في اليوم.

بغرض الإنتاج اليومي بمعدل ١٠٠٠ جالون يلزم من ٥٠٠٠ إلى ١٥٠٠٠ قدم مربع من سطح التبخير والتكثيف. وهذا يعني كبر حجم الجهاز بالإضافة إلى باقي المهمات والمعدات اللازمة.

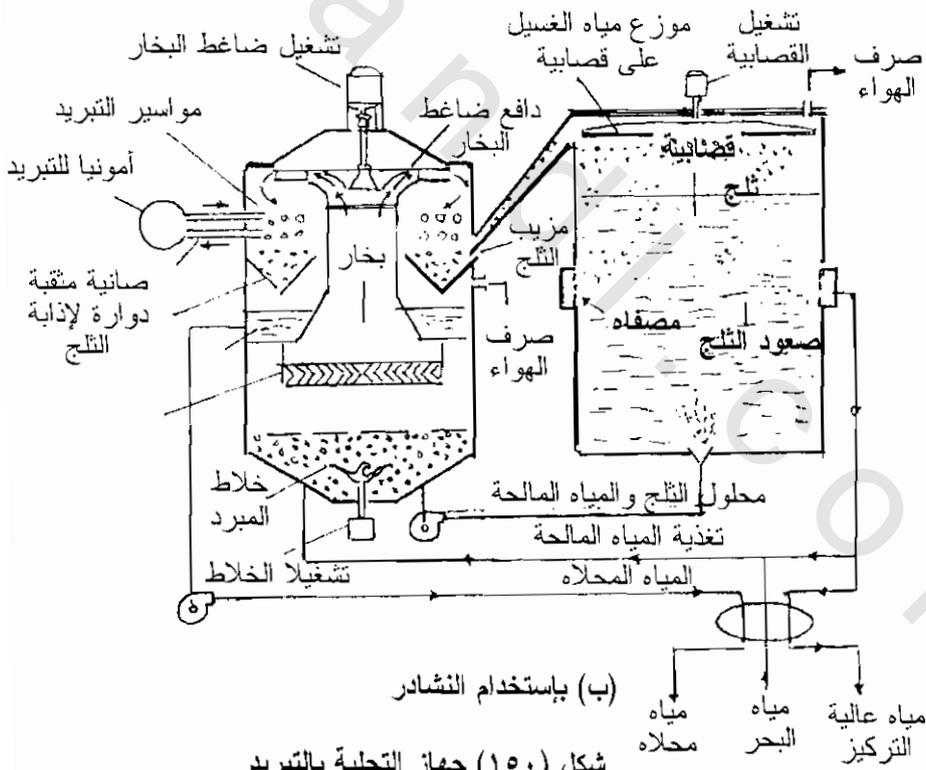
بالإختصار يبدو أن التحلية للمياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية تكون مناسبة لإنتاج عدة جالونات في اليوم وليس لعدة آلاف من الجالونات. بهذا يمكن خفض تكلفة المعدات واستغلال للطاقة الشمسية وتبدو مناسبة هذه الطريقة في المناطق الغير صناعية حيث تكاليف الطاقة مرتفعة كما أنها مناسبة لتلبية حاجات أسرة صغيرة.



شكل (١٤٩) مخطط الإتران بين الملح والماء عند التبريد Eutectic تعنى أدنى نقطة إنصهار للمخلوط

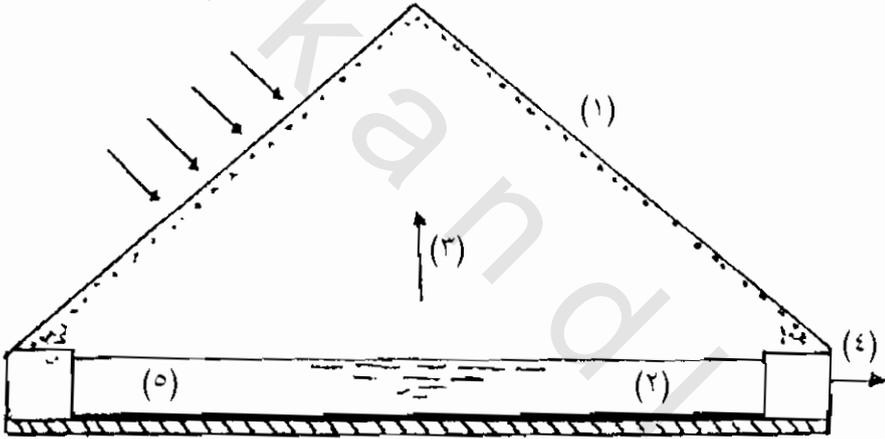
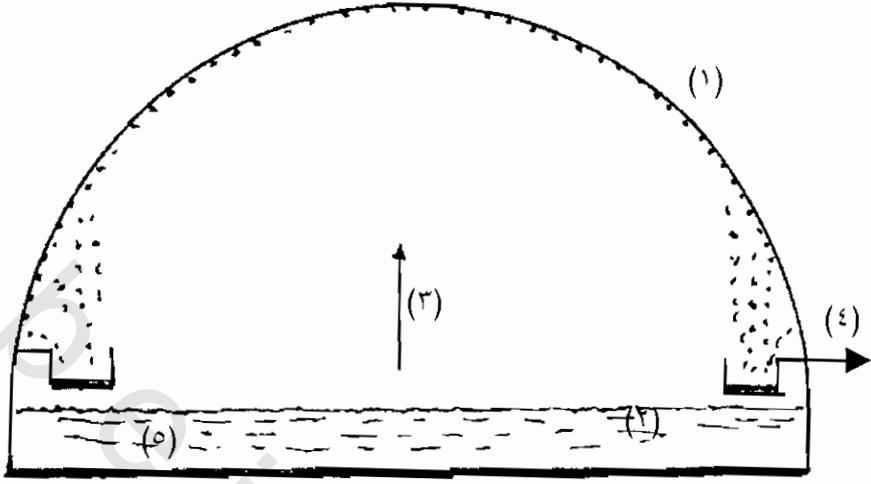


(أ) باستخدام البيوتين



(ب) باستخدام النشادر

شكل (١٥٠) جهاز التبريد بالتبريد



شكل (١٥١) نموذجين لجهاز صغير لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسية

(١) غطاء شفاف من الزجاج أو البلاستيك.

(٢) مياه مالحة.

(٣) بخار الماء الصاعد.

(٤) مياه محلاة.

(٥) سطح مغطى بطبقة دهان سوداء للإحتفاظ بحرارة الشمس ومن مادة لاتسيل ولا تلتوث المياه.

كفاءة نظم المعالجة المختلفة في إزالة مختلف أنواع الملوثات

يوضح الجدول التالي بيان الملوثات وعمليات المعالجة للمياه ومدى كفاءة الإزالة لهذه الملوثات.

وقد قسمت الملوثات الي ملوثات أولية وهذه لها معايير إجبارية لما لها من تأثير علي الصحة العامة. الملوثات الثانية وهي لها معايير ولكن ليست إجبارية لما لها من تأثير علي قابلية المياه للشرب والاستخدام المنزلي. أما الملوثات المقترحة فلها معايير مخططة مستقبلا. وتعرف كفاءة المعالجة طبقاً للمستويات التالية.

ممتازة حيث نسبة الإزالة	٩٠% - ١٠٠%
جيدة حيث نسبة الإزالة	٦٠% - ٩٠%
مقبولة حيث نسبة الإزالة	٢٠% - ٦٠%
ضعيفة حيث نسبة الإزالة	صفر - ٢٠%

بعض الملوثات تعالج بنسب متفاوتة. وقد لا تحقق طريقة واحدة الإزالة للتلوث ولذلك يستخدم كثير من هذه الطرق معا للحصول علي إزالة مؤثرة للتلوث.

كفاءة تقنيات المعالجة المختلفة في إزالة الأنواع المختلفة من الملوثات:

ممتاز (م) حيث نسبة الإزالة من	٩٠ - ١٠٠%
جيد (ج) حيث نسبة الإزالة من	٦٠ - ٩٠%
متوسط (س) حيث نسبة الإزالة من	٢٠ - ٦٠%
ضعيف (ض) حيث نسبة الإزالة من	صفر - ٢٠%

إزالة العسر بالجير	الأمصاص			الأكسدة الكيماوية / التطهير	عمليات الأغشية			التبادل الأيوني		الترويب / الترسيب / الترشيح	التهوئة	الملوثات
	الأونيا المنشطة AAL	بودرة الفحم المنشط PAC	حببات الفحم المنشط GAC		البكتروايدياليسيس Ed	الترشيح العالي UF	تناضح عكسي RO	كاتايوني	آن أيوني			
المكونات الأولية (ذات التأثير على الصحة العامة)												
أ- الميكروبات والعكارة												
	ض	ض	ض	م	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	الكوليفورم الكلي
	ض	ض	ض	م	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	الجارديا لامبيا
	ض	ض	ض	م	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	الفيروسات
	ض	ض	ض	م	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	ليجيونلا
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	ج	م	ض	العكارة
ب- الغير عضوية												
	ض	ض	ض	ض	-	ض	ض	ض	م-ج	س-ج	ض	الزرنخ ثلاثي التكافؤ
	ض	ض	ض	ض	-	ض	ض	ض	م-ج	م-ج	ض	الزرنخ الخماسي التكافؤ
	-	-	-	ض	-	-	-	-	-	م-ج	ض	الأسبتوس
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	س	ض	ض	الباريوم
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	الكاديوم
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	م-ج	م-ج	ض	الكروم ثلاثي التكافؤ
	ض	ض	ض	ض	-	م-ج	م-ج	ض	م	ض	ض	الكروم سداسي
	-	-	-	ض	-	ج	ج	-	-	-	ض	السيانيد
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	س	س	ض	الفلوريد
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	م	ض	ض	الرصاص
	ض	ض	ض	ض	-	س	س	ض	س	س	ض	زئبق غير عضوي
	ض	ض	ض	ض	-	م	م	ض	م	س	ض	النيكل
	ض	ض	ض	ض	-	ج	ج	ض	م-ج	ض	ض	النترات
	ض	ض	ض	ض	-	ج	ج	ض	م-ج	ض	ض	الذيريت

١٣	١٢	١١	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
ض-س	ض-س	ض	ض-س	ض	ج-م	-	م	م	ض	ض-س	ض	الراديوم
ج-م	ج-م	ض	ض	ض	م	-	م	ض	ج-م	س	ض	السلينيوم سداسي التكافؤ
س	ج-م	ض	ض	ض	م	-	م	ض	ج-م	ج-س	ض	السيينيوم الرباعي
ج- المواد العضوية												
ض-س	ض	ض-ج	س-م	ض-ج	س-م	س-م	س-م	ض	ض	ض	ج-م	كيموايات عضوية Volatile Organic Chemicals (Vocs)
ض-س	ج-س	ض-م	س-م	ض-ج	س-م	س-م	س-م	ض	ض	ج-س	ض-س	كيموايات عضوية Synthetic Organic (SoCs)
ض-س	ج-س	ج-م	ج-م	ض-ج	س-م	س-م	س-م	ض	ض	ج-س	ض-س	المبيدات
ض	ض	ض-س	س-م	ض-ج	س-ج	س-ج	س-ج	ض	ض	ض	ج-م	الترايها لوميثانات
ض-س	ض-س	ض-س	س-م	س-ج	ج-م	س-م	ج-م	-	ج-م	ج-س	ض	نواتج الترايها لوميثانات
٢- الملوثات الثانية (ذات التأثير على الأستساغة والقبيلية للشرب)												
م	ض	ض	ض	ض	م	ج-س	م	م	ض	ض	ض	العسر
م	ض	ض	ض	ج-م	ج-م	ج	ج-م	ج-م	ض	س-م	س-ج	الحديد
م	ض	ض	ض	س-م	ج-م	ج	ج-م	ج-م	ض	س-س	ض-س	المنجنيز
ج-س	ج	ج-م	م	س-م	-	-	-	-	ض-ج	س-ج	ض	اللون
ض-س	ض-س	ج-م	ج-م	س-م	-	-	-	-	س-ج	ض-س	س-م	المذاق والرائحة
ض-س	ض	ض	ض	ض	ج-م	ض-س	ج-م	ج-م	ض	ض	ض	الأملاح الكلية المذابة
ض	-	ض	ض	ض	ج-م	ض	ج-م	ج-م	س-ج	ض	ض	الكوريد
ج-س	-	ض	س-ج	ض-س	م	-	م	م	ض	ج	ض	النحاس
ض	ج-م	ض	ض	ض	م	ض	م	م	ج-م	ض	ض	الكبريتات
ج-م	-	-	-	ض	م	-	م	م	ض	ج-م	ض	الزنك
ج	-	س-ج	س	س-ج	س-ج	ج-م	ج	ج	-	ض-س	س	إجمالي الكربون العضوي
م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض-س	ج-م	ثاني أكسيد الكربون
ج-س	ض	ض	ج-م	س-م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	س-م	كبريتيد الهيدروجين
ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض-م	ج-م	الميثان

٣ - ملوثات مقترحة (ليس لها معايير إجبارية)

١٣	١٢	١١	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
ض-س	ض	ض-ج	س-م	ض-ج	س-ج	م-س	س-م	س-م	ض	ض	ج-م	Voc s
ض-س	ج-ض	ض-ج	س-م	ض-ح	س-م	م-س	س-م	س-م	ض	ج-ض	ض-س	Soc s
ض-س	-	ض-ج	س-م	س-ج	س-ج	س-ج	ض	ض	ض-س	ض-م	-	نواتج التطهير
ض	ض	ض-س	م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ج-م	الرادون
ج-م	ج-س	ض-س	س	ض	م	-	م	م	م	ض-م	ض	اليورانيوم
س-ج	-	-	-	ض	م	-	م	م	ض	س	ض	الألومنيوم
ض	-	-	ض-ج	س-ج	ض	-	-	-	ج	ج-م	س-ج	الفضة