أعمال مياه الشرب

تحلية مياه البحر

Seawater Desalination

تأليف / محمود حسين المصيلحي مهندس استشاري

2022

وقـل ربِّ زدني علمـا

أعمال مياه الشرب

المؤلفات باللغة العربية، وتختص بمهارات التنفيذ و مواقع العمل و الخبرة الواسعة للمؤلف ، بالأضافة الي نماذج من الأعمال المشابهة و المنفذة في أنحاء العالم ، أضافة لأفلام قصيرة للتوضيح .

تنقيـة ومعالجـة مياه الشرب السطحية .	136صفحة
التغذية بمياه الأمطار .	55 صفحة
معالجة المياه الجوفية من العسر .	143 صفحة
معالجة المياه الجوفية من الحديد و المنجنيز .	104 صفحة
تحلية مياه البحر .	203صفحة

الفهـرس

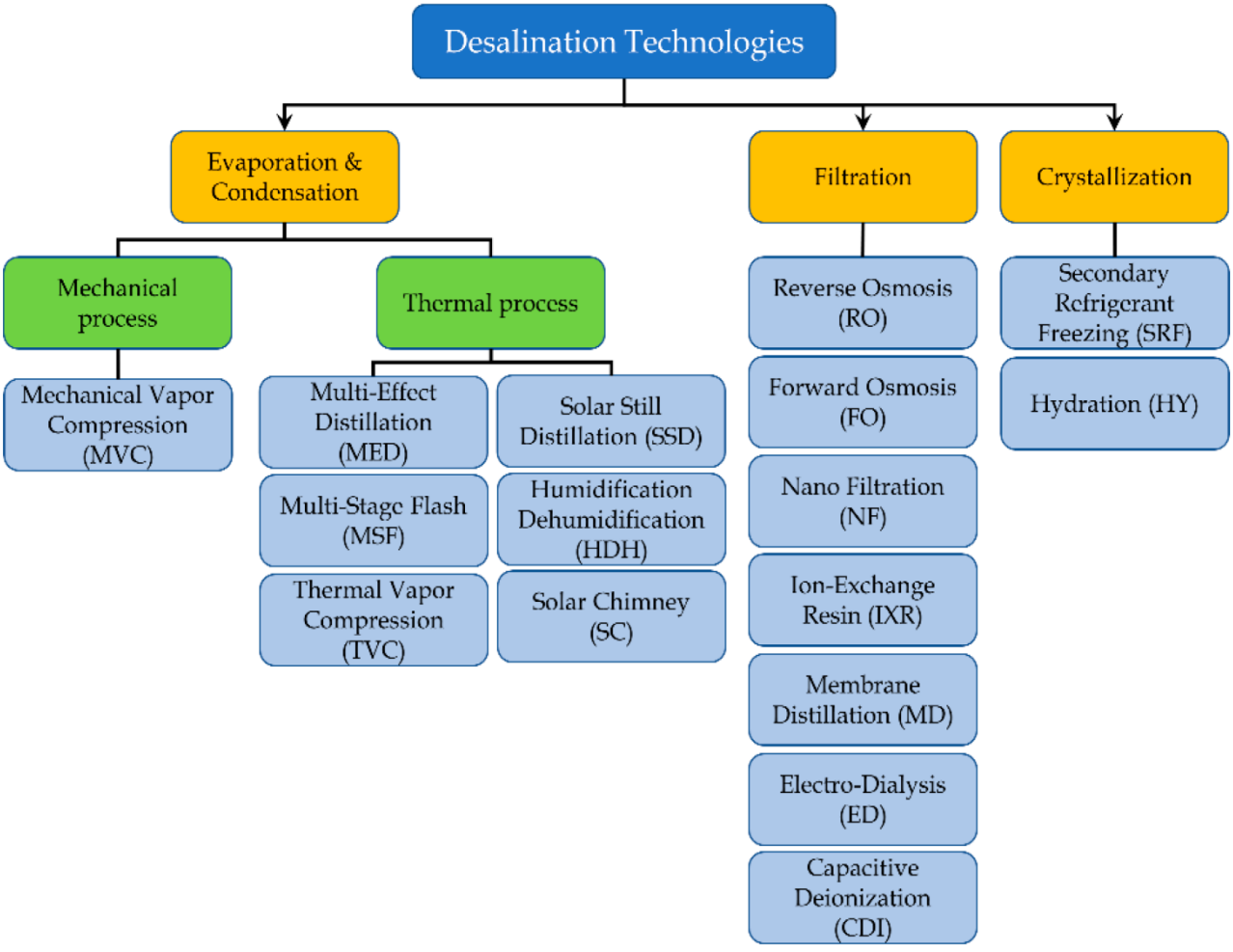
البيان	الصفحة
الباب الأول : تحلية مياه البحر – خصائص مياه البحر - طرق تحلية مياه البحر - عملية التنقية و التحلية .	**4**
الباب الثاني : المعالجة المسبقة لتحلية مياه البحر . **المأخذ ص 12 – المصافي ص 17 - - أحواض الترسيب بالجاذبية ص 18 - مرشحات الضغط الرملية متعددة الأوساط ص 20 - فلتر الخرطوشة (الشمعة) ص 23 – المرشحات الترابية الدياتومية ص24 – كلورة مياه البحر ص 25 – أدمصاص الكربون ص 25 - جهاز التعويم بالهواء المذاب DAF ص 28 - جهاز تليين الماء ص 31.**	**8**
الباب الثالث :. تقنيات تحليـــة مياه البحار Seawater Desalination Technologies .	**33**
الباب الرابع : تحليـــة مياه البحار بتقنية التناضح العكسي Reverse Osmosis (RO) .	**37**
تحليـــة مياه البحار بتقنية الترشيح النانو Nano Filtration (NF) .	**74**
تحليـــة مياه البحار بتقنية الترشيح الفائق Ultra Filtration (UF) .	**82**
تحلية المياه بتقنية غشاء الترشيح الدقيق Membane Desalination with Microfiltration (MF)	**88**
الترشح الي الأمام Forward Osmosis (FO) .	**94**
التقطير بالأقطاب الكهربائية Electro Dialysis (ED) .	**102**
الباب الخامس : تحلية المياه المالحة بتقنية تقطير مياه البحر .	**112**
الباب السادس : تقنيات تقطير مياه البحر Sea Water Distillation :	**113**
أولا : تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل (MSF).	**113**
ثانيا : التحلية بنظام التقطير متعدد التأثير Multiple-Effect Distillation (MED).	**120**
ثالثا : وحدات تحلية مياه البحر بطريقة تضاغط البخار Vacuum Vapor-Compression (VVC) .	**127**
رابعا : التقطير باستخدام الطاقة الشمسية Solar Desalination .	**135**
الباب السابع : تحلية المياه بطريقة البلورة أو التجميد .	**153**
الباب الثامن : تحلية المياه باستغلال الحرارة الأرضية .	**157**
الباب التاسع : تحلية مياه البحار باستخدام الطاقة النووية .Desalination Using Atomic Power	**169**
الباب العاشر : المعالجة اللاحقة لعمليات تحليـــة مياه البحار .	**175**
الباب الحادي عشر : تطهير المياه .	**189**
اللطهير بالكلور .	**190**
التطهير بالأوزون .	**194**
التطهير بالأشعة فوق بنفسجية .	**197**
صرف المياه العادمة .	**200**
المراجع	**203**

تحليـــة مياه البحار
Sea Water Desalination

تحلية مياه البحار :

تعتبر المياه المالحة من مصادر المياه الهامة لإمداد المياه النقية الصالحة للشرب للأفراد . ورغم تعقد التكنولوجيات المستخدمة لتحلية هذه المياه وتكاليفها الباهظة ، فأنه لا يمكن الاستغناء عن هذا المصدر ، حيث توجد بعض التجمعات والقرى البدوية مثل السلوم وسيدي براني والنجيلة ومرسي مطروح بالساحل الشمالي الغربي لجمهورية مصر العربية وكذلك القرى السياحية بشواطىء البحر الأحمر مثل رأس غارب و الغردقة و حلايب وشلاتين 000، يكون من المحتم أيجاد وسيلة لإمدادها بالمياه الصالحة للشرب . تحلية مياه البحر تعتبر أحد مصادر الحصول علي المياه في الأماكن المنعزلة .

تحتوى مياه البحار علي تركيزات عالية من الأملاح تصل إلى 60000 ملجم / لتر، تحتاج هذه المياه إلي تكنولوجيات متقدمة لإعذابها للحصول علي المياه الصالحة للاستهلاك الآدمي . تستخدم هذه التكنولوجيات ذات التكلفة العالية في الضرورة القصوى مثل حالات إمداد المياه بالمدن الساحلية مثل مدينة جده و ينبع و القرى السياحية بجمهورية مصر . أهم تقنيات التحلية ـ شكل (1).



شكل (1)

طرق تحلية المياه

تصنف المياه المالحة علي النحو التالي - جدول (1) :

جدول (1)

تصنيف المياه المالحة

نوع المياه	نسبة الأملاح جزء / مليون	ملاحظات
مياه شديدة الملوحة :Brine Water	60000 – 45000	تتواجد في البحار المقفلة مثل البحر الميت.
مياه مالحة : Saline Water	45000 – 30000	مياه البحار والمحيطات .
مياه متوسطة الملوحة :Brackish Water	15000	
مياه شديدة العسر : Very Hard Water	أكثر من 300	
مياه عسرة : Hard Water .	300 - 200	
مياه ذات عسر متوسط .	200 – 150	
مياه ذات عسر خفيف .	150 -100	
مياه متوسطة اليسر .	150 – 50	
مياه يسرة .	صفر - 50	

العناصر المكونة لمياه البحر – جدول (2) :

جدول (2)

العناصر المكونة لمياه البحر

الأيون	التركيز في مياه البحر جم / كجم
كلوريد	19,344
صوديوم	10,773
كبريتات	2,712
ماغنيسيوم	1,294
كالسيوم	0,412
بوتاسيوم	0,399
بيكربونات	1,142
بروميد	0,067
سترونتيم	0,008
بورون	0,004
فلوريد	0,0013
المجموع	35

أهم الكيماويات المستخدمة فى المعالجة :

جدول (3) :

جدول (3)

أهم الكيماويات المستخدمة في عملية التحلية و فوائدها

الكيماويات Chemicals	الوظيفة Function
Lime, Sodium Phosphate and Polyphosphate	تطرية (أزالة العسر) Water Softening
Aluminium and Iron Sulphate , Polyelectrolytes and Silicates	التنديف Flocculation
Chlorine, Chlorine Dioxide, Sodium Hypochlorite, Chlorinated Cyanurates and Sulphates	التعقيم Disinfection
Activated Carbon	أغراض عامة أخري للمعالجة General Purpose Treatment

خصائص مياه البحار Quality of Sea Water

تتعرض مياه البحار للتلوث والتي تغير من جودة مياه البحر وخواصها، أنواع هذه الملوثات ما يلي :

أ - الملوثات الفسيولوجية :

1 - اللون والطعم والرائحة .

ب - الملوثات الطبيعية :

1 - العكارة.

2 - المواد العالقة .

3 - الملوحة .

ج - الملوثات الكيماوية :

1 - أملاح مركزة تصل إلي 60000 ملجم / لتر ، كما يتواجد 44 عنصرا مذابا في مياه البحار ، أشهرها أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكبريتات والكلوريدات .

2 - يتواجد بالمياه غازات مذابة مثل غاز الأكسجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون .

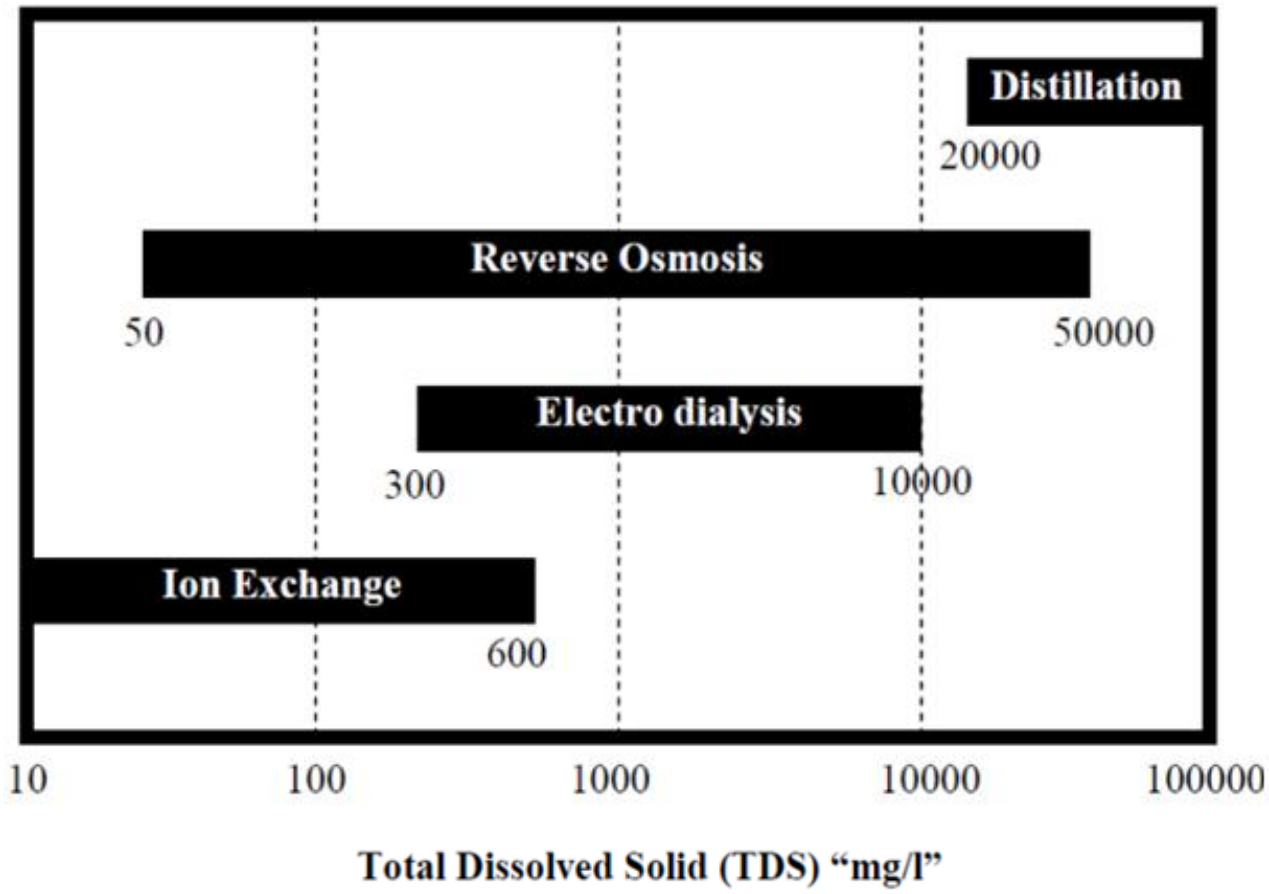
3- تكون في الغالب قلوية ، حيث يكون رقم الأس الهيدروجيني من 8- 9 .

د - الملوثات العضوية :

تواجد بعض البكتيريا المعوية الممرضة، نتيجة إلقاء المخلفات الآدمية ومخلفات السفن بمياه البحر .

أختيار طريقة التحلية المناسبة :

شكل (2) :



شكل (2)

أختيار طريقة التحلية المناسبة

المعالجة المسبقة في عملية تحليـــة مياه البحار
Pretreatment of Seawater Desalination

المعالجة المسبقة لتحلية مياه البحر Pretreatment :

الغرض من المعالجة المسبقة لمياه البحر هو الأقلال من الرواسب أو العكارة أو السميات أو التلوث العضوي و العضوي و الكيماوي 000المتواجدة في المياه و تحسين جودتها الي مستوي لا يضر أغشية التحلية . خطوات تحلية المياه بالمحطات - شكل (3) .

عوامل ضبط جودة المياه : Parameters Relevant to the Pre-treatment

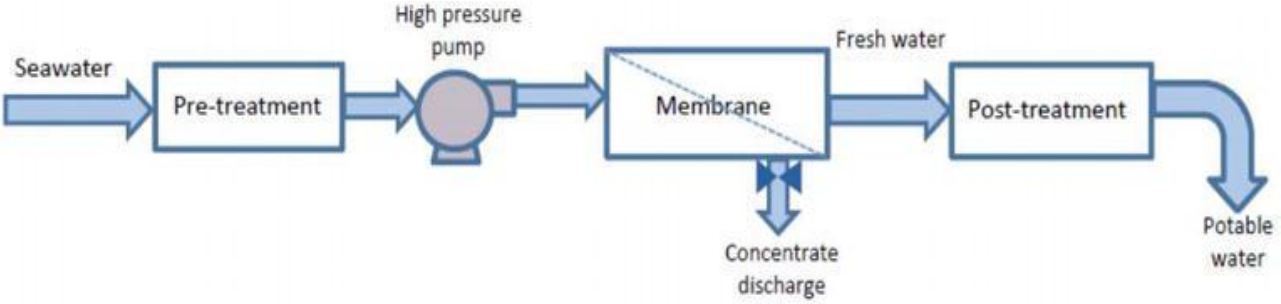
- ضبط الرقم الهيدروجيني — pH
- الموصلية / المواد الصلبة الذائبة / الملوحة — Conductivity/TDS/Salinity
- تقليل العكارة — Turbidity
- الكربون العضوي الكلي — Total Organic Carbon
- العسر . — Hardness
- القلوية — Alkalinity
- الكلور — Chlorine

خطوات تحلية المياه :

1 - المعالجة الأولية للمياه Pre Treatment : ويتم فيها إزالة المواد العالقة بالمياه مثل التراب والبكتريا و الملوثات وتتم عن طريق المعالجة الاولية للمياه Pretreatment ويتم في هذه العملية إضافة بعض المواد الكيميائية لتسهيل عملية المعالجة.

2 - عملية إزالة الأملاح : ويتم فيها اذابة جميع الأملاح الذائبة في المياه والفيروسات والمواد الكيميائية والمواد العضوية الذائبة في الماء وتتم من خلال استخدام الأغشية والتقطير.

3 - المعالجة النهائية للمياه Post Treatment : ويتم فيها إضافة بعض الأملاح والمواد الأخرى حتى تكون المياه صالحة للاستخدام الأدمي وهذا يتم عندما يكون للاستهلاك المباشر للبشر مثل الشرب او الزراعة أو الاستخدام المنزلي اما اذا كانت تستخدم في الصناعة أو الادوية فلا يضاف لها الملح لأنه سيؤثر سلبا على جودة المنتج .



شكل (3)

خطوات تحلية المياه بالمحطات

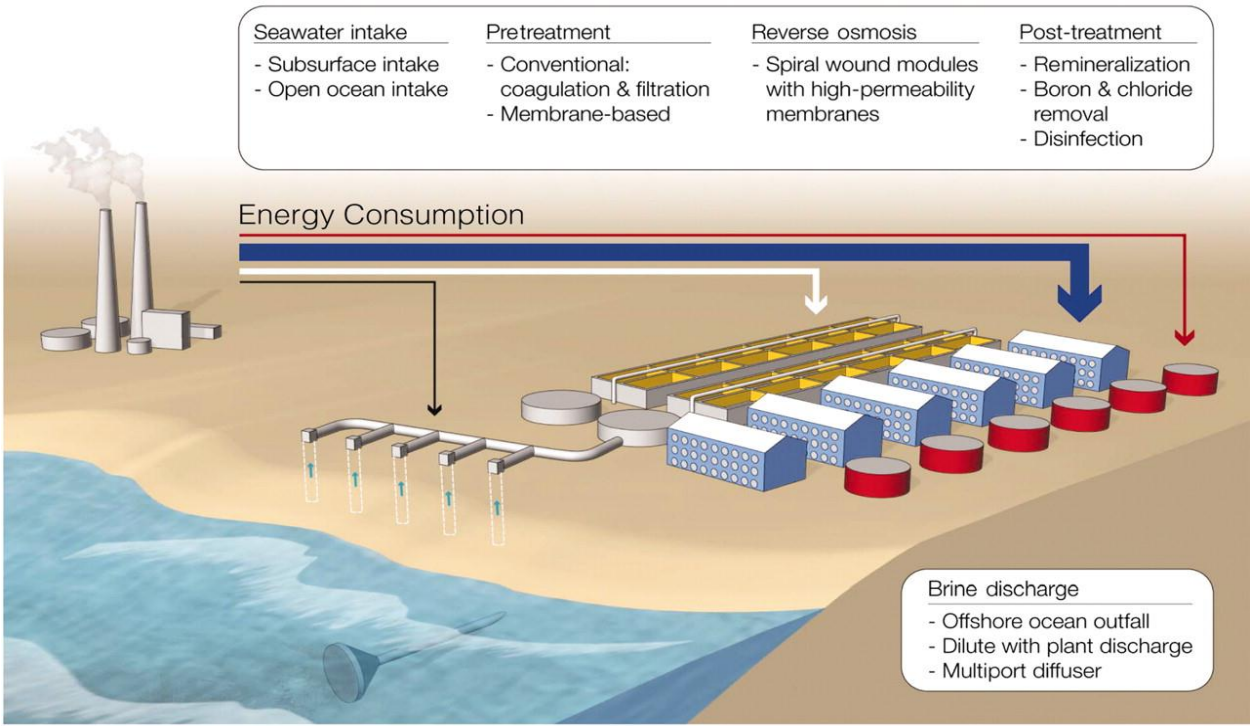
تلوث الأغشية الرقيقة للتناضح العكسي RO من المواد العالقة الموجودة في مياه البحر - جدول (5) :

جدول (5)

تلوث من المواد العالقة الموجودة في مياه البحر

ما قبل المعالجة	السبب	التلوث
المعالجة بالكلور	البكتيريا والكائنات الدقيقة والفيروسات والطفيليات	التلوث البيولوجي
التصفية	الرمل والطين (التعكر ، المواد الصلبة العالقة)	التلوث الجسيمي
التخثر + التصفية اختياري : التندف / الترسيب	العضوية وغير العضوية المجمعات ، والجسيمات الغروية ، الطحالب الدقيقة .	التلوث الغروي
التخثر + التصفية + امتزاز الكربون المنشط التخثر+ الترشيح الفائق	العضوية امرا طبيعيا : (NOM) الدبالية والأحماض الفولفيك، والبوليمرات	التلوث العضوي
جرعات لمنع التكلس تحمض	الكالسيوم والمغنيسيوم أو السترونتيوم الكبريتات الباريوم وكربونات .	التلوث المعدني
أكسدة كاسحة الجرعات : الصوديوم (ميتابايسلفيت) . حبيبات الكربون المنشط.	الكلور، الأوزون KMnO4	تلوث الأكسدة

Lenntech

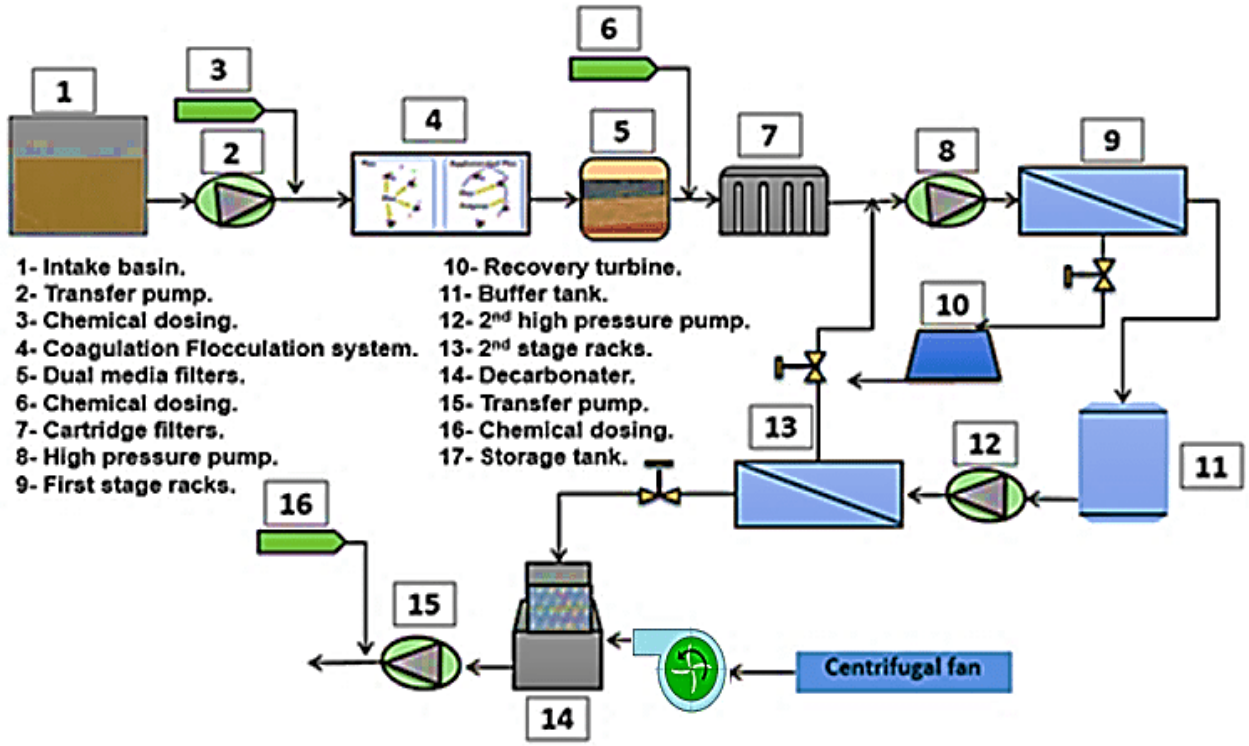


شكل (3)

خطوات تحلية المياه بالمحطات – بيان المعالجة المسبقة والمعالجة اللاحقة

نماذج لمحطات التحلية عاملة ووحدات المعالجة :

نموذج (1) :



نموذج محطة تحلية المياه – محطة تاجوراء – ليبيا

غالبية وحدات التحلية المستخدمة في محطات التنقية - جدول (5) :

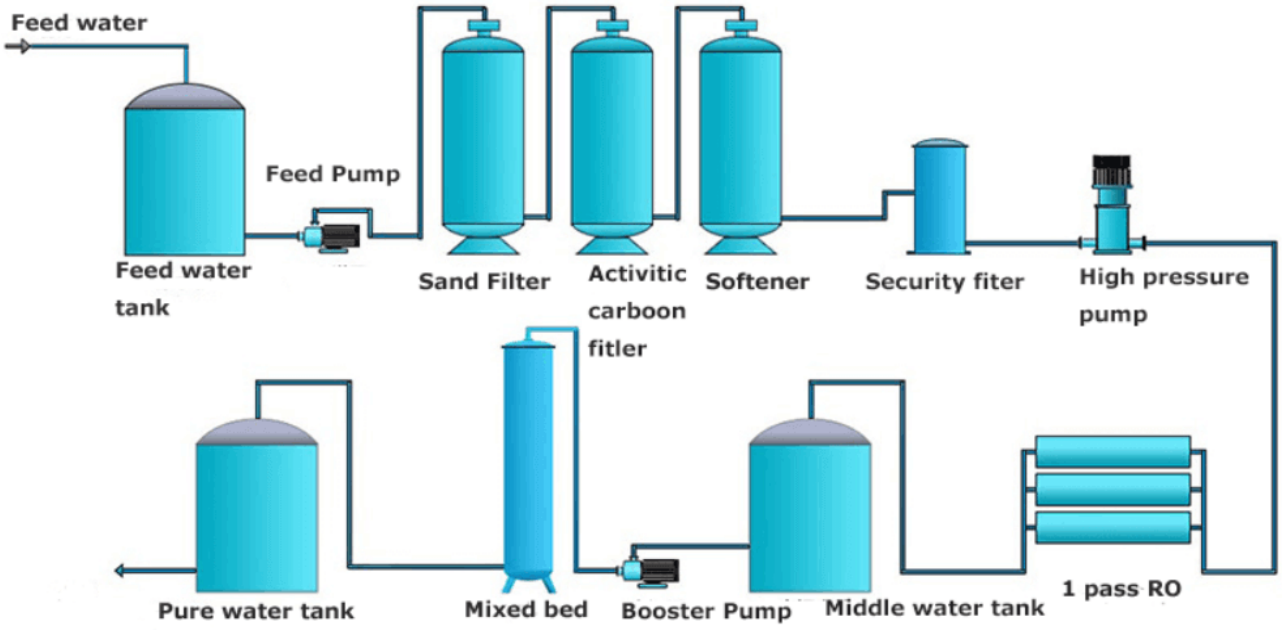
جدول (5)

غالبية وحدات التحلية المستخدمة في محطات التنقية

1 – Intake Basin.	1 - حوض المأخذ.
2 – Transfere Pump	2 - مضخة نقل .
3 – Chemical Dosing.	3 - الجرعات الكيميائية (أضافة الكلور – حامض الكبريتيك).
Salinity Buffer Tank	خزان المياه المالحة .
Sulphuric Acid + Polyaluminium Chloride + Polyeletrolyte + Chlorine Dioxide	حقن حامض كبريتيك + بولي ألومنيوم كلوريد + بولي أليكتروليت + ثاني أكسيد الكلور .
4 – Coagulation Flocculation System.	4 - حوض الترويب والخلط وتكوين الندف .
5 – Duel Media Filters.	5 – المرشحات الوسط المزدوج .
6 – Chemical Dosing.	6 - الجرعات الكيميائية.
Anti Scalant.	حقن مادة أنتي سكالينت المضاد لتكون للقشور .
Diatomaceous Earth Filters.	مرشحات الأرض الدياتومي.
7 – Catridge Filters.	7 - مرشحات خرطوشة .
Ultra filtration of sea water	الترشيح الفائق لمياه البحر .
8 – High Pressure Pump.	8 - مضخة الضغط العالي.
9 – First Stage Racks (RO).	9 - المرحلة الأولى للتناضح العكسي .

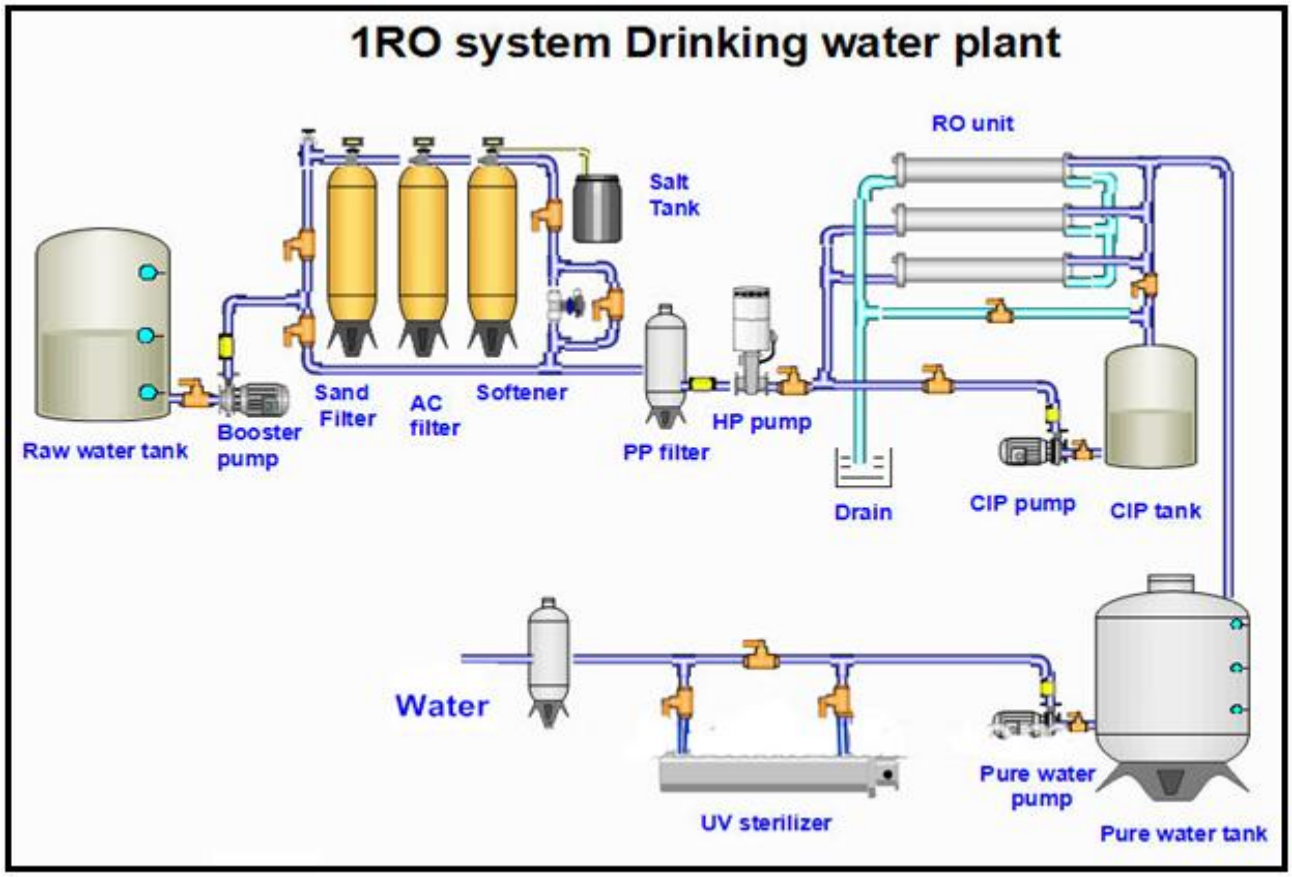
10 – Recovery Turbin .	10 – أستعادة توربين.
11 – Buffer Tank.	11 - خزان عازل.
12 – Second High Pressure Pump.	12 - مضخة الضغط العالي الثانية.
13 – Second Stage Racks (RO).	13 - المرحلة الثانية للتناضح العكسي.
14 – Decarbonator.	14 – أزالة الكربونات .
15 – Transfer Pump.	15 - مضخة نقل.
16 – Chemical Dosing.	16 - الجرعات الكيميائية.
17 – Storage Tank.	17 - خزان تخزين المياه المنقاة .

نموذج (2) :



Desalination Process of Kangyang Desalination Plant

نموذج (3) :



نماذج من محطات تحلية

ملاحظة :

نماذج محطات التحلية السابق ذكرها تبين وحدات التنقية المتنوعة في كل محطة .

وحدات التحلية :

1 - المأخذ Intake :

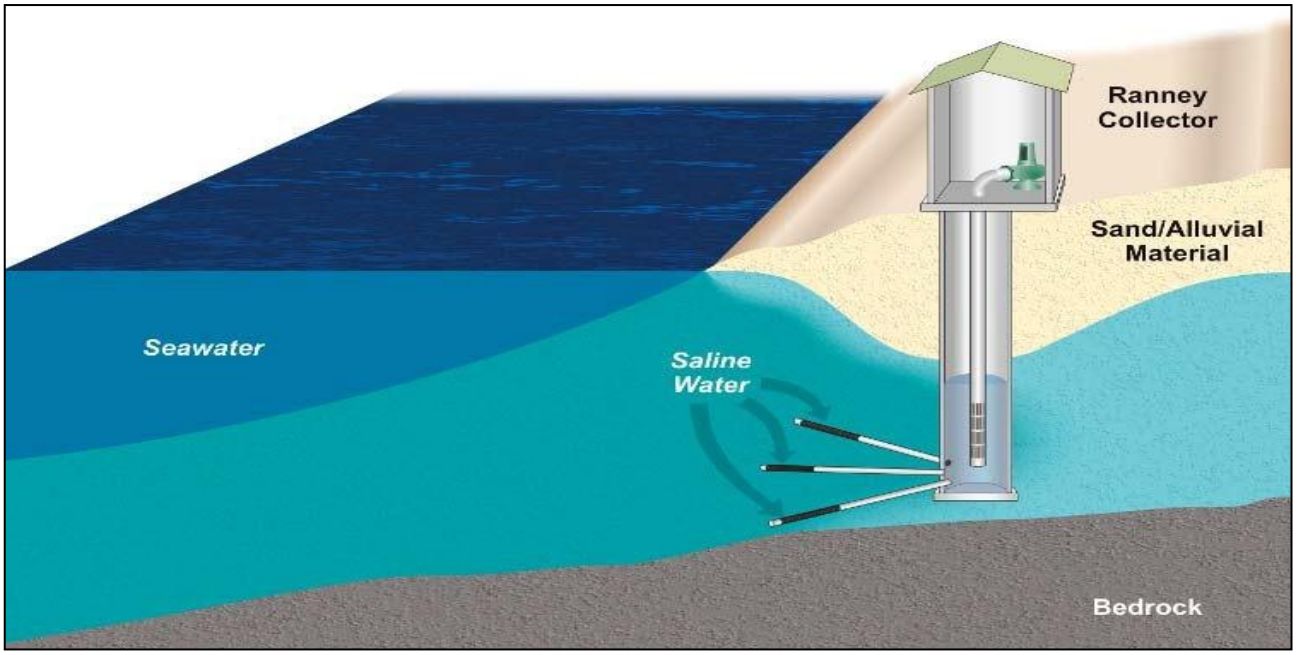
تتواجد المكونات الطبيعية في مياه البحر بكميات تتطلب إجراءات إضافية لإزالتها في عملية التحلية ، من أجل تلبية متطلبات الجودة للاستهلاك البشري. يمكن أن تنتج المخلفات غير المرغوب فيها أو المنتجات الثانوية من ترحيل هذه المكونات إلى مرحلة التناضح العكسي.

المعلمات المتعلقة بكمية مياه البحر Parameters Relevant to Sea Water Intake :

- الرقم الهيدروجيني pH .
- الموصلية / المواد الصلبة الذائبة / الملوحة Conductivity/TDS/Salinity
- المواد الصلبة العالقة Suspended Solids .
- العكارة Turbidity .
- الكلور Chlorine .
- ORP
- الزيت في الماء Oil in Water .

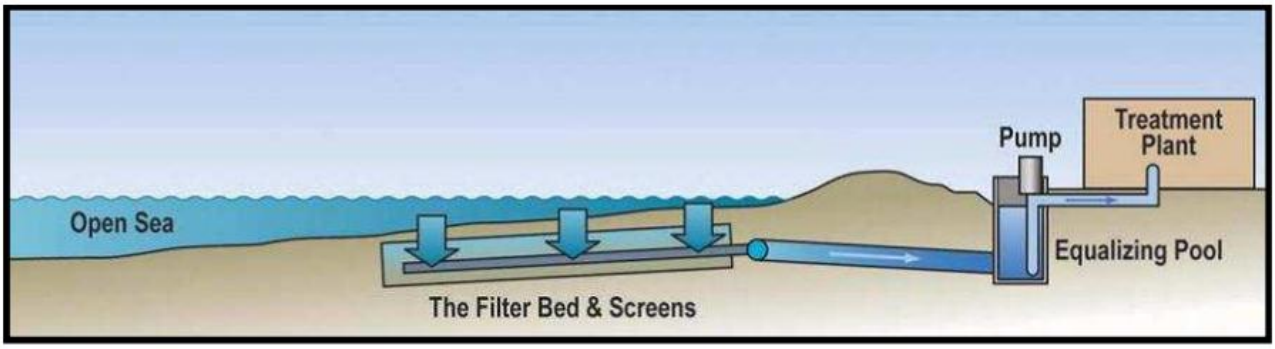
- الكربون العضوي الكلي Total Organic Carbon .
- البروميد Bromide .
- البرومات Bromate .
- البورون Boron .

نماذج لأنشاء المأخذ (حسب طبوغرافية المنطقة) - شكل (4) :



شكل (4)

عمل آبار أفقية مجاورة للشاطىء لتغذية محطة التحلية بالمياه المالحة



Sub-seabed intake via Horizontal Directional Drilling (California American Water, 2004)

شكل (4)

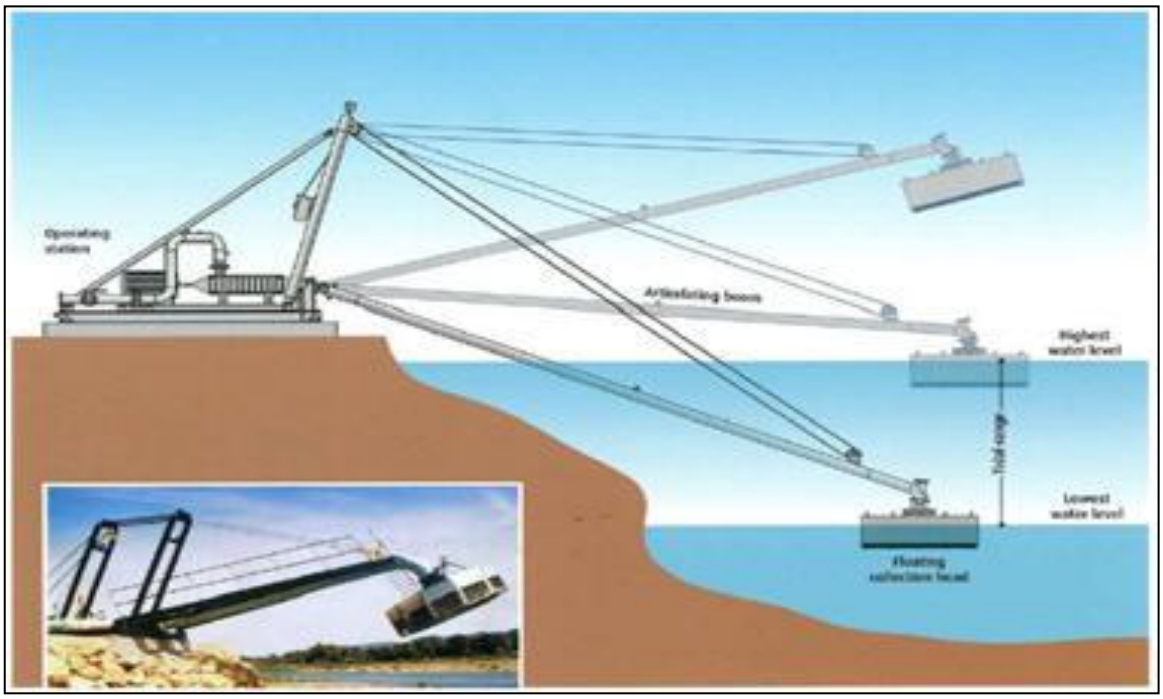
مأخذ منفذ بنفق الحفر الأفقي الموجه Horizontal Directional Drilling لتغذية محطة التحلية بالمياه المالحة

تتلخص هذه العملية فى المراحل التالية :

1 - إزالة المواد الكبيرة وذلك بتمرير المياه من خلال مصافي المأخذ حيث تحجز المواد ذات الحجم الكبير نسبيا . كما يحتوي علي بوابات للتحكم في تدفق المياه الي محطة التحلية . يفضل أنشاء طلمبات المأخذ في مكان مجاور للمأخذ .

2 – ضخ المياه الي خزان المياه المالحة مع إضافة الكلور قبل الخزان وتتبع هذه العملية بضخ الهواء في المياه وذلك لقتل البكتيريا وإزالة أيونات الحديد والمنجنيز .

3 – تضخ المياه المالحة لبدء عمليات التحلية مع تعديل حموضة المياه بعد الخزان وذلك بجعل المياه تميل إلى الوسط القاعدي (وفي بعض المركبات تكون المياه ذات وسط حمضي ضعيف بين الأس الهيدروجيني (5-6.5) وذلك لتهيئتها للتكتل والترسيب .

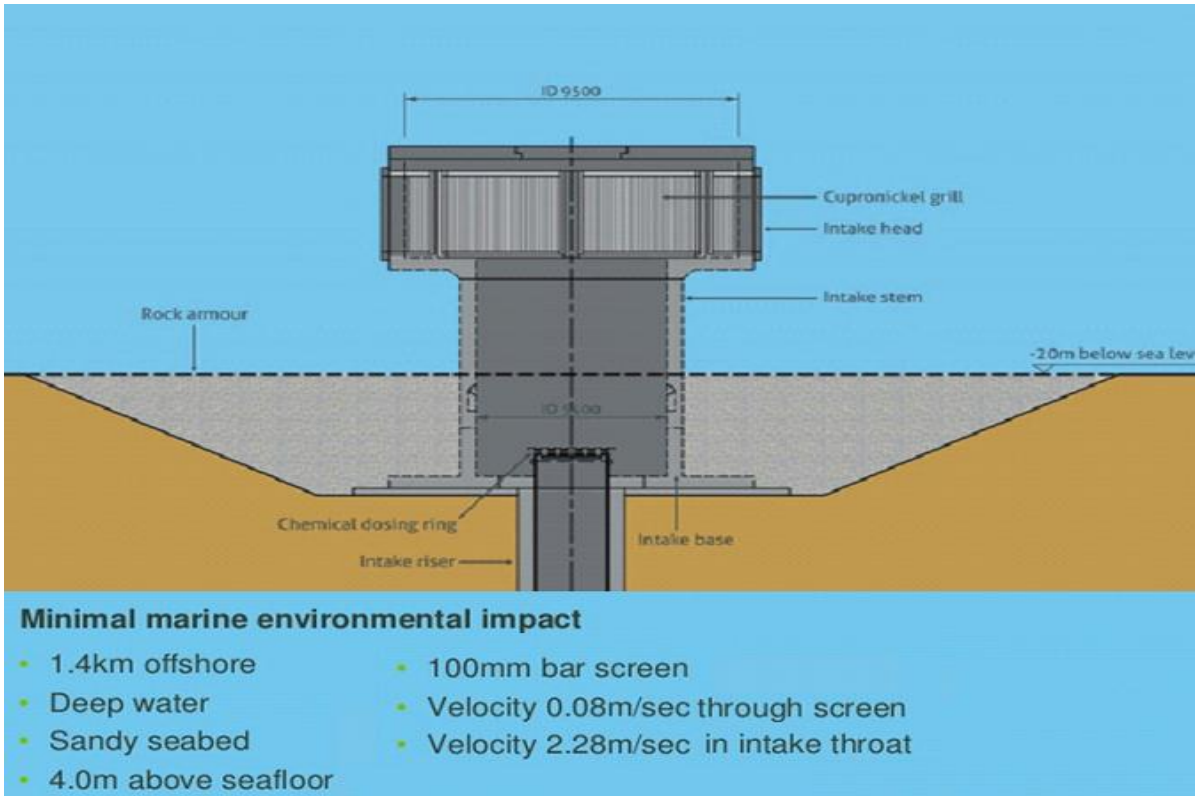


شكل (4)

مأخذ محطة التحلية

شكل (4)

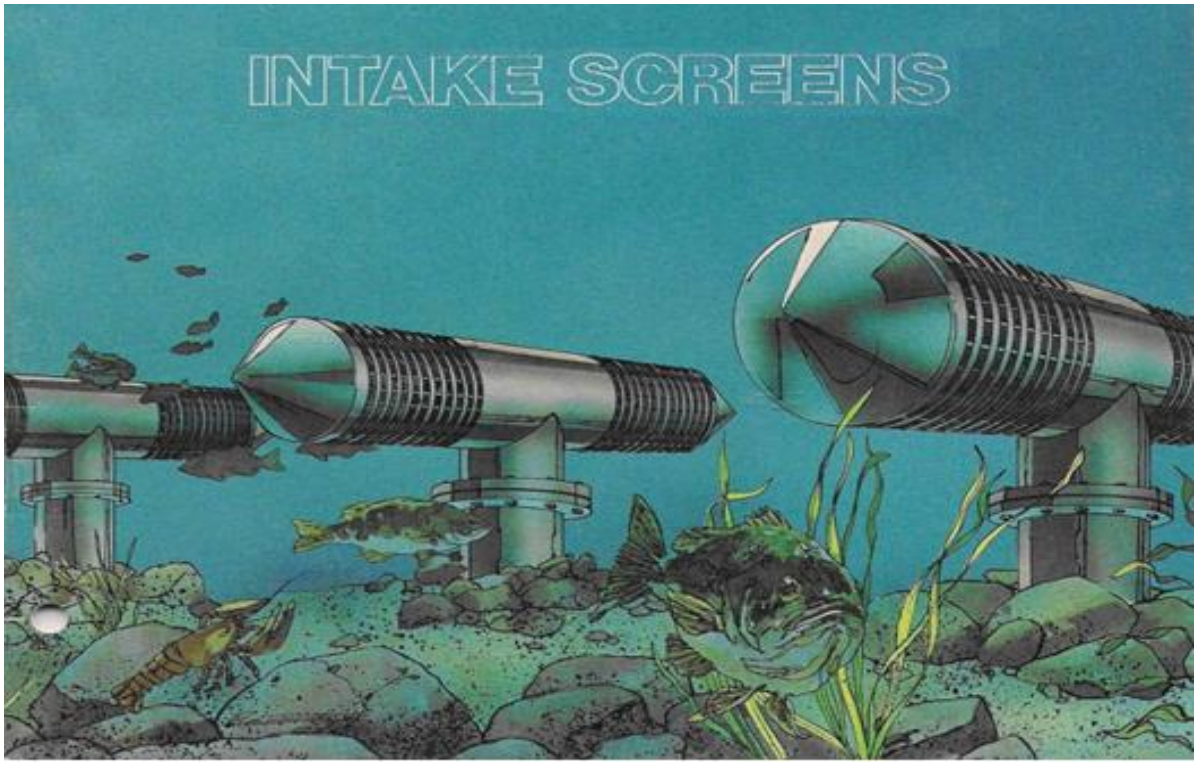
مأخذ شاطىء بحوائط ساندة



Aurecon

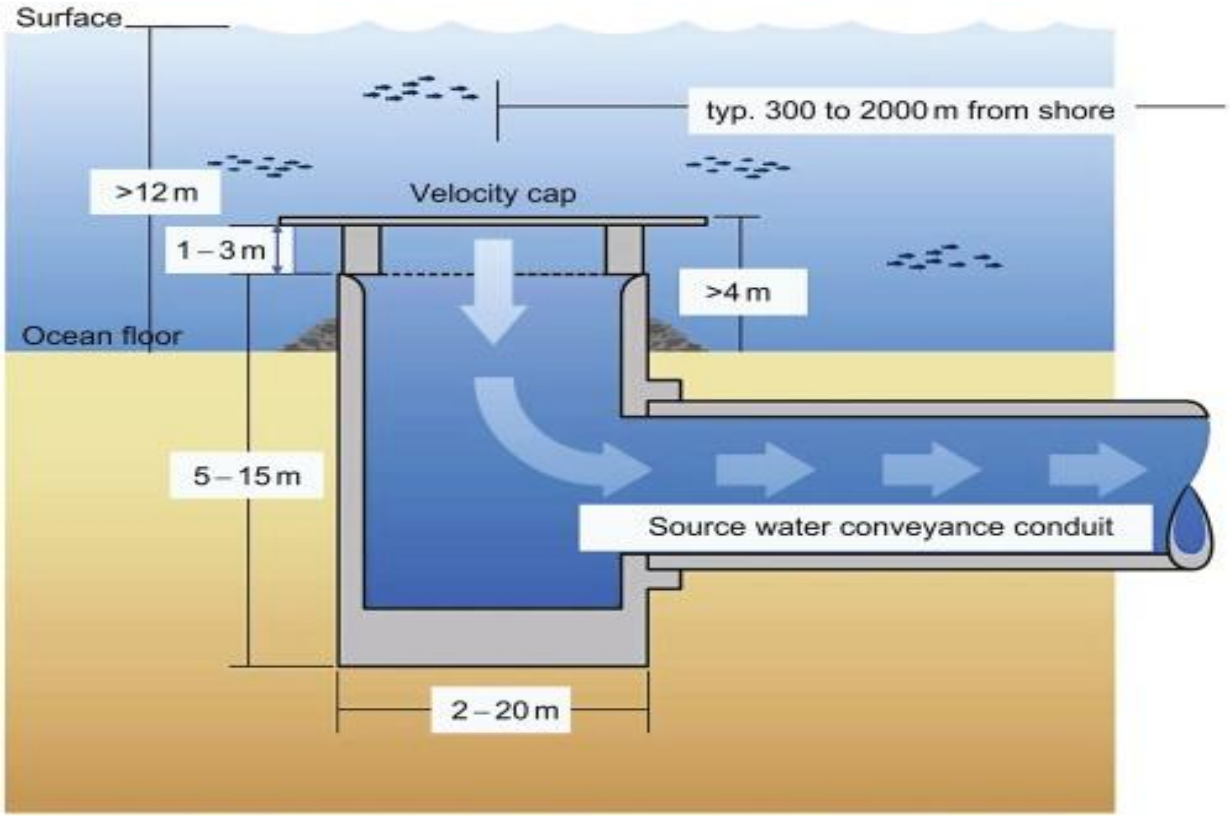
شكل (4)

مأخذ مغمور



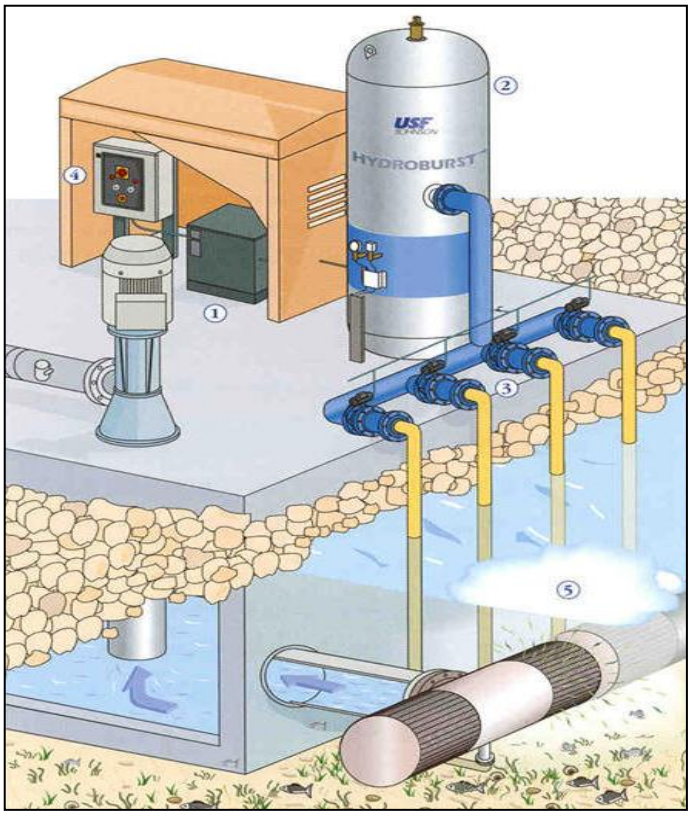
شكل (4)

مآخذ للقنوات والأنهار



شكل (4)

نموذج مأخذ مفتوح لمحطة التحلية Open Intake



شكل (4)

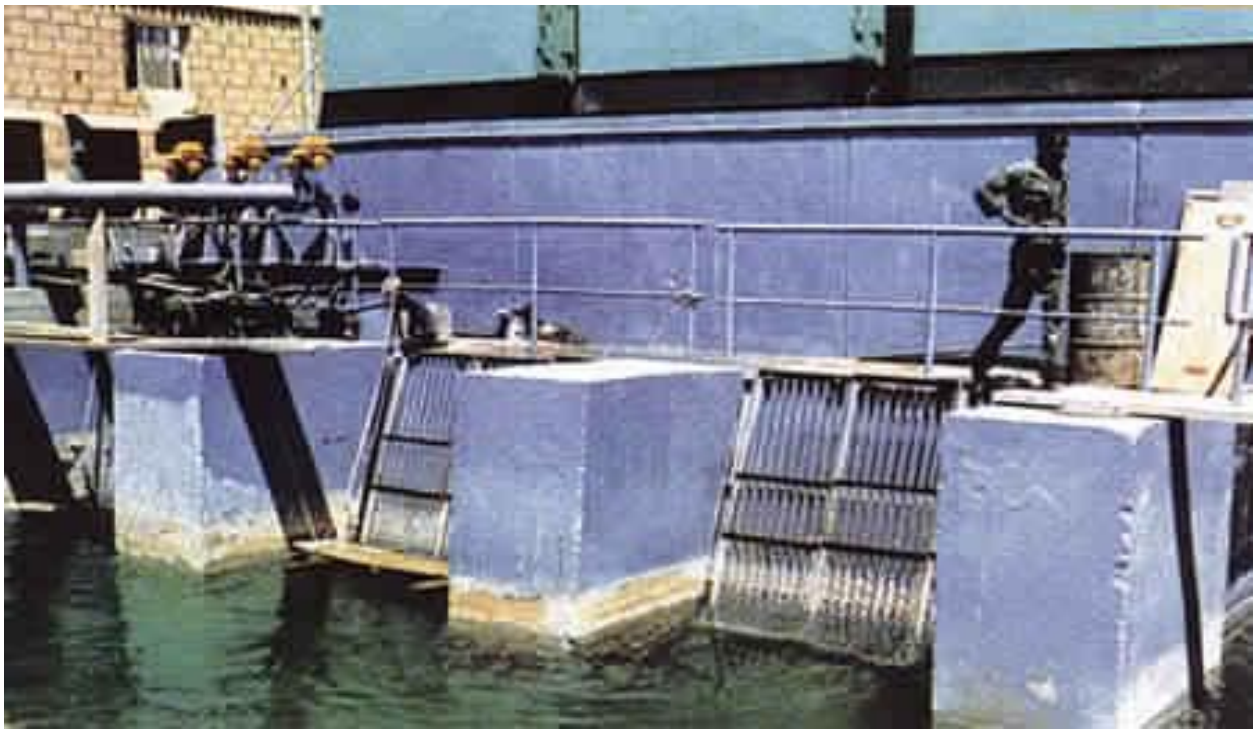
نموذج مأخذ المياه المالحة من البحر

شكل (4)

نموذج مأخذ محطة التحلية من مواسير غاطسة

2 – مصافي المأخذ Screens :

الغرض منها حجز أي مواد طافية من الدخول الي طلمبات المأخذ - شكل (5) :



شكل (5)

مصافي المآخذ لمحطة تحلية

Aqseptence Group

شكل (5)

مصافي المأخذ – مدينة الجبيل Jubail Seawater Intake, Saudi Arabia

3 - أحواض الترسيب بالجاذبية Gravity Sand Filter :

شكل (6) :

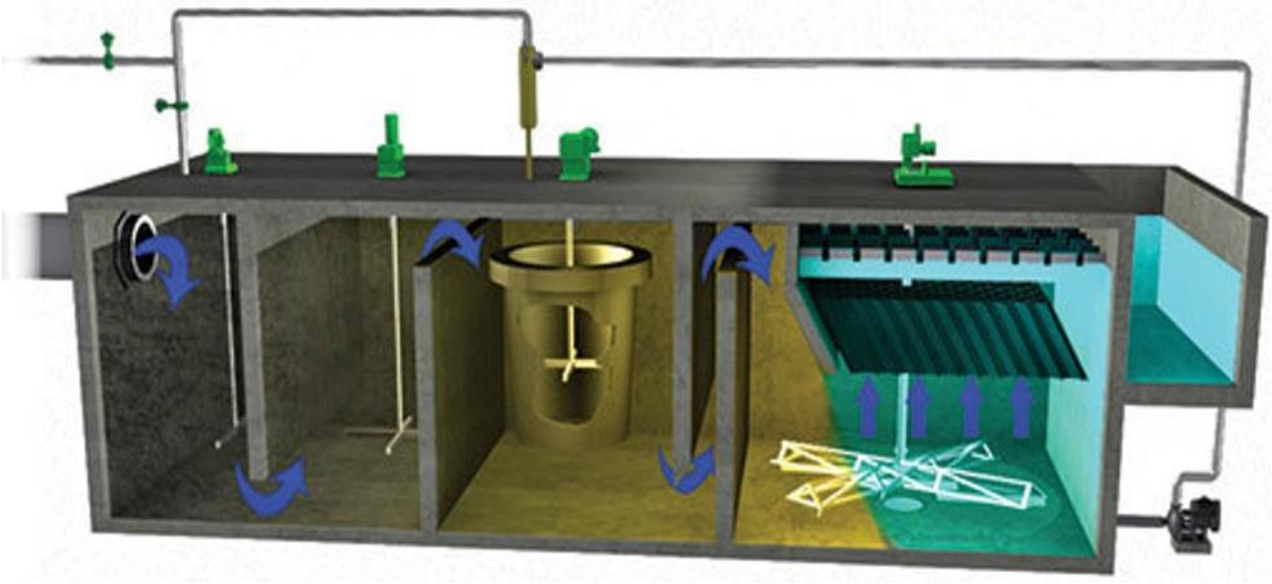
شكل (6)

أحواض الترسيب بالجاذبية Gravity Filtration

Water Treatment Plant in Egypt

شكل (6)

أحواض الترسيب بالجاذبية Gravity Filtration



شكل (6)

حوض الخلط و الترويب والترسيب مزود بالألواح المائلة Flash Mixer Coagulants/Flocculants

شكل (6)

حوض ترسيب دائري بالجاذبية مزود بالألواح المائلة المتوازية Lamella-Clarifiers

4 ـ مرشحات الضغط الرملية متعددة الأوساط Pressure Multimedia Filters:

شكل (7) :

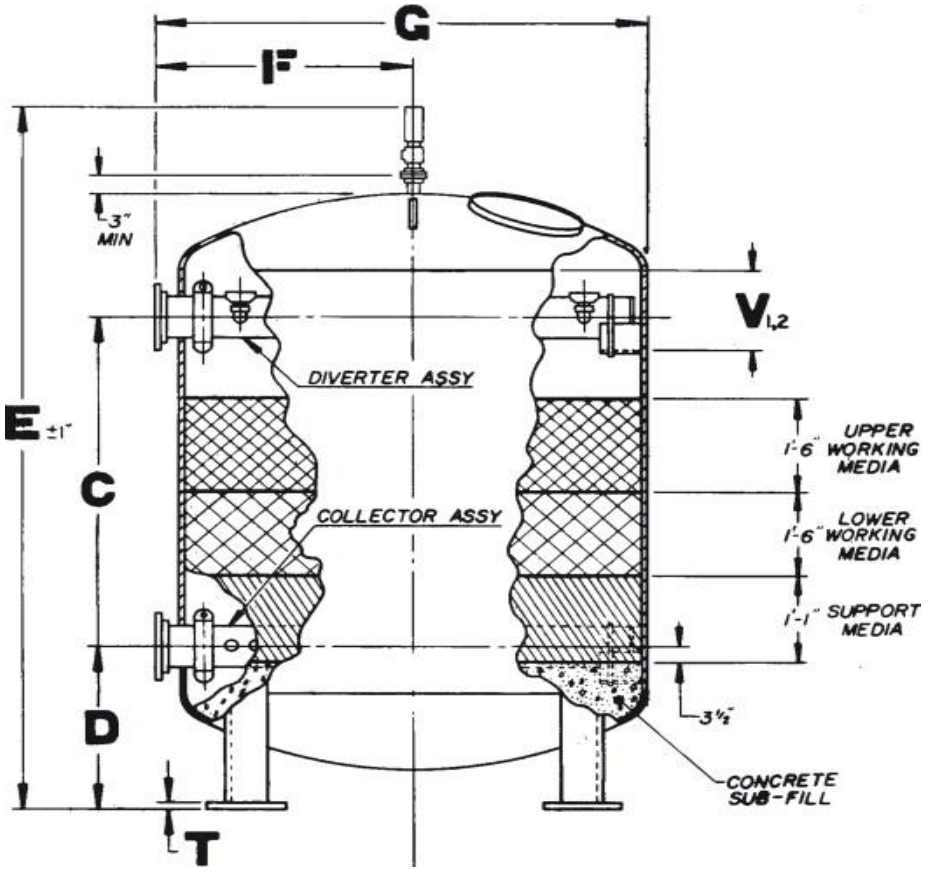
شكل (7)

المرشحات الرملية المضغوطة

Qatar - Halul Island : R.O. Desalination Plant

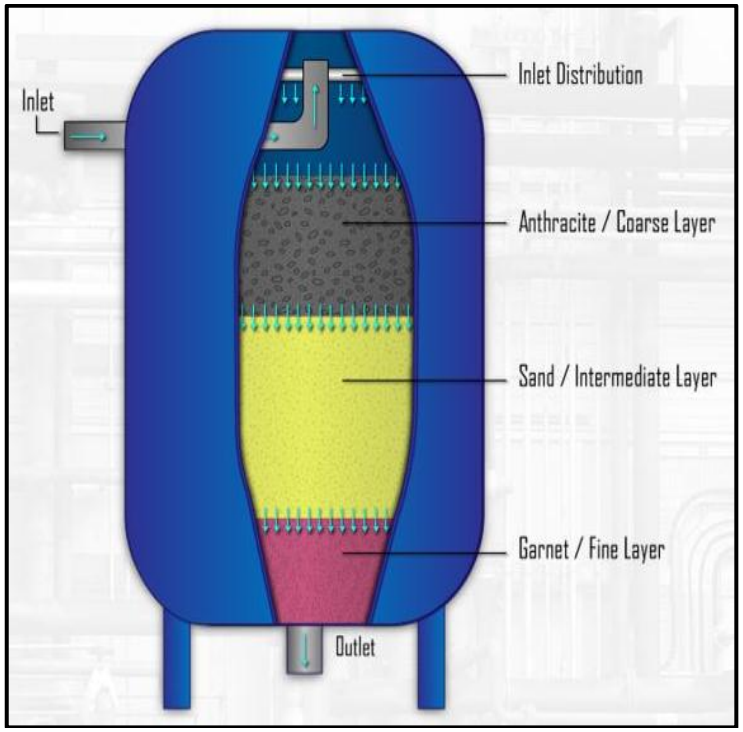
شكل (7)

مرشحات الوسائط المزدوجة Duel Media Filter - يمكن للمحطة توفير المياه الصالحة للشرب إلى 500000 شخص



شكل (7)

تفاصيل المرشح الرملي ذو المعدل السريع Skid-Mounted Bank of Three High-Rate Rapid Sand Filters



شكل (7)

مرشح متعدد الوسائط Typical Industrial Multimedia Filter

مرشحات رمال أو مرشحات ضغط أفقية بوسائط متعددة . يتم استخدام المرشحات الأفقية كتنقية مسبقة Pre-Treatment في محطات التحلية من جميع الأحجام . تعتبر هذه المرشحات مثالية لبيئات مياه البحر حيث أنها مقاومة للتآكل بنسبة 100٪ .

المواصفات :

المرشح مبطن بالمطاط .

الوسائط = رمل الكوارتز / كربون نشط .

معدل التدفق = 5 -200 طن / ساعة .

يعمل تلقائي / يدوي .

نظام تصفية الوسائط المتعددة لمعالجة مياه البحر .

يمكن للفلتر متعدد الوسائط إزالة الجسيمات العالقة ، والغرويات العضوية ، وما إلى ذلك بسبب وظيفة الأدمصاص (الامتزاز) والترشيح لمواد المرشح . بشكل عام ، يتم استخدامه كمعالجة مسبقة من أجل حماية العمليات اللاحقة ، مثل UF أو RO أو نظام التبادل الأيوني.

يمكن ملء مرشح الوسائط المتعددة بمجموعة متنوعة من مواد المرشح (رمل الكوارتز ، والأنتراسيت ، والكربون المنشط ، ورمل المنغنيز ، وما إلى ذلك) ، أو مجموعة متنوعة من المرشح الفردي المتصل في سلسلة. يمكنها إزالة الشوائب المختلفة في الماء وتلبية متطلبات الجزء الخلفي من النظام. يتم التحكم في العملية الكاملة لجمع المياه والتنظيف بواسطة PLC و Timer لتجنب المشاكل التي يسببها الأشخاص مثل تسرب الرمل.

المميزات :

1) خيار الوسائط : رمل الكوارتز ، أنثراسايت ، الكربون المنشط ، رمل المنجنيز.

2) إزالة الجسيمات العالقة والغروانية العضوية والكلور.

3) هيكل معقول ومراقبة موثوقة Reasonable Structure and Reliable Control.

4) PLC للتحكم في عملية جمع وتنظيف المياه .

5) المعالجة المسبقة لنظام UF و RO ونظام التبادل الأيوني .

6) إزالة الملوثات بما فيها الحديد والمنجنيز والزرنيخ والفلورايد.

من خلال غشاء التناضح العكسي ، يمكن إزالة حوالي 98٪ من الأملاح الذائبة من الماء الخام ، مما ينتج مياه عالية النقاء .

5 - فلتر الخرطوشة (الشمعة) Catridge Filter :

أنوكو Inoco خرطوشة تصفية متعددة، وهو مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ ، ويستخدم على نطاق واسع في التطبيقات يتم تصفية و تنقية المياه الخام من خلال خرطوشة فلتر، والجسيمات في المياه الخام – شكل (8) .

غشاء يستخدم التكنولوجيا و معدات الإنتاج الأكثر تقدما لتوفير أنواع مختلفة من الأداء العالي، عالية الجودة مايكرو نظام الترشيح غشاء يسهل اختراقها للعملاء في جميع أنحاء العالم.

دقة التصفية : 0.003 ميكرون ~ 100 ميكرون .

خرطوشة المواد : القطن الطبيعي، البوليستر، البولي بروبيلين، النايلون، الفولاذ المقاوم للصدأ . يجب استبدال عنصر الفلتر عندما يكون معدل تدفق الترشيح أقل بنسبة 30٪ من المرحلة الأولية.

شكل (8)

فلتر الخرطوشة الداخلي

شكل (8)

فلتر الخرطوشة Catridge Filter

6 - المرشحات الترابية الدياتومية Diatomaceous Earth Filters :

تعمل المرشحات الترابية الدياتومية علي فصل المواد الصلبة عن السوائل عن طريق إجبار السائل على التدفق عبر وسط مرشح مسامي وحجز المواد الصلبة على وسط الترشيح . تضاف مادة مساعدة للمياه بحيث عند إضافتها إلى السائل المراد ترشيحه تساعد على التحكم في التدفق وإزالة المواد الصلبة – شكل (9).

7 - كلورة مياه البحر Seawater Chlorination في المعالجة المسبقة :

تحتوي المياه السطحية على العديد من الكائنات الحية الدقيقة ، والبكتيريا ، والطفيليات ، والتي من شأنها أن تساهم في عمل طبقة رقيقة على سطح الغشاء عبارة عن مستعمرة بكتيرية تنمو على سطح الغشاء حيث يتوفر مصدر كربوني ومغذيات. قتل البكتيريا والكائنات الحية الدقيقة قبل دخول الأغشية سيمنع التلوث الحيوي.

تبلغ جرعة الكلور النموذجية حوالي 3 ملغم / لتر من الكلور النشط . يتم حقن الغاز عن طريق جرعات هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) للمحطات الصغيرة أو غاز الكلور (Cl2) للمحطات متوسطة الحجم.

تستخدم محطات التحلية الكبيرة الحجم كلورة كهربائية لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) من فائض ملح كلوريد الصوديوم (NaCl) الموجود في مياه البحر عند حوالي 30 إلى 40 جم / لتر :

$NaOCl + H_2$ <- التيار المباشر + $NaCl + H_2O$

يجب تصحيح الرقم الهيدروجيني حوالي 7.5 للحصول على أفضل تطهير للكلور.

شكل (9)

مرشحات ترابية دياتومية تعمل بتفريغ الهواء Seawater Desalination Vacuum Diatomaceous Earth Filters

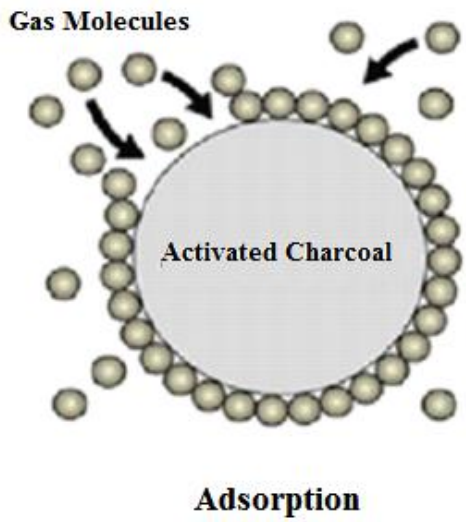
8 - أدمصاص الكربون Activated Carbon Adsorption.

يعتبر الكربون النشط من أحسن المواد في عملية المعالجة المتقدمة لأدمصاص المواد العضوية بالإضافة الي المركبات غير العضوية مثل النتروجين و الكبريتيد و المعادن الثقيلة .

تستخدم حبيبات الكربون المنشط في معالجة مياه الصرف كعملية ثلاثية بعد المعالجة الثنائية البيولوجية لإزالة المتبقي من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي بالإضافة إلي المواد الصلبة العالقة وتنقية الماء من الملوثات العوالق الصلبة والألوان والروائح الغير مرغوب فيها ، وكذلك المواد العضوية غير القابلة للتحلل البيولوجي (Refractory) والمركبات غير العضوية مثل النيتروجين والكبريتيدات (Sulphides) والمعادن الثقيلة المتبقية وذلك في حالة المعالجة بالكيماويات لمياه الصرف حيث يزال كذلك المواد العضوية المتبقية في حالة استخدام بودرة الكربون المنشط فإنه يتم إضافتها في مرحلة المعالجة البيولوجية الثانية حيث تزال في أحواض الترسيب ولا يعاد استخدامها. حيث يقوم الكربون المنشط بعملية جذب الجزيئات والملوثات على سطحه ويباعد بينها وبين الماء فتتم عملية التنقية بكل سهولة – شكل (10).

يستخدم الكربون لأزالة أنواع معينة من الملوثات العضوية و التي لم يمكن أزالتها باستخدام طرق المعالجة الأبتدائية أو الثانوية و تشمل المركبات العضوية السامة والملوثات المقاومة للمعالجه البيولوجية مثل الأحماض العضوية – الألدهايد – الكحوليات – الجيليكول 00 . يكون الكربون النشط علي شكل حبيبات أو علي شكل البودرة . تستخدم أعمدة الكربون أيضا في أزالة المواد العضوية المتطايره . تتم عملية تنشيط الكربون بتمرير تيار من البخار خلاله أو عن طريق تسخينه في أفران و ينتج مركبات

عضوية متطايرة يجب التخلص منها بالطرق السليمة . ويستخدم الكربون المنشط لادمصاص المواد العضوية وكذلك يستخدم عادة لعلاج غاز النفايات (النفايات والمياه). فهو يعد من الممتزات الأكثر استعمالا.



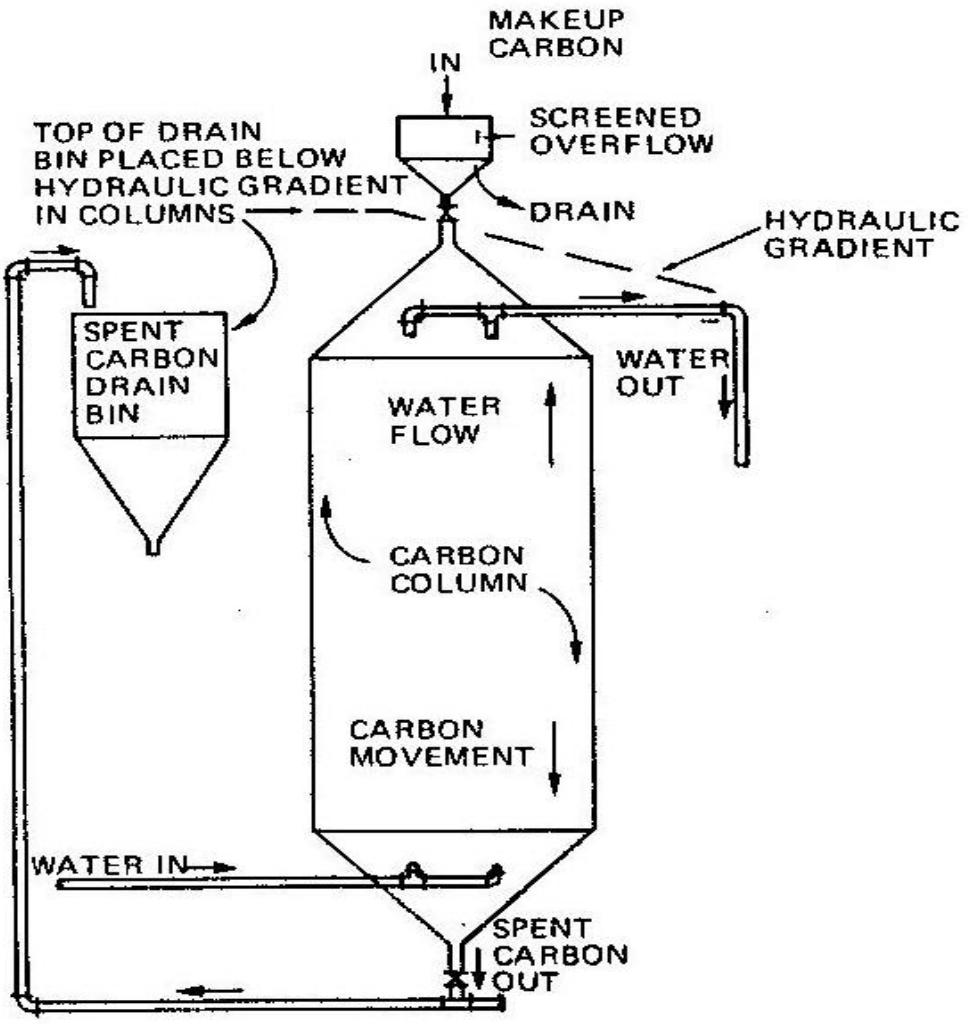
شكل (10)

الكربون المنشط لمياه التحلية ـ للتخلص من الملوثات العضوية السامة Activated Carbon

وصف العملية :

عند التصاق الكربون المنشط مع المياه المحتوية علي مادة عضوية فإنه يزيل هذه المادة وذلك بإدمصاص الجزئيات ذات الاستقطاب (التأين) المنخفض ، والترشيح للأجسام الكبيرة والحجز الجزئي للمادة الهلامية علي السطح الخارجي للكربون المنشط إزالة المواد العضوية بالإدمصاص يعتمد علي التسرب إلي ثقوب إدمصاص الكربون خلال السطح الخارجي حقيقية أن الكربون المنشط له ساحة سطحية عالية النشاط وكبيرة مقارنة بوحدة الوزن بما يجعله مادة إدمصاص ذات كفاءة عالية المساحة السطحية الكبيرة والنشاط لهذا السطح هو نتيجة لعملية التنشيط التي تنتج ثقوب كثيرة خلال حبيبة الكربون مع خلق مواقع نشطة علي أسطح هذه الثقوب طاقة الإدمصاص للكربون المنشط يحدث لها تشبع عند امتلاء المسام المنشطة حيث يعتبر الكربون أنه استنفذ ويلزم تنشيطه – شكل (11).

تعد وصلات WesTech من الكربون المنشط الحبيبي (GAC) وسيلة فعالة لإزالة الملوثات ذات الوزن الجزيئي المختلفة من المحاليل المائية. وهي مناسبة بشكل خاص لإزالة المركبات العضوية الذائبة المسؤولة عن سوء الطعم والرائحة في مياه الشرب ، وكذلك إزالة الكلور من المياه الصناعية.



Carbon transfer with up-flow column in service.

WesTech Engineering

شكل (11)

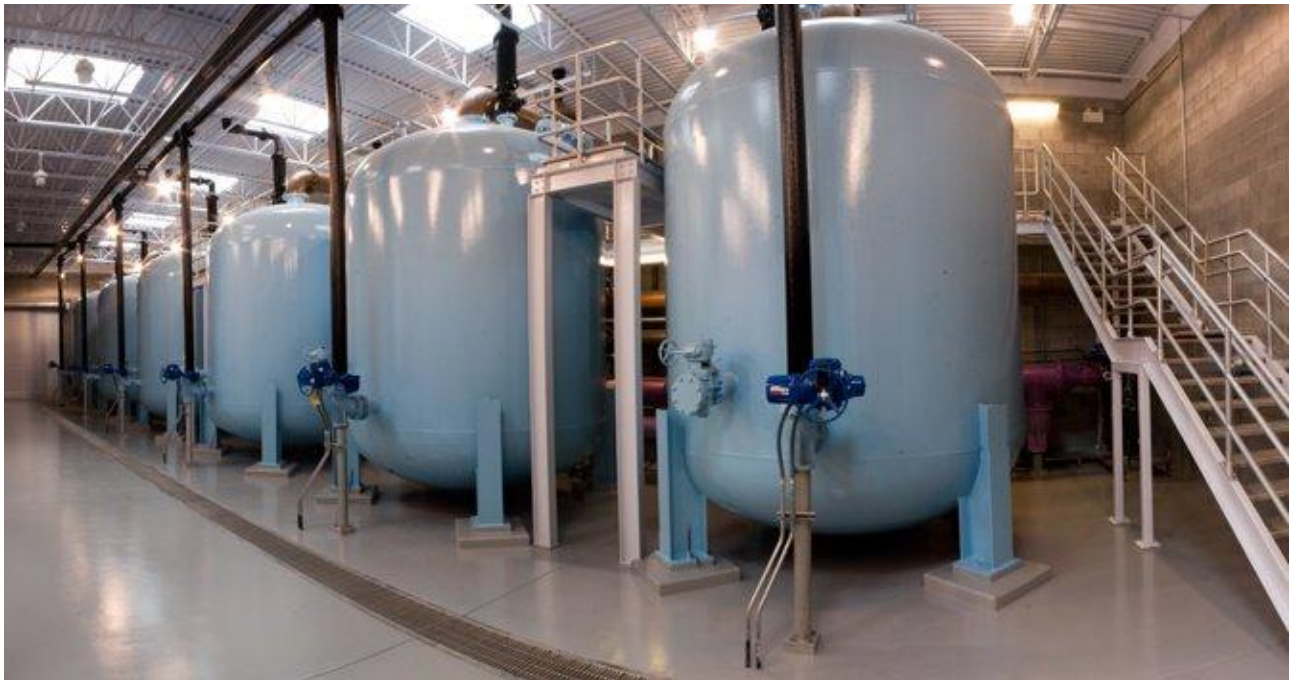
أعمدة الكربون المنشط لمياه الصرف ـ للتخلص من الملوثات العضوية السامة Activated Carbon

<u>يتم تنشيط الكربون بالطرق الآتية :</u>

1 – استخدام مواد حامضيه أو قلوية أو مذيبة للشوائب التي تم حجزها علي سطح الكربون . يمرر المحلول أو المذيب عكس أتجاه سريان المياه أثناء التشغيل العادي . بعد انتهاء عملية التنشيط يتم تصريف المحلول المتبقي ثم تنظيف الكربون بالمياه ويعاد استعماله.

2 ـ استخدام ماده مؤكسده رطبة لتنشيط الكربون .

3 ـ التنشيط الحراري بالبخار أو التسخين .



WesTech - Granular Activated Carbon

شكل (11)

حاويات الكربون المنشط

وجدير بالذكر أن حوالي 5 – 10 % من كمية الكربون تتلف و تدمر أثناء عملية التنشيط و يجب تعويضها بكربون منشط جديد خام . يعتبر الكربون المنشط على درجة عالية من المسامية ، صلب وغير متبلور يتكون من كريستالات جوهرية مع شعرية الجرافيت، وعادة ما أعد في حبيبات صغيرة أو مسحوق. فهى تعتبر رخيصة وغير نادرة. ولكن من العوائق الرئيسية أنها قابلة للاشتعال . والكربون المنشط يمكن أن يكون مصنوع من مواد كربونية ، بما في ذلك الفحم ،البيتومين، السابيتومينوس، والليجنيت ، الجفت، والخشب، أو القشور (على سبيل المثال جوز الهند). وتتكون العملية من مرحلتين ، الكربنة والتنشيط . وتشمل عملية الكربنة التجفيف ثم التدفئة لفصل المنتجات الثانوية، بما في ذلك القطران وغيره من المواد الخام الهيدروكربونية ، وكذلك لإبعاد أي غازات متولدة. يتم الانتهاء من عملية الكربنة عندما يتم تسخين المادة من 400 الي600 درجة مئوية في جو نقص الأكسجين الذي لا يستطيع دعم الاحتراق. يعتبر الكربون النشط من أحسن المواد في عملية المعالجة المتقدمة لأدمصاص المواد العضوية بالإضافة الي المركبات غير العضوية مثل النتروجين و الكبريتيدات و المعادن الثقيلة .

يستخدم الكربون لأزاله أنواع معينة من الملوثات العضوية و التي لم يمكن أزالتها باستخدام طرق المعالجة الابتدائية أو الثانوية و تشمل المركبات العضوية السامة والملوثات المقاومة للمعالجة البيولوجية مثل الأحماض العضوية – الألدهايد – الكحوليات – الجيليكول 00 . يكون الكربون النشط علي شكل حبيبات أو علي شكل البودرة .

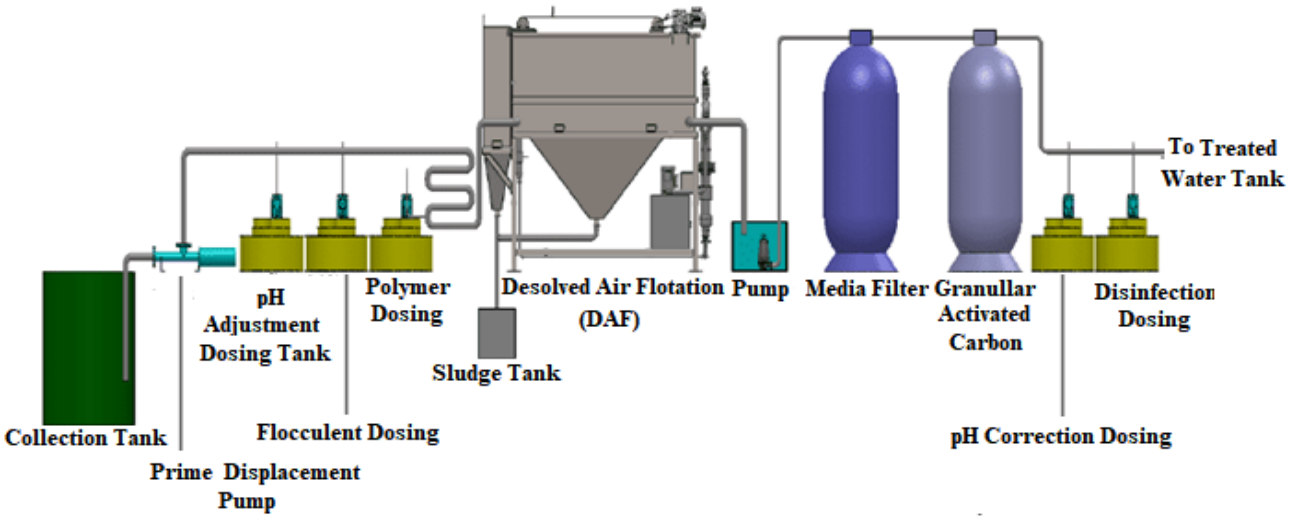
9 - وحدة أزالة المواد العالقة و الزيوت بالتعويم باستخدام الهواء الذائب (DAF):

تستخدم وحدة التعويم باستخدام الهواء الذائب (DAF) لإزالة المواد العالقة الدقيقة والزيوت والشحوم وبالتالى تقليل الحمل العضوى بالمياه وحماية لأغشية التحلية. تمر المخلفات السائلة أولاً فى مصفاة بغرض حجز المواد الصلبة الطافية ثم تدخل إلى مصيدة زيوت لإزالة الزيوت الحرة، ويتم إجراء خطوة الترويق قبل إدخال المياه خزان المعادلة (التجميع) والذى يهدف إلى التحكم فى تغيرات مواصفات مياه الصرف . كما تستخدم المعالجة الفيزيائية الأولية لتقليل الحمل العضوي الناتج من وجود نسبة مرتفعة من المواد الصلبة العالقة والزيوت والشحوم وذلك قبل إجرء المعالجة الكيميائية، وغالباً ما تكون هذه الخطوة الأولية عبارة عن فاصل إلزالة المواد الغير الذائبة والغير ممتزجة من مياه الصرف . وتمر المخلفات السائلة أولًا في مصفاة بغرض

حجز مواد الردم والهدم ثم تدخل إلى مصيدة زيوت إلزالة الزيوت الحرة، وغالبا ما تكون الخطوة الأولى في المعالجة هي الترويق و إزالة العكارة والمواد الطافية والراسبة وذلك لأن وجود هذه الملوثات يؤثر على عملية المعالجة ويحد منها مما قد يسد سطح الغشاء ويتم إجراء خطوة الترويق قبل إدخال المياه خزان المعادلة (التجميع) والذى يهدف إلى التحكم في تغيرات مواصفات مياه الصرف .و في المعالجة الكيميائية يتم إضافة الكيماويات المروبة ويتم خلطهم ميكانيكيا وذلك بغرض تكوين ندف هلامية (Flocs) و التي يمكن بعد ذلك ترسيبها باستخدام حوض الترويق الابتدائى .

نظام الطفو الهوائى المذاب (DAF) :

وهي طريقة فيزيو كيميائية وذلك لإزالة المواد العالقة والزيوت والشحوم وبالتالى تقليل الحمل العضوى. في هذا النظام يتم ملامسة الهواء لمياه الصرف تحت ضغط عال مما يؤدى إلى إذابة الهواء . ويتم خفض الضغط على سطح المياه من خلال صمام ضغط خلفي ينتج عنه فقاقيع هواء على سطح الوحدة في حجم الميكرون تزيل المواد العالقة والزيوت من مجرى المياه الملوثة. يتم كشط الرغوة من سطح المياه بعد المعالجة . تشمل العمليات معالجة الصرف الناتج من وحدات فصل الزيوت (API) الموجودة في صناعات عادة تكرير البترول والصرف الناتج عن الصناعات المعدنية وصناعات الورق وتجهيز الدواجن واستخدام الزيوت في صناعات تعليب اللحوم والبطاطس النصف مقلية وبعض صناعات منتجات الألبان. ومن الاستخدامات الهامة أيضا تثخين الحمأة . هذه الوحدات غالبا تخفض نسبة الزيوت إلى 1 ملليجم/لتر أو أقل وربما يحتاج الهواء المنبعث إلى معالجة في وحدة تحكم خارجية. ويتراوح معدل الصرف لوحدات الـ DAF في الغالب من 1100 إلى 1000 جالون/يوم/قدم ، ومن الصور الأخرى لوحدات الـ DAF هو وحدة طفو الهواء المذاب DAF وهي تستخدم عادة في حقول البترول ولمعالجة مياه الصابورة للسفن والناقلات البحرية. ورغم أن هذه الوحدات تستعمل في الصناعات الكيميائية ومعامل التكرير . تعمل الوحدة على التغذية بواسطة البوليمر وتحتوي عادة على أربعة مضارب على شكل مضرب البيض لعمل رغاوي من أجل تسهيل عملية الطفو. وتستهلك الوحدة كميات كبيرة من الطاقة ولكنها تتطلب مساحة أقل بكثير من وحدات الـ DAF ، وبذلك تعتبر في نفس مستوى الكفاءة . ومن هذا المنطلق تستخدم وحدة الـ DAF بعد المعالجة الكيميائية للزيوت المستحلبة أو للترويق وتركيز المعلقات . مخطط المعالجة باستخدام الطفو بالهواء المذاب – شكل (12) .



شكل (12)

مخطط المعالجة باستخدام الطفو بالهواء المذاب

أضافة مرسبات كيماوية للمياه لتحسين عملية الطفو :

- أملاح الألومنيوم Aluminum Salt .

- أملاح الحديد Ferric Salts .
- السيلكا النشطة Activated Silica .
- البوليمرات العضوية Organic Polymers .

المعالجة بجهاز الطفو بالهواء المذاب :

** تمرير المخلفات السائلة أولاً فى مصفاة بغرض حجز مواد الصلبة .

** الترويق لإزالة العكارة والمواد الطافية والراسبة وذلك لأن وجود هذه الملوثات يؤثر على عملية المعالجة ويحد منها. يتم إضافة الكيماويات المروبة وخلطها ميكانيكيا لتكوين ندف هلامية (Flocs) والتي يمكن بعد ذلك ترسيبها باستخدام حوض الترويق الأولى. يمكن في حوض الترويق كشط وأزاله الزيوت والشحوم الطافية. معالجة مياه الصرف بنظام Dissolved Air Floatation – شكل (13).

المميزات :

1 - يمنح نوعية ممتازة من المياه المصفاة باستخدام طبقة ترشيح مزدوجة الوسائط مع الرمل الناعم.

2 - يقبل مدخل المياهٍ بتركيز عالٍ يصل إلى 150 مجم / لتر.

3 - يتم ترويق المياه بواسطة DAF ووسائط فلتر التصفية العكسية بشكل مستمر في نفس الوقت.

4 - لا يتطلب أي خزانات خارجية للمياه النظيفة أو تخزين مياه الغسيل العكسي والمعالجة الإضافية - يتم توفير مياه الغسيل العكسي داخليًا ومعالجة مياه الغسيل العكسي داخليًا.

شكل (13)

حوض التعويم بالهواء المذاب الدائري و تعويم النتروجين المذاب Dissolved Air Flotation Clarifier

Dissolved Air Flotation (DAF) and Dissolved Nitrogen Flotation (DNF) , Tank with 400 mm Water Depth

5 - يحتوي على منفذ واحد فقط للحمأة - تتم إزالة حمأة الغسيل العكسي لوسائط التصفية وتركيزها عن طريق التعويم بنسبة تصل إلى 1٪ كحد أدنى . تبدأ عملية الطفو باستخدام وحدة التعويم باستخدام الهواء الذائب (DAF) كطريقة فيزيو كيميائية ، بحقن الهواء أولا في مياه صرف مضغوطة ثم أحداث خلخلة لكتلة المياه المضغوطة ثم أزاله هذا الضغط مما ينتج فقاعات

هوائية صغيرة تختلط بالمياه لإزالة المواد العالقة والزيوت والشحوم وبالتالى تقليل الحمل العضوى. تمكث الخلخلة فترة صغيرة من الوقت (بضع دقائق) حتي تختلط الفقاعات الصغيرة بماء الصرف و تبدأ في التجاذب مع الجزيئات العالقة حيث تساعد علي طفو هذه الجزيئات . يتم كشط الرواسب الطافية علي السطح أولا بأول . ويتم التعامل مع الجزيئات الصغيرة جدا والتي لها سرعة ترسب بطيئة جدا ولهذا تكون عملية الطفو أكثر فاعلية من عملية الترسيب وبالتالى تقليل الحمل العضوى . يستخدم خزان أسطواني مغلق يكون تحت خلخلة الهواء ، يغذي الخزان بمياه الصرف باستمرار . ومن الاستخدامات الهامة أيضا لهذا الجهاز في تركيز الحمأة . هذه الوحدات غالبا تخفض نسبة الزيوت إلى 5 ملجم/لتر أو أقل وربما يحتاج الهواء المنبعث إلى معالجة فى وحدة تحكم خارجية. ويتراوح معدل الصرف لوحدات الـ DAF في الغالب من 1500 إلى 3000 جالون/يوم/قدم2 وزمن الاستبقاء من 30-40 دقيقة. مروق (DAF) بالتعويم بالهواء المذاب :

شكل (13)

حوض الطفو بالهواء المذاب الأفقي Horizontal Dissolved Air Flotation System, (DAF)

10 - وحدة تيسير المياه فى محطات المعالجة : Softener Water Treatment Plant

تيسير الماء Water Softening هو تقليل تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم والأيونات الأخرى في الماء العسر Hard Water. تعتمد محطة تنقية المياه على طريقة التبادل الأيوني وتضمن تنقية كاملة للمياه.. يتم استخدام محطة تنقية المياه على نطاق واسع لتقليل عسر Hardness المياه عن طريق تنقيتها من خلال عملية تليين متقدمة تقنيًا.

ميسر المياه Water Softener هو نظام ترشيح شامل يعمل على إزالة معادن الكالسيوم والمغنيسيوم المسببة للعسر من المياه من خلال عملية تسمى التبادل الأيوني. ، كلما ارتفعت درجة حرارة الماء ، زاد تماسك الكالسيوم والمغنيسيوم وتحويلهما إلى رواسب صلبة داخل سخان الماء الساخن.

هذه الأجهزة - شكل (14) تسمى أيضًا وحدات التبادل الأيوني ، و هي أجهزة تزيل الكالسيوم والمغنيسيوم والمعادن الأخرى من مياه الشرب. تحبس حبيبات الراتينج داخل المطهر الكالسيوم والمغنيسيوم وتستبدلهما بالصوديوم أو البوتاسيوم.

يعمل الماء العسر أيضًا على إطالة عمر السباكة عن طريق تقليل تراكم الترسبات في الأنابيب والتجهيزات أو القضاء عليه. عادة ما يتم تحقيق تليين المياه باستخدام تليين الجير أو راتنجات التبادل الأيوني – شكل (15) .

شكل (14)

وحدة تيسير الماء داخل محطة المعالجة Softener Water Treatment Plant

شكل (15)

ترسبات الكالسيوم داخل المواسير

لا توجد مخاوف صحية من شرب الماء العسر الغني بالمعادن الذائبة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم. في الحقيقة ، كميات صغيرة من هذه المعادن ضرورية للصحة. ولكن عند المستويات المرتفعة ، يقلل الماء العسر أيضًا من قدرة الصابون على الرغوة .

تقنيات تحليـــة مياه البحار
Seawater Desalination Technologies

تقنيات تتحلية مياه البحر Seawater Desalination Methods - جدول (4) :

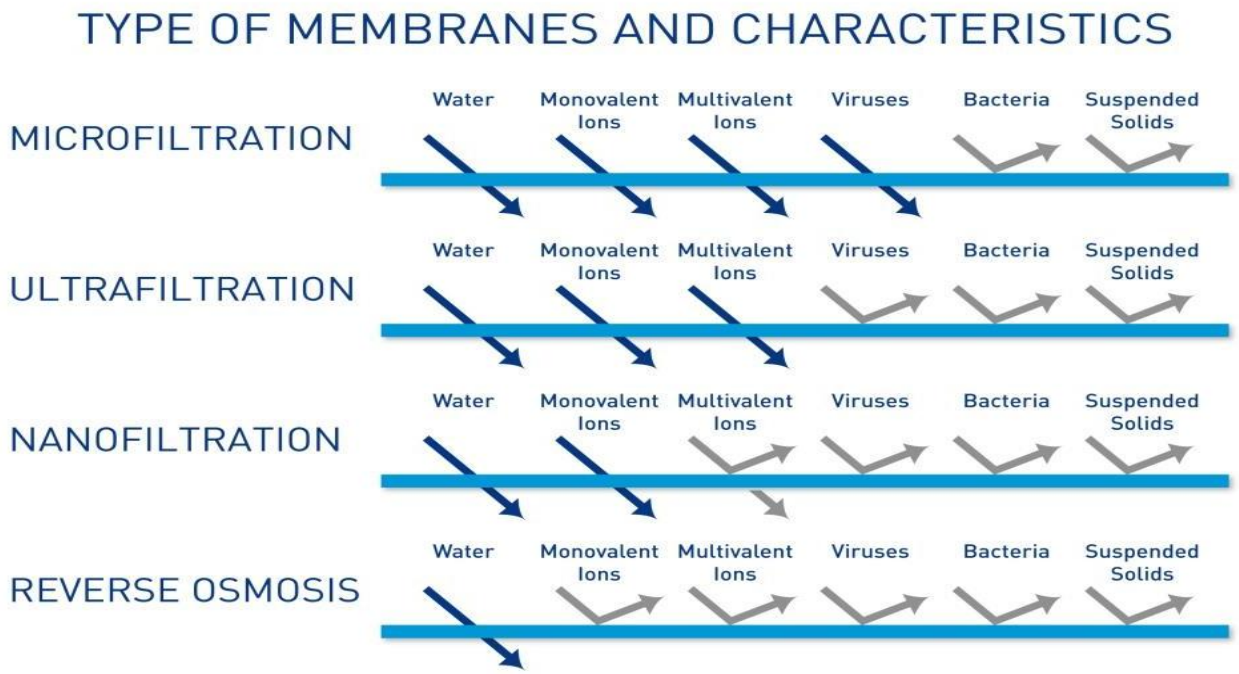
جدول (4)

طرق تتحلية مياه البحر Seawater Desalination Methods

Membrane processes :	**طرق الترشيح خلال الأغشية :**
1. Reverse osmosis (RO)	1 - نظام التحلية بواسطة الأغشية (التناضح العكسي) .
2. Electro dialysis reversal (EDR)	2 - نظام التحلية بواسطة الأقطاب الكهربائية .
3. Membrane distillation (MD)	3 - التقطير بالأغشية Membrane Distillation (MD)
4. Nano filtration (NF)	4 - الترشيح بطريقة النانو Nano Filtration (NF) .
5. Forward osmosis (FO)	5 - التناضح الي الأمام Forward Osmosis (FO) .
6. Electro Dialysis (ED).	6 - الأقطاب الكهربائية Electro Dialysis (ED).
Distillation Processes :	**طرق الترشيح بالتقطير :**
Multi-stage flash distillation (MSF)	التقطير الومضي متعدد المراحل .
Multiple-effect distillation (MED)	التقطير مزدوج التأثير .
Vapor-compression (VVC)	مخطط عملية التنقية بطريقة تضاغط البخار بالتفريغ (VVC)
Solar desalination	التحلية بالطاقة الشمسية .
Freezing desalination	تحلية المياه بالتجميد .
Nuclar Energy desalination	التحلية بالطاقة النووية .
Geothermal desalination	تحلية المياه بالحرارة الأرضية .

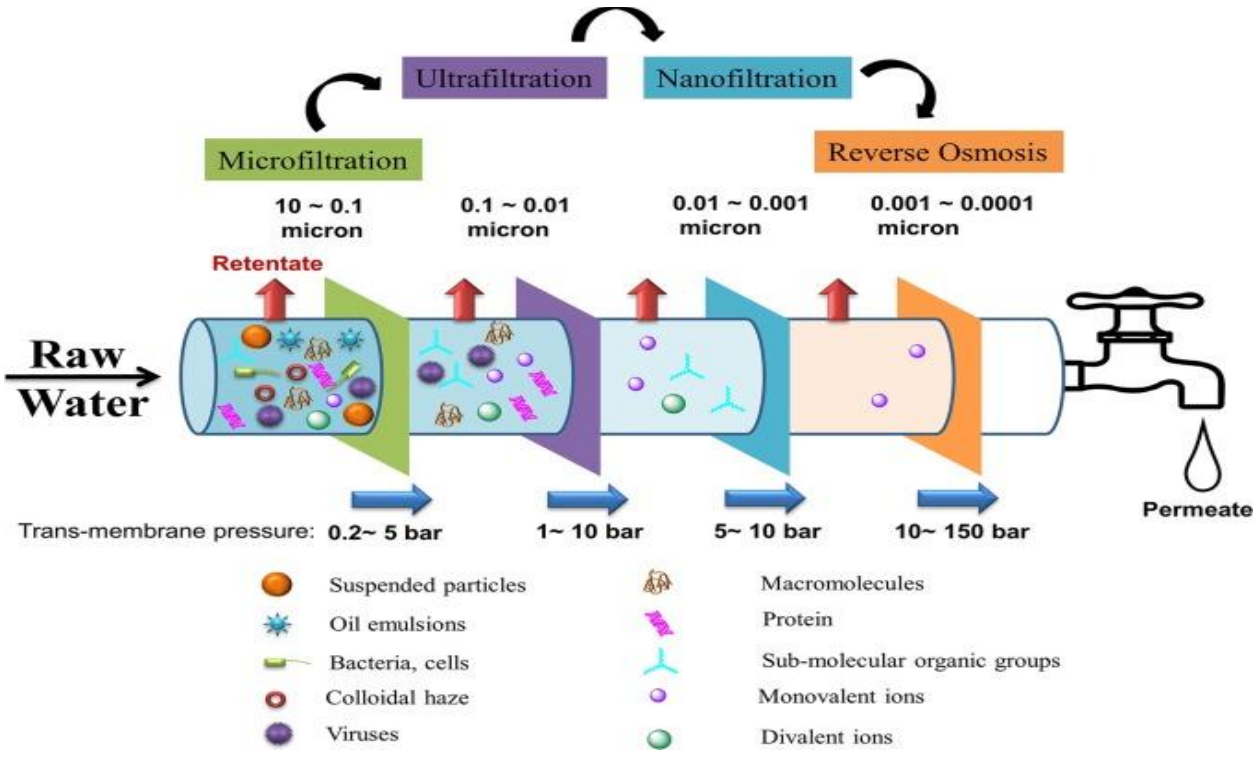
خواص الأغشية :

شكل (16) :



شكل (16)

أنواع و خصائص الأغشية Membranes and Membrane Technology



شكل (16)

تفاصيل كفاءة الأغشية المختلفة

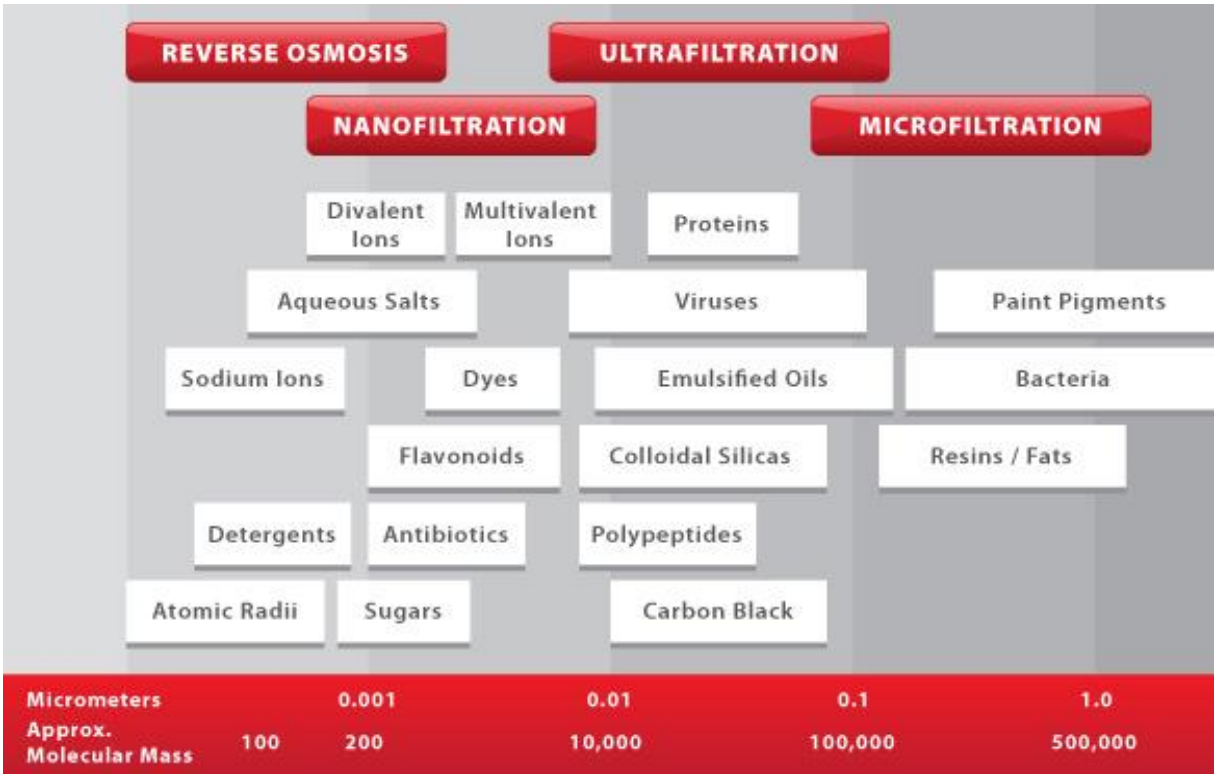
MEMBRANE DESALINATION

- Membrane processes use a semi permeable membrane to move water across the membrane from the salt solution to produce fresh water on the other side of the membrane.
- Membrane desalination is classified depending on the driving force.

Process	Size of materials retained	Driving force
Microfiltration	0.1-10.0 microns molecules	Pressure difference
Ultrafiltration	5-100 nm molecules	Pressure difference(1 - 4 bar)
Nanofiltration	0.5 - 5 nm molecules (mostly charged species)	Pressure difference(5 - 15 bar)
Reverse Osmosis	< 1 nm molecules	Pressure difference(10 - 60 bar)

شكل (16)

تفاصيل الأغشية المختلفة



شكل (16)

أختيار نوع الغشاء

ملاحظة هامة :

أغشية التناضح العكسي RO و التناضح الي الأمام FO يستعملان في تحلية المياه المالحة لغرض الشرب . حاليا ، تصنع هذه الأغشية غير مسامية RO and FO Membranes are Non-Porous . كل الأيونات يتم أزالتها بواسطة هذه الأغشية المذكورة .Nearly All Ions are Removed By These Membranes.

تحلية المياه المالحة بتقنية التناضح العكسي
Reverse Osmosis Desalination

أولا : تحلية المياة المالحة بالترشيح خلال الأغشية :

تقنيات تحلية المياه بالترشيح خلال الأغشية :

1. غشاء الترشيح التناضح العكسي Reverse Osmosis (RO) .
2. غشاء الترشيح الفائق Ultra Filtration (UF) .
3. غشاء الترشيح النانو Nano Filtration (NF) .
4. غشاء الترشيح الدقيق Micro Filtration (MF) .
5. التناضح الي الأمام Forward Osmosis (FO).
6. الأقطاب الكهربائية Electro Dialysis (ED).

تحلية المياه المالحة بتقنية التناضح العكسي Reverse Osmosis Desalination

التناضح العكسي RO ، هو عملية يتم فيها نزع الماء من المياه المالحة عن طريق التدفق تحت ضغط من خلال غشاء شبه نفاذ.
التناضح العكسي هو ظاهرة تحدث بشكل طبيعي حيث يميل المحلول الملحي الأضعف إلى الهجرة إلى محلول ملحي قوي.
يوضح الشكل (17) ظاهرة التناضح ، يتم وضع غشاء شبه نفاذ بين حجرتين . شبه نفاذ يعني أن الغشاء نفاذ لبعض الأنواع وغير نفاذ إلى أنواع أخرى. في هذه الحالة ، يكون الغشاء منفذاً لجزيئات الماء ولكنه غير قابل للاختراق للأيونات المذابة والملوثات الأخرى . من أجل الوصول إلى التوازن (نفس تركيز الأملاح في جانبي الغشاء) ، سوف يمر الماء من حجرة الماء النقي إلى الحجرة المحتوية على الملح ، لتخفيف محلول الملح.
وحدة التحلية ، تتكون من طلمبة ضغط عالي ، يتم ضخ المياه لمجموعة الأغشية بضغط جو 70 بارًا، داخل مجموعة الأغشية والتي تتكون من مواد سليلوزية، تسمح بمرور المياه خفيفة الكثافة قليلة الملوحة، دون المياه عالية الملوحة،

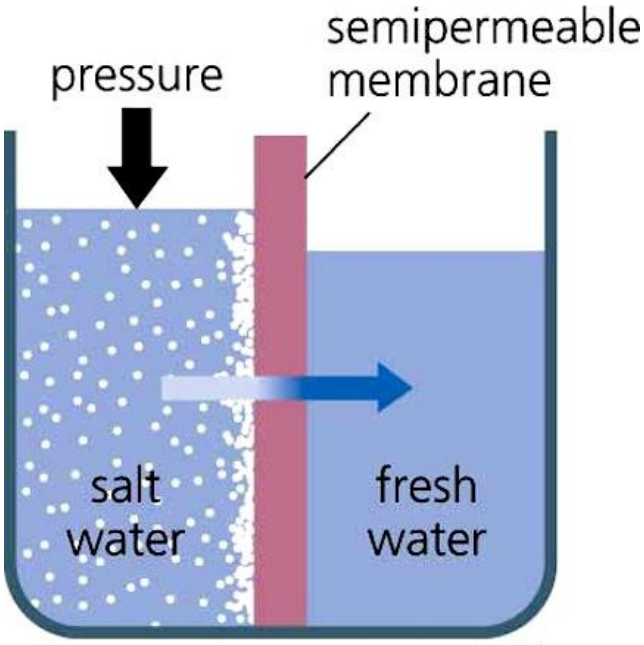
مفهوم التناضح العكسي :

تعتمد طريقة التناضح العكسي على الخاصية الاسموزية، حيث تستخدم الضغوط المسلطة على اسطح الاغشية للتغلب على الضغط الاسموزي الطبيعي للماء، فاذا وضع غشاء شبه نفاذ بين محلولين متساويين في التركيز تحت درجة حرارة وضغط متساويين لا يحدث اي مرور للمياه عبر الغشاء نتيجة تساوي الجهد الكيميائي على جانبيه، واذا ما اضيف ملح قابل للذوبان لاحد المحلولين ينخفض الضغط ويحدث تدفق اسموزي للماء من الجانب الأقل ملوحة الى الجانب الأكثر ملوحة حتى يعود الجهد الكيميائي الى حالة التوازن السابقة. ويحدث هذا التوازن عندما يصبح فرق الضغط في حجم السائل الأكثر ملوحة مساويا للضغط الاسموزي، وهي خاصية من خواص السوائل ليس لها علاقة بالغشاء. وعند توجيه ضغط مساو للضغط الاسموزي على سطح المحلول الملحي يتم التوصل ايضا الى حالة التوازن ويتوقف سريان المياه من خلال الغشاء.
واذا رفع الضغط الى اكثر من ذلك فان الجهد الكيميائي للسائل سيرتفع ويسبب تدفقا عكسيا للماء من المحلول الملحي باتجاه المحلول الاقل ملوحة وهو ما يعرف بالتناصح العكسي وفاعلية طريقة التناضح العكسي في التخلص من الاملاح ممتازة تصل الى اكثر من 99% وكذلك فان أغشية التناضح العكسي لها قدرة على التخلص من البكتيريا والجراثيم والعناصر الضارة الموجودة في المياه. وتقوم طرق تحلية المياه بالأغشية بتقنية التناضح العكسي على استخدام الخواص الطبيعية لأنواع مختلفة من الاغشية المصنعة بعضها من بوليمرات شبه منفذة تسمح بمرور الماء فقط دون ايونات الاملاح الذائبة تحت تأثير ضغط

هيدروليكي . ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية في وعاء مغلق حيث يضغط على الغشاء ، وعندما يمر جزء من الماء عبر الغشاء تزداد محتويات الماء المتبقي من الملح . وفي نفس الوقت فإن جزءا من مياه التغذية يتم التخلص منه دون أن يمر عبر الغشاء . وبدون هذا التخلص فإن الازدياد المطرد لملوحة مياه التغذية يتسبب في مشاكل كثيرة ، مثل زيادة الملوحة والترسبات وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية . لا تقوم أغشية RO بإزالة الغازات مثل CO_2 أو O_2. هذه الغازات ليست شديدة التأين (مشحونة) أثناء وجودها في محلول ولها وزن جزيئي منخفض جدًا .

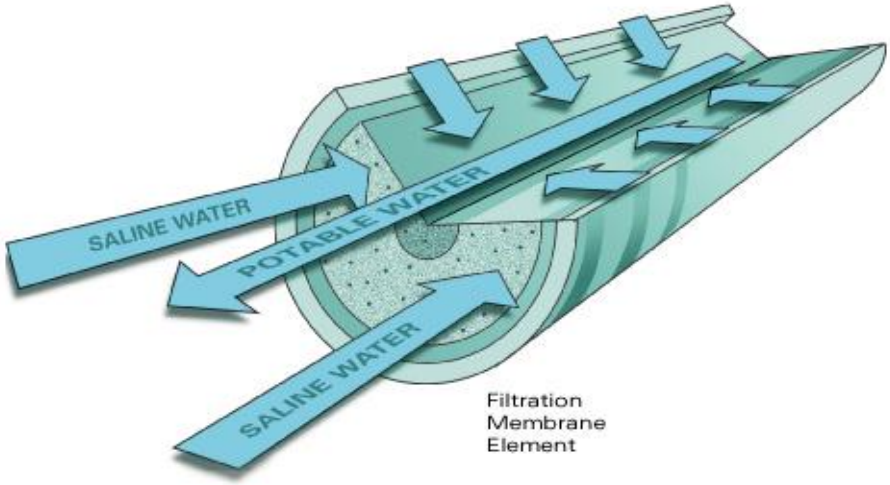
ملاحظة :

ويتم استخلاص المياه المحلاه بنسبة 25% من المياه المالحة المستعملة .



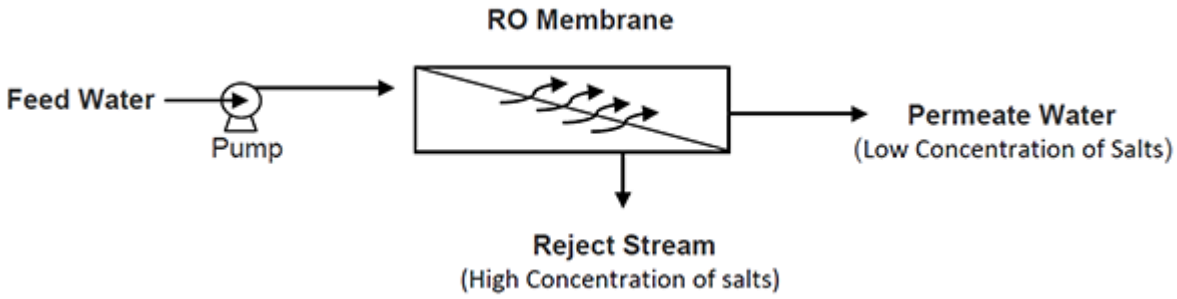
شكل (17)

كروكي عملية تحلية المياه



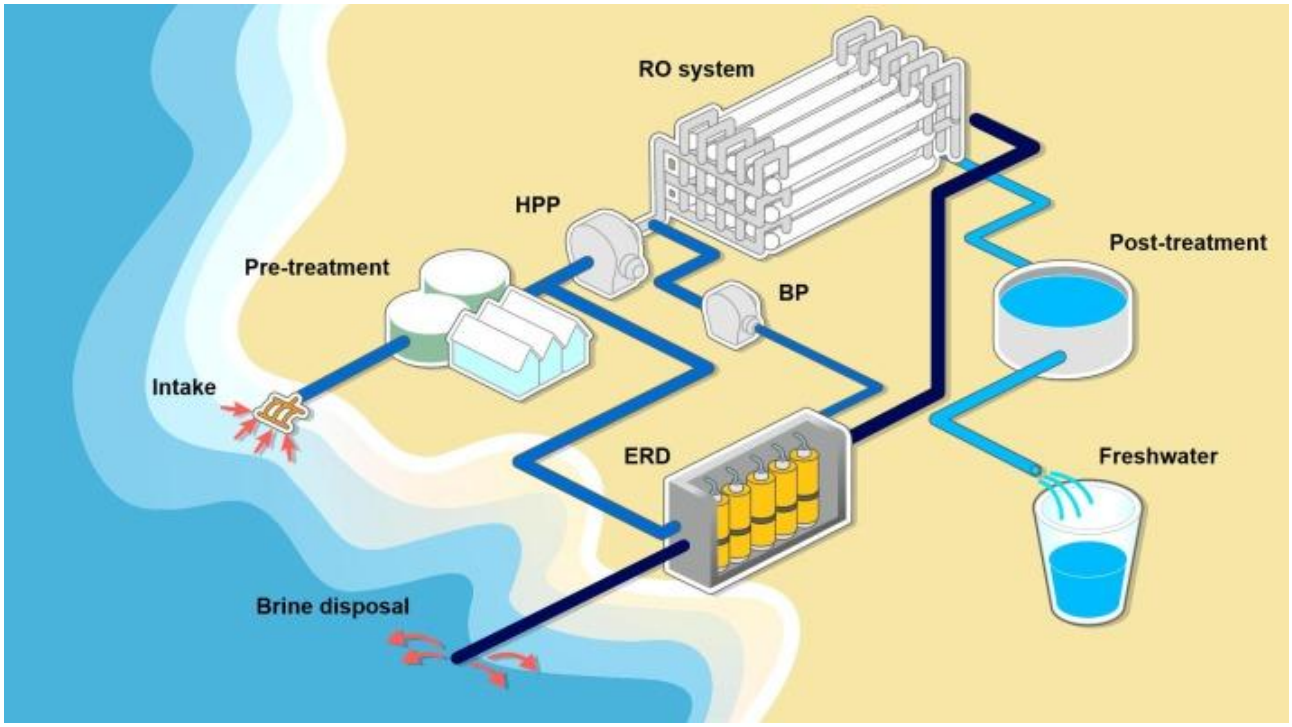
شكل (17)

طريقة عمل أغشية التناضح العكسي



شكل (17)

طريقة عمل أغشية التناضح العكسي



شكل (17)

مخطط تحلية المياه بتقنية التناضح العكسي RO

تتطلب مياه المنتج من عمليات تحلية المياه بالتناضح العكسي RO معالجة لاحقة لتجهيزه للاستخدام في الشرب. تؤدي خطوات إعادة التمعدن إلى زيادة درجة القلوية pH وعسر الماء Hardness ، مما يؤدي إلى استقرار الماء .

تتطلب عملية التحلية بالتناضح العكسي المراحل الأساسية التالية :

1 - مرحلة المعالجة المسبقة Pre-Treatment System .

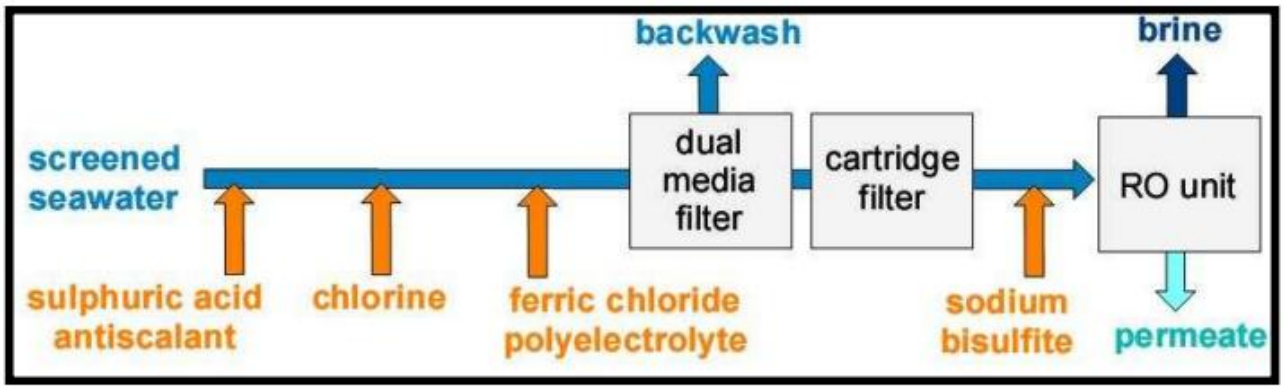
2 – طلمبات ضغط عالي High-Pressure Pumps .

3 – نظام الأغشية Membrane Systems .

4 – المعالجة اللاحقة Post-Treatment .

المعالجة المسبقة لعمليات التحلية بالتناضح العكسي :

تدخل المياه المالحة خلال المأخذ ثم يتم ضخ المياه الي خزان التعادل في أول مراحل التحلية Equalization Tank لضمان انتظام التغذية بالمياه الخام الي أول محطة التحلية – حقن الكلور ثم الي خزان المياه الخام 00 حوض الترويب و الخلاط (التخثر) 00 الترسيب بواسطة مرشحات تعمل بالجاذبية أو مرشحات الضغط 00 مرشح الوسائط – حقن مقاوم لتكون القشور (Anti Scalant) قبل دخولها المحطة وذلك لمنع الترسبات و تكـــوين القشور Scales داخل أنابيب المكثفات أو المبادلات الحرارية – مرشحات الأرض الدياتومي Diatomaceous Earth Filters 0000 مرشح خرطوشي (الشمعة) Catridge Filter - أزالة الكلور المتبقي بواسطة ضخ (صوديوم ميتا باي سلفيت Sodium Metabisulfite (SBS) ، أو استخدام الكربون المنشط المحبب - شكل (18).



شكل (18)

مراحل المعالجة المسبقة Typical Pretreatment Steps for RO Plants

تخرج المياه من حوض الترسيب الي المرشحات الرملية – شكل (22) حيث يتم تصفية الجسيمات الصغيرة من الماء . يمر الماء المعالج عبر مرشحات ترابية دياتومية Diatomaceous Earth Filters لإزالة الطمي والجزيئات الدقيقة المجهرية – شكل (23) ، ثم الي مرشحات الخرطوشة (الشمعة) Cartridge Filters – شكل (24) قبل الدخول الي أغشية التناضح العكسي مباشرة كدعم خلفي ، مما يزيل أي جزيئات قد تبقى بعد مرشحات التراب الدياتومي.

الأس الهيدروجيني pH ما بين 5,5 و 6,5 و هذا يساعد في نظافة الأغشية و منع انسدادها .

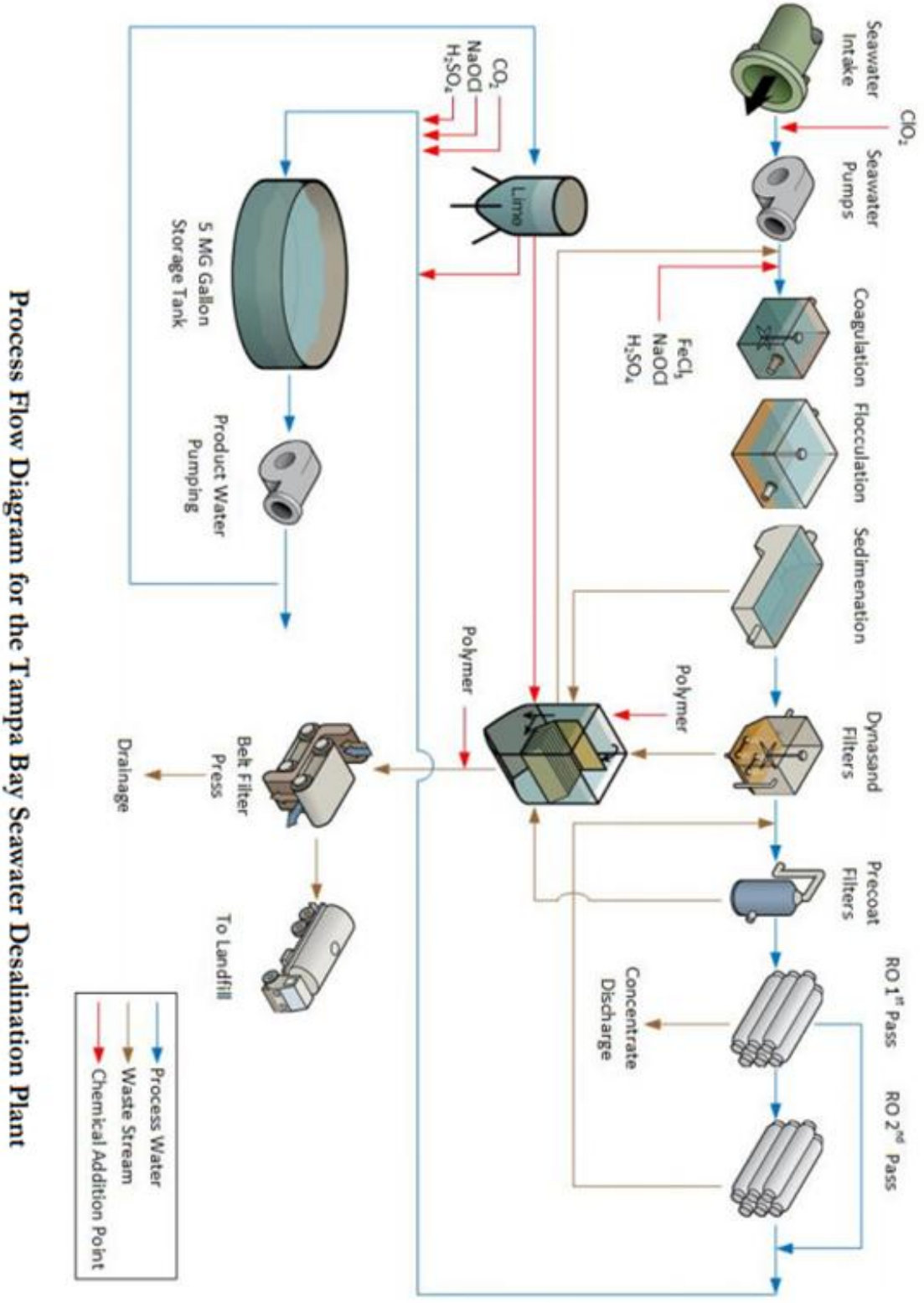
تطبيقات التناضح العكسي RO :

يعد التناضح العكسي فعالاً للغاية في معالجة المياه المالحة (السطحية والأرضية) ، الصنبور ومياه البحر لكل من التطبيقات الصغيرة والكبيرة ، من هذه التطبيقات :

- مياه الشرب البلدية .
- صناعة المواد الغذائية والمشروبات .
- الري الزراعي .
- الماء عالى النقاء الصناعي .
- مياه العمليات الصناعية .
- صناعة الطاقة (مياه تغذية الغلايات وأبراج التبريد) .
- إعادة استخدام المياه البلدية / الصناعية ..

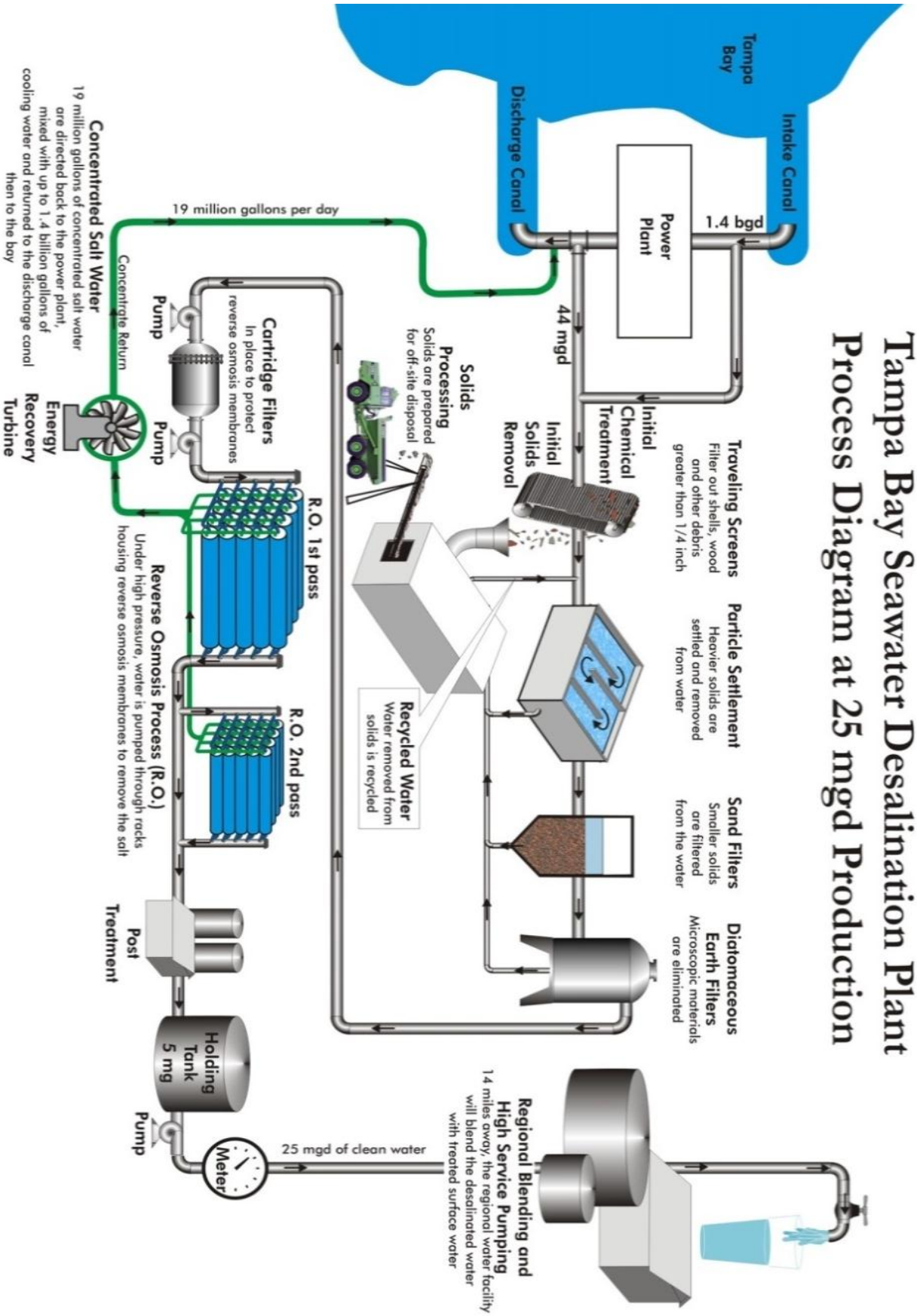
مثال :

محطة التحلية بنظام التناضح العكسي - مدينة تامبا - فلوريدا Tampa Bay Seawater Desalination Plant – الولايات المتحدة – شكل (19) :



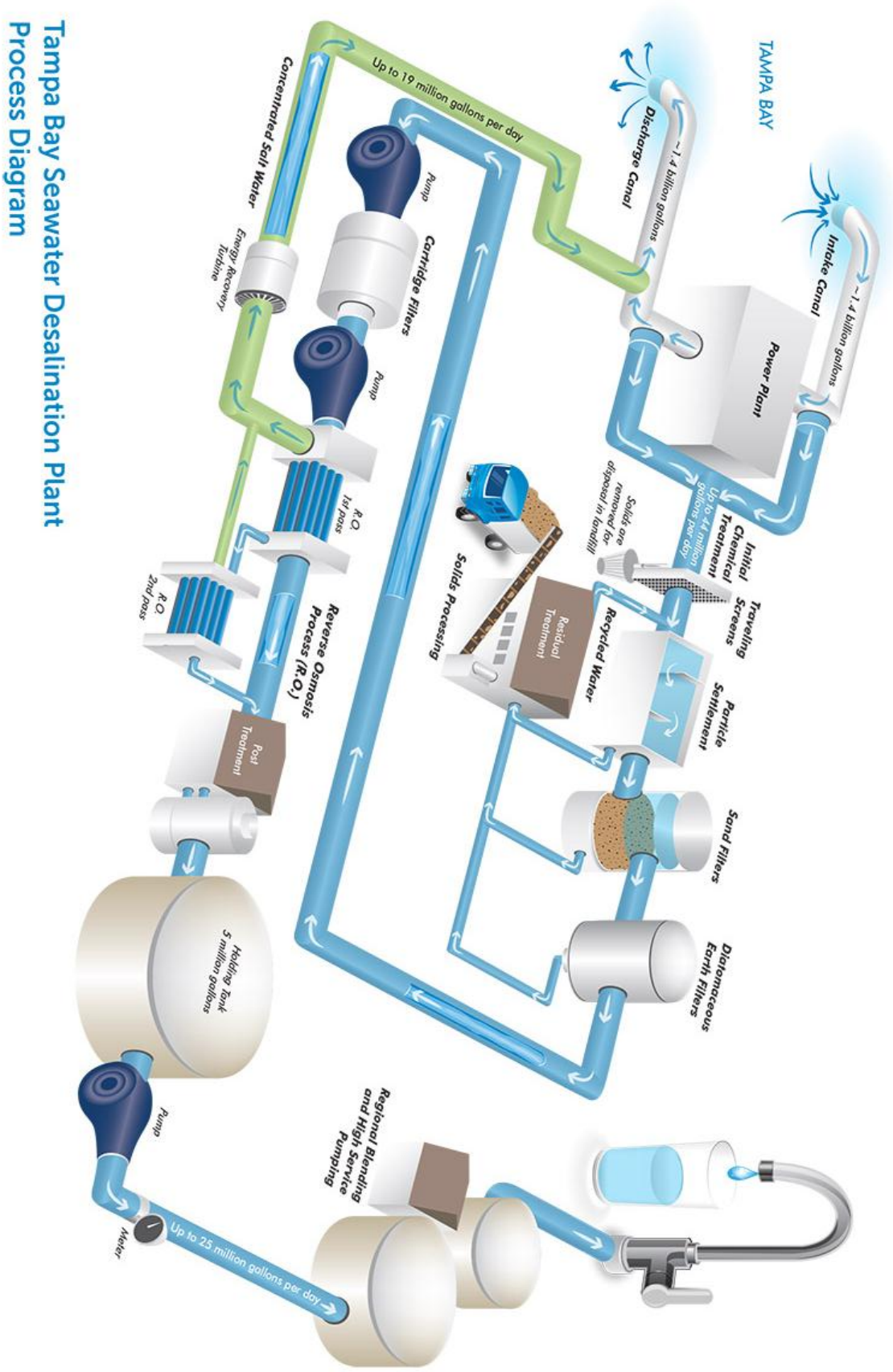
شكل (19)

مخطط محطة التحلية – تامبا – فلوريدا



شكل (19)

محطة تحلية المياه – مدينة تامبا – تنتج 25 مليون جالون / اليوم مياه منقاة – الولايات المتحدة



شكل (19)

محطة تحلية المياه – مدينة تامبا – تنتج 25 مليون جالون / اليوم مياه منقاة – الولايات المتحدة

خطوات التحلية :

1 - أداء المعالجة المسبقة للمياه Pretreatment .

2 – تذهب المياه بطلمبات الضغط الي مرحلة التناضح العكسي لتخرج وقد تم انتزاع الأملاح منها .

3 – تدخل المياه الي مرحلة المعالجة اللاحقة Post treatment .

4 – تطهير المياه بالوسائل المذكورة .

5 – تذهب المياه الي المستهلك .

ملاحظة :

غالبية محطات التحلية تعمل علي دق آبار جوفية مجاورة لشاطىء البحر للحصول علي المياه اللازمة لها ، حيث تكون المياه المالحة المستخرجة من الآبار خالية من الشوائب و أقل ملوحة من مياه البحر .

وحدات محطة التحلية :

مأخذ محطة التحلية - شكل (20) .

حوض الترسيب - شكل (21) .

حوض المرشح الرملي لمحطة تحلية تامبا - شكل (22) .

مرشحات ترابية دياتومية - شكل (23)

مرشح الخرطوشة (الشمعة) - شكل (24)

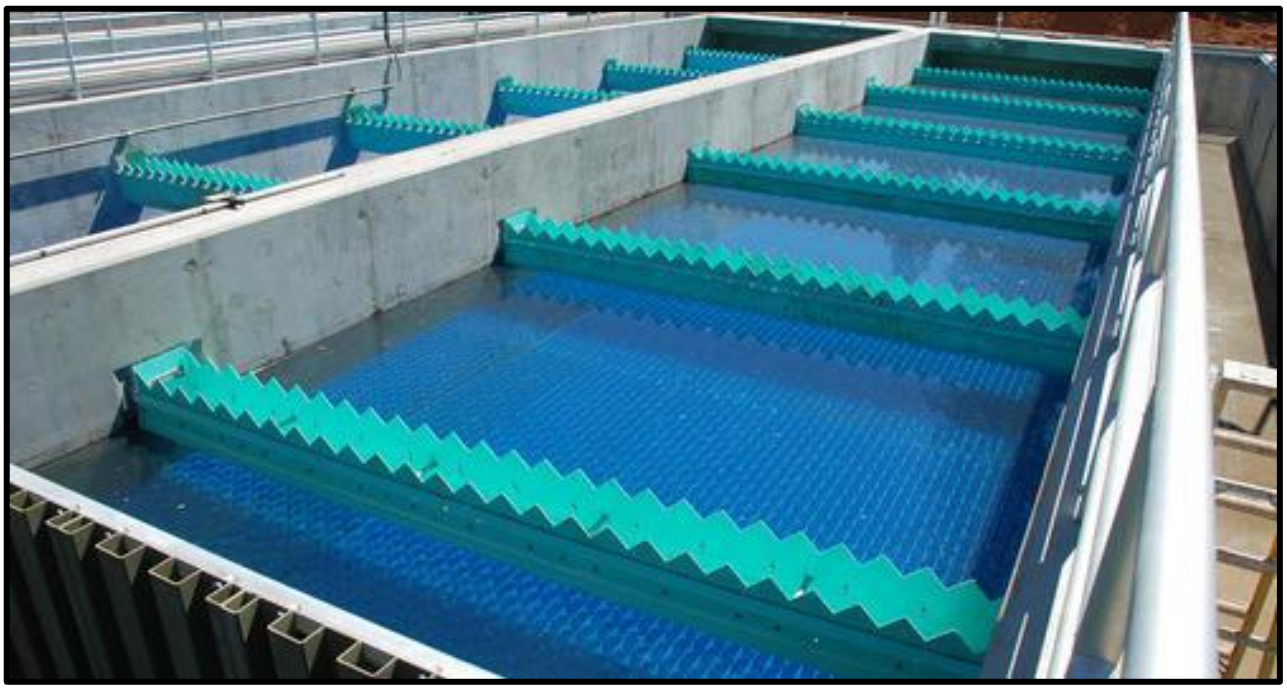
مرشحات ضغط أفقية – محطة تحلية تامبا - شكل (25) .

محطة طلمبات الضغط العالي لمحطة التحلية – تامبا - شكل (26) .

Tampa Bypass Canal Intake Structure.

شكل (20)

مأخذ محطة التحلية



شكل (21)

Tube Settler Lamella, 500 m^3/hr حوض الترسيب

Sea Water Desalination

Material	**PVC**
Height	**500mm, 750mm, 1000mm**
Brand	**Proflex**

شكل (21)

PVC Tube Settler Media وسائط الترسيب الأنبوبية

شكل (22)

حوض المرشح الرملي لمحطة تحلية تامبا Sand Filters at Tampa Bay Seawater Desalination Facility

المرشحات الترابية الدياتومية Diatomaceous Earth Filters :

تعمل المرشحات الترابية الدياتومية علي فصل المواد الصلبة عن السوائل عن طريق إجبار السائل على التدفق عبر وسط مرشح مسامي وحجز المواد الصلبة على وسط الترشيح . تضاف مادة مساعدة للمياه بحيث عند إضافتها إلى السائل المراد ترشيحه تساعد على التحكم في التدفق وإزالة المواد الصلبة - شكل (23) :

شكل (23)

مرشحات ترابية دياتومية Tampa Bay Seawater Desalination Facility – Diatomaceous Earth Filters

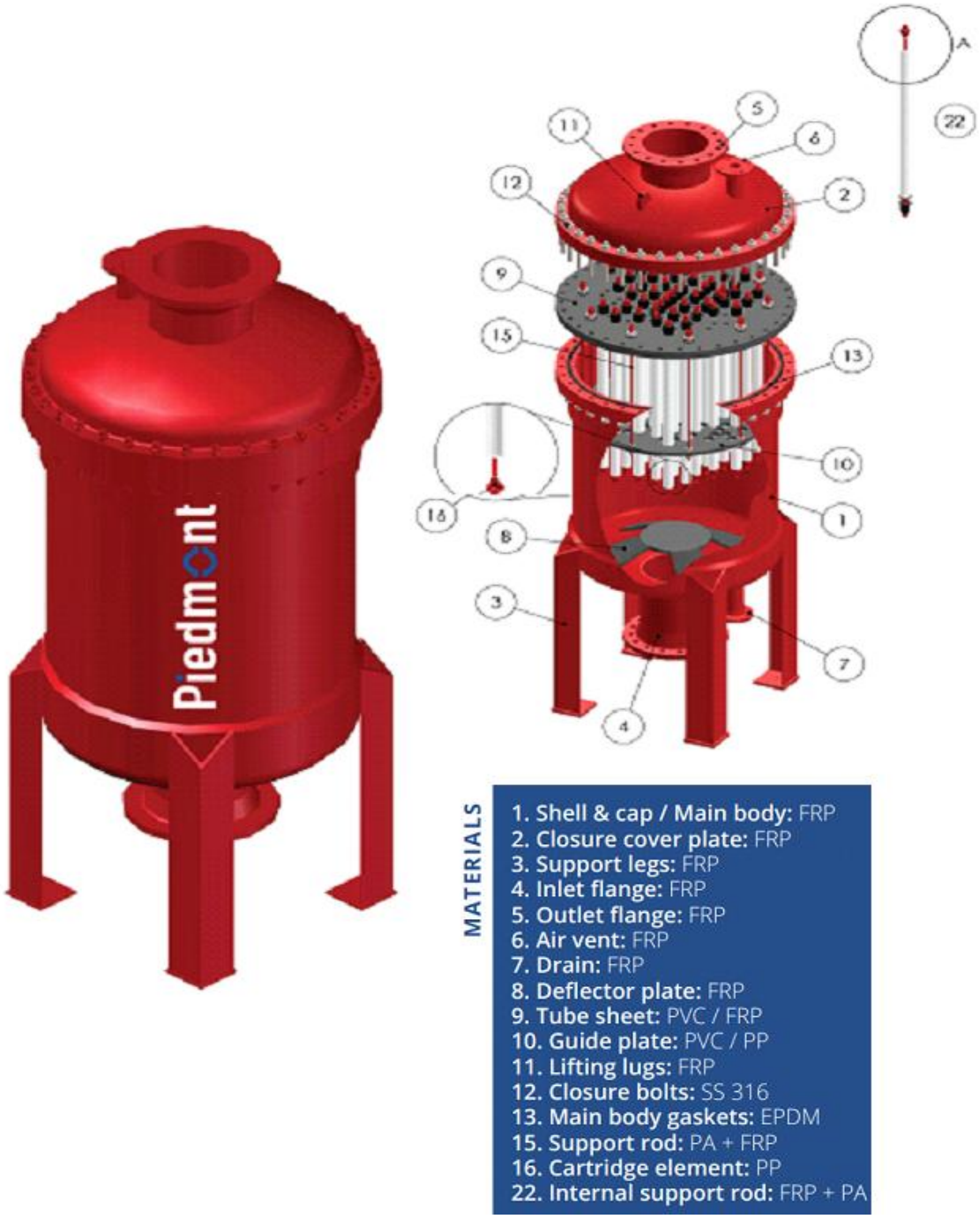
شكل (23)

المرشحات الترابية الدياتومية – محطة تحلية مدينة تامبا – فلوريدا Tampa Bay Seawater Desalination Facility

مرشح الخرطوشة (الشمعة) Catridge Filter :

المرشحات هي القطع الأهم في فلتر مياه الشرب ويطلق عليها البعض مصطلح شمعات التنقية . مرشح الخرطوشة (الشمعة) هو مرشح دقيق الحجم أبعاده من 1 إلى 25 (ميكرون) مصنوع من ألياف بلاستيكية رقيقة أو وسائط ترشيح دقيقة أخرى مثبتة حول أنبوب مركزي لتشكيل خرطوشة قياسية الحجم . غالبًا ما تستخدم مرشحات الخرطوشة كجهاز تصفية Screening وحيد بين آبار السحب Intake Wells ونظام التناضح العكسي ، الغرض الرئيسي له هو التقاط الجسيمات في المياه المعالَجة الذي قد يمر عبر أنظمة المعالجة الأولية للوقاية من التلف أو تلوث أغشية التناضح العكسي.

تصنع خراطيش التصفية من البولي بروبيلين وهي الأكثر استخدامًا لتطبيقات مياه البحر والمياه المالحة. يتراوح طول مرشحات الخرطوشة القياسية لمحطات تحلية المياه Ro من (40 إلى 60 بوصة) ، ويتم تثبيتها إما في أوعية الضغط الأفقي أو العمودي – شكل (24) .



شكل (24)

تفاصيل مرشح الخرطوشة (الشمعة) - التصرف : 275 – 3400 م3 / ساعة Bottom Inlet Type Higher Flow Cartridge Filter Housing

شكل (24)

مرشح الخرطوشة (الشمعة) - التصرف : التصرف : 6 – 550 م3 / ساعة

Bottom Inlet Type Higher Flow Cartridge Filter Housing

مرشحات الضغط الأفقية Horizontal Sand or Multi Media Pressure Filters :

يستخدم عدد من المواد كمرشحات مثل الحصى والرمل للأجسام الكبيرة لإزالة الشوائب الفيزيائية الصلبة ، أما الأجسام الأصغر فيستخدم لها وسائل المرشحات الميكروية، والتي من خلالها تبقى عليها العلائق بعد الترشيح. في حال اضطر الأمر يتم استخدام وسائل الترشيح النانوي أو التناضح العكسي) الاسموزية العكسية. تستخدم مرشحات المياه في وحدات معالجة المياه وفي مجال الري - شكل (25) :

شكل (25)

مرشحات ضغط أفقية Horizontal Sand or Multi Media Pressure Filters – محطة تحلية تامبا

2 - عملية التنقية :

يتم ضخ المياه المالحة بواسط طلمبات لضغط العالي – شكل (26) الي أغشية التناضح العكسي .

High pressure pumping system at the Tampa Bay Seawater Desalination Plant

شكل (26)

محطة طلمبات الضغط العالي لمحطة التحلية - تامبا

عملية تحلية المياه بالتناضح العكسى Reverse Osmosis :

عملية التنقية هي عملية التناضح العكسي . يتم الضغط العالي علي المياه المالحة من خلال أغشية شبه منفذة لفصل المياه العذبة تاركًا مياه البحر المالحة الشديدة الملوحة المتخلفة وغيرها من المعادن و أعادتها الي البحر ثانية.

حجم كل مسام غشاء RO حوالي 001 ميكرون ، أي حوالي 100000/1 قطر شعرة الإنسان.

عندما تمر المياه خلال أغشية التناضح العكسي ، ترتفع نسبة الايونات في مكونات الدفق الخارج Reject Flow وهذا يؤدي حتما إلى ارتفاع نسبة الأملاح الذائبة TDS و لا سيما الكالسيوم و المغنيزيوم و ترسيب جزء منها داخل الأغشية . و على الرغم من إمكانية إزالة الكالسيوم و المغنيزيوم أو بإضافة مادة كيميائية لإبقائهما مسيلين إلا أن الكثير من خبراء معالجة المياه ينصح بضرورة استعمال وحدة إزالة عسرة Softener في خط المياه قبل دخولها الأغشية و استبدال أيوناتها بأيونات صوديوم . أغشية الضغط العالي لفصل المياه عن الأملاح – شكل (27) .

شكل (27)

أغشية الضغط العالي لفصل المياه عن الأملاح

Tampa Bay Seawater Desalination Facility Seawater Through 10,032 Membranes Reverse Osmosis Membranes

تستخدم تقنية التناضح العكسي في تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة وكذلك في تحلية مياه الصرف الصحي المعالج ثنائيا او ثلاثيا، حيث يمكن تقليل ملوحة هذه المياه وتخليصها من معظم انواع البكتيريا والفيروسات والمواد الضارة الأخرى، كما تستخدم هذه التقنية في الصناعات الغذائية ومنتجات الألبان وتركيز عصير الفواكه وغيره.

عملية التناضح العكسي هي إزالة ونزع الأملاح من المياه - سواء كانت مياه بحار مالحة Sea Water أو مياه آبار مالحة Brackish Water . تعتمد فكرة هذه الطريقة على دفع المياه المالحة تحت ضغط عالي يصل إلى 70 ض.ج داخل جهاز التناضح العكسي ، حيث تخرج المياه النقية إلى الخارج خلال ماسورة في محور أسطوانة الأغشية - شكل (28)
وتخرج المياه المتخلفة شديدة الملوحة إلي البحر ثانية . وتحلية المياه بهذه الطريقة منتشرة في 120 دولة وتختص منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بنصف كمية الأجهزة و المحطات المستخدمة للتحلية في العالم .

ملاحظة :

قد يستلزم الأمر عمل عدة دورات من التناضح العكسي تصل الي 4 دورات حسب الملوثات و ملوحة المياه . وقد يتم عمل ترشيح فائق للمياه يعقبة عملية تناضح عكسي .

هذه النوعية من المعالجة لها المميزات الآتية :

1 - حجز 99% من العناصر المذابة و 97% من المواد العضوية و 98 % من المواد الغروية العالقة .
2- معالجة المياه شديدة الملوحة حتى 60000 ملجم / لتر .
3 – يصنع محليا ، تبلغ نسبة التصنيع حاليا 50 % ، كما تنتج هذه الأجهزة بطاقات من 150- 1500 م3 / يوم .
4 - سهولة التشغيل والصيانة .
5 - إمكان استعادة جزء من الطاقة أثناء عملية التحلية ، وإمكان استخدامها لتوليد طاقة كهربية .

ملاحظات :

1 - تصنع هذه المحطات من معدن الحديد الغير قابل للصدأ .
2 – يمكن توسيع المحطة مستقبلا في حالة زيادة كميات المياه.
3 – تصنع معظم أجزاء المحطة في مصر .
4 – الضغط المطلوب بين 17 – 27 ض . ج للمياه متوسطة الملوحة Brackish Water ، 54 إلي 80 ض . ج في حالة تنقية مياه البحار عالية الملوحة .
5 - يحتاج تحلية 1 م3 (بطريقة الضغط الأسموذي العكسي RO) إلي 4 – 6 كيلووات / ساعة من الطاقة الكهربائية .
6 – تتناسب الضغوط المطلوبة تناسبا طرديا مع درجة ملوحة المياه ، حيث تتراوح ما بين 17- 27 بار (250 – 400 رطل / بوصة المربعة) في حالة المياه قليلة الملوحة التي تتراوح ملوحتها بين 2000 الي 10000 جزء / المليون ، بينما تحتاج الضغوط المطلوبة بين 45 – 80 بار (800 – 1180 رطل / بوصة مربعة) لمياه البحار المالحة مثل مياه الخليج العربي و التي تصل فيها الملوحة الي 45000 جزء / المليون .
7 – تقوم الأغشية بأزالة 75 % من الأملاح بالأضافة الي معظم أنواع المواد العضوية الدقيقة و الفيروسات و الكثير من الملوثات الكيماوية .
8 – تتراوح مقاسات المسامات في الأنواع المختلفة من الأغشية بين (10 أنجستروم – 100 ميكرون) .

وصف الجهاز :

الجهاز عبارة عن أسطوانة مركب عليها غشاء مصنوع من الألياف ، هذا الغشاء له القدرة على تحمل الضغط العالي المسلط على المياه والذي يمكن أن يصل إلى 80 ض . ج . يصنع الغشاء من الألياف الملفوفة حلزونيا Spiral Wound على أسطوانة ، أو من الألياف الدقيقة المجوفة Hollow Fine Fiber - شكل (28) .

أنواع أغشية التناضح العكسي :

تأتي الأغشية في عدة أنواع و أهمها الأغشية الحلزونية Spiral Wound و أغشية الأنسجة ذات التجويفات الدقيقة Hollow Fine Fiber ، جميع هذه الأغشية تصنع من مادة Aromatic Poly amides , Cellulose Acetate أو كما هو الحال في هذه الأيام من مركبات Film Polymer .

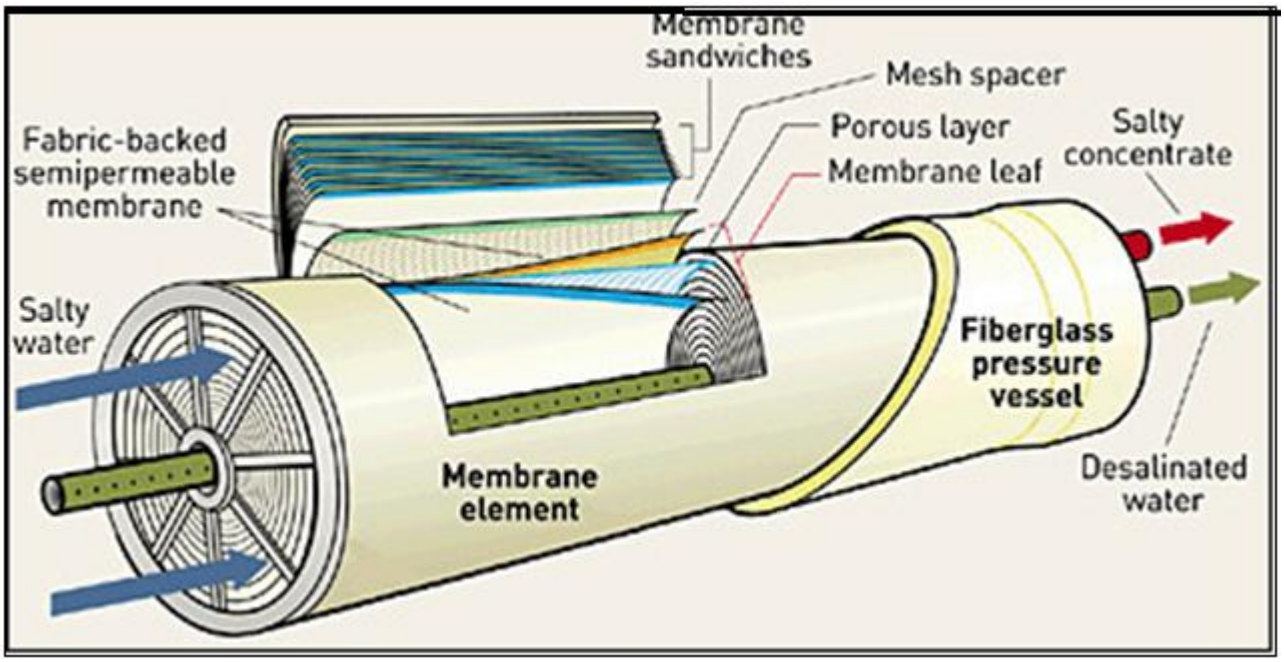
تتكون هذه المرحلة من :

** طلمبات مياه ضغط عالي .

** أسطوانات الأغشية المرشحة من مادة (البولي أميد) حيث يفصل الأملاح عن المياه وتتركز حول الغشاء من الخارج و تتجمع المياه المحلاة في ماسورة في محور أسطوانة الأغشية. بينما تذهب المياه المالحة (مركزة) لتعود إلي البحر . يزيل الغشاء أيضا الكائنات الممرضة الدقيقة والبكتيريا والفيروسات .

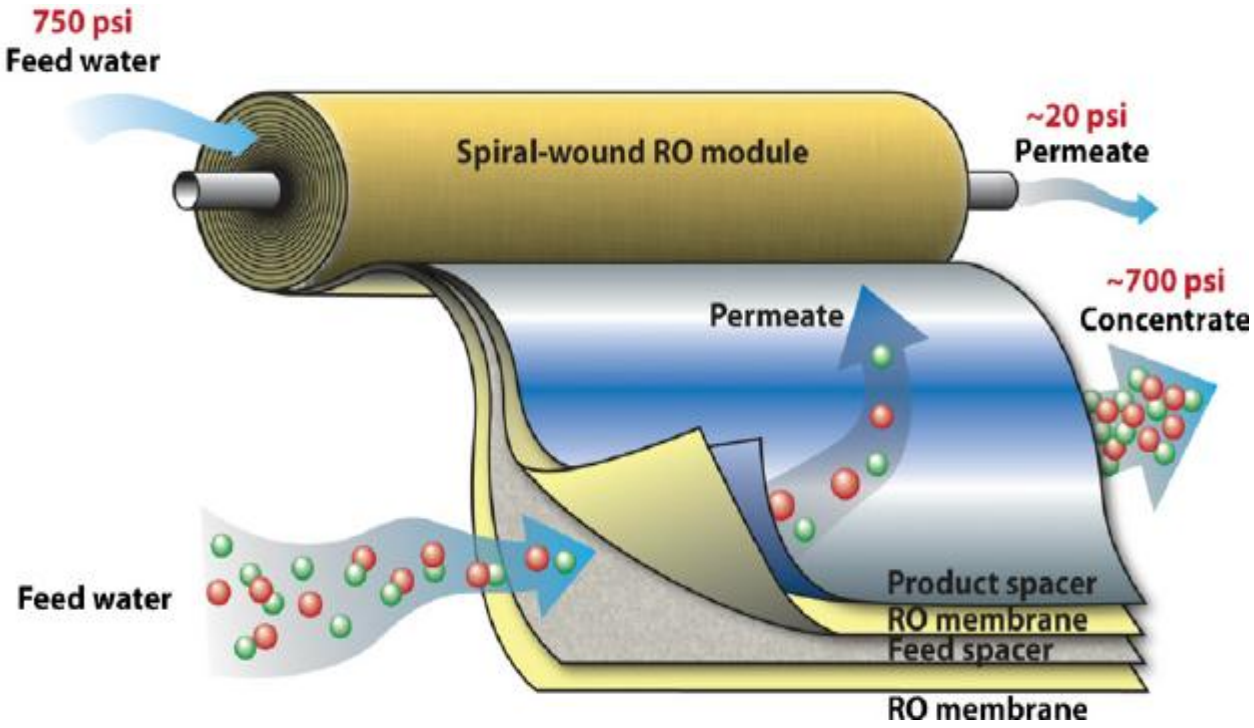
كما تعمل هذه الأغشية على إزالة أكثر من 75 بالمائة من الأملاح إضافة إلى معظم أنواع المواد العضوية ، الحميات ، الفيروسات , الجراثيم و غيرها من الملوثات الكيميائية.

تتراوح قياس مسامات الأنواع المختلفة من الأغشية بين اقل من 10 انغستروم الى 100 ميكرون – شكل (28).



شكل (28)

أغشية التحلية الحلزونية



شكل (28)

تفاصيل الغشاء

شكل (28)

تركيب الأغشية

شكل (28)

أغشية التناضح العكسي

مرحلة التحلية :

مرحلة الضغط :

يتم في هذه المرحلة رفع ضغط المياه المعالجة أوليا إلى مستوى ضغط يناسب الأغشية و حسب نسبة الأملاح في المياه الخام بواسطة الطلمبات .

مرحلة الفصل بواسطة الأغشية :

في هذه المرحلة تسمح الأغشية القابلة للنفاذ للمياه العذبة فقط من العبور أما الأملاح الذائبة فلا تتمكن من ذلك و يتم تحويلها إلى خط الصرف ذات التركيز الملحي العالي ، علما أن نسبة مئوية قليلة جدا تبقى في دفق المياه العذبة و هذا يعود لعدم كمال الأغشية والتي تسمح بعبور هذه النسب القليلة.

لمصنعي الأغشية في هذه المرحلة تأثير أساسي من خلال تحديد نوع الأغشية المستخدمة في المنظومة و عددها.

إن معدل الجريان Flux Rate المثالي يقدر بنسبة 15 جالون بالقدم المربع / يوم و ذلك للمياه السطحية Surface Water .

هذه النسبة قد تتغير إلى مقادير أخرى إذا كانت مياه التغذية من مصادر مثل مياه جوفية أو مياه بحر أو مياه مبتذلة.

بعد حساب عدد الأغشية سيتم تحديد عدد الأنابيب الحاملة Vessels المطلوبة حيث تستخدم معظم المنظومات الصناعية أنابيب ضغطية Pressure Vessels تحتوي عل 6 أغشية، و لكن يمكن استعمال أنابيب ضغطية تحتوي ما بين 3 و 7 أغشية.

يبقى إن نشير إلى أن المساحة المخصصة لمنظومة التحلية تلعب أحيانا دورا في تحديد عدد الأنابيب المضغوطة.

المهمة التالية تتمحور حول الترتيب الأنسب لهذه الأنابيب المضغوطة و ما بداخلها من أغشية، حيث يغلب ترتيب الشجرة في أكثر الأحيان ، و هذا يعني أن المرحلة الأولى تحتوي على العدد الأكبر ثم المرحلة الثانية أقل ثم المرحلة الثالثة إن وجدت أقل عددا من الأوليين.

إن الهدف من هذا الترتيب هو التخفيف من إمكانية فشل الأغشية بعد فترات طويلة من التشغيل في المنظومات الصناعية التي تستخدم أنابيب حاملة 6 أغشية يتم الأخذ بالاعتبارات التالية فيما يتعلق بالاسترداد Recovery .

المرحلة الأولى : من 45 إلى 55 % من الاسترداد

المرحلة الثانية : من 70 إلى 80 % من الاسترداد

المرحلة الثالثة : من 80 إلى 90 % من الاسترداد

أما التصميم النموذجي فيتوقف عند المرحلتين و باسترداد 75 % .

الضغط اللازم لتحقيق إزالة الأملاح :

يعتمد الضغط المطلوب لعملية التحلية على نسبة التركيز الملحي للمياه في خط التغذية Concentrate و للتوضيح ، فان ملوحة على خط التغذية قدرها 1100 جزء / مليون تتطلب ضغطا اكبر من 200 رطل / بوصة مربعة.

أما مياه البحر ذات الملوحة العالية 42000 جزء / مليون في البحر الأحمر خلال الصيف و تنخفض الى 38000 جزء / مليون شتاء تتطلب ضغطا اكبر من 800 رطل / بوصة مربعة .

طريقة عمل الجهاز :

1 – تضخ المياه من البئر أو البحر إلى محطة المعالجة إلي خزان تجميع المياه المالحة – تكون هذه العملية أول مراحل تنقية المياه الداخلة إلي المحطة حيث تكون المياه الواردة من البئر قد ترشحت مبدئيا وتخلصت من بعض الشوائب من جراء الفلتر المحيط بالبئر .

تعمل تنقية ابتدائية Pretreatment وذلك للتخلص من بعض الشوائب والمواد العالقة التي قد توجد بالمياه عن طريق المرشحات Multimedia Filters (خليط من الرمل والزلط) ، وقد نحتاج إلي :

**** إضافة كلور لتعقيم المياه الداخلة وذلك في حالة وجود تلوث .**

**** أكسدة المياه للتخلص من الحديد والمنجنيز الموجود بالماء بضخ هواء أسفل المياه داخل الحوض .**

**** الاحتياج إلى مرشحات لفصل أكاسيد الحديد والمنجنيز والعوالق المتأكسدة عن المياه .**

**** التخلص من الطعم والروائح والغازات مثل غازات ثاني أكسيد الكربون وغاز كبريتيد الأيدروجين .**

**** أضافة مواد مروبة للمساعدة على ترسب المواد الغروية حتى لا تسد مسام الأغشية .**

**** تمرير المياه على خزان منع القشور Scale Inhibitor التي يتسبب فيها كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم والمواد العضوية .**

2 - تضخ المياه الخارجة من المرشحات متعددة الأوساط Multimedia Filters بواسطة طلمبات الضغط العالي إلي داخل الأغشية السليولوزية إلي الخارج وقد تخلصت من نسبة عالية من ملوحتها .

يتم خلال هذه العملية أو المرحلة رفع الضغط على المياه المعالجة أوليا الى المستوى المناسب لنوع الأغشية ونسبة الأملاح المنحلة في المياه المطلوب معالجتها .

والمضخة ذات الضغط العالي تعمل على رفع الضغط الهيدروليكي لمياه التغذية الى الحد الكافي للتغلب على الضغط الاسموزي الطبيعي وبزيادة تكفي لانتاج الكمية المطلوبة من المياه العذبة ، وبالتالي توفرهذه المضخة الضغط اللازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح ،وتتناسب الضغوط المطلوبة تناسبا طرديا مع درجة ملوحة مياه التغذية.حيث تتراوح ما بين 17 إلى 27 بارا في حالة المياه قليلة الملوحة التي تتراوح ملوحتها بين 2000 - 10000 جزء في المليون، بينما تتراوح الضغوط المطلوبة بين 45 إلى 80 بارا لمياه البحار المالحة مثل مياه الخليج العربي والتي تصل فيها الملوحة الى 45000 جزء في المليون .

3 - تدخل المياه إلى وحدات أخري ليتم نزع باقي الأملاح . تخرج المياه العذبة إلى الخزانات بينما تتجه المياه الشديدة الملوحة المتخلفة إلى البحر ثانية .

4 - المضخة ذات الضغط العالي توفر الضغط اللازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح . وهذا الضغط يتراوح ما بين 17 إلى 27 باراً لمياه الآبار و 54 إلى 80 باراً لمياه البحر . تستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه الآبار على نطاق واسع . تقوم الأغشية في هذه المرحلة بالسماح للمياه العذبة أو النقية بالمرور خلال الثقوب الميكروية للغشاء ، بينما

تمنع الأملاح الذائبة من المرور ، حيث يتم تحويلها الى خط الصرف ذو التركيز الملحي العالي ، بينما تتمكن نسبة قليلة من الأملاح من عبور الأغشية والسبب في ذلك يعود الى عدم كمال الأغشية النسيجية . يتكون مجمع الأغشية من وعاء ضغط وغشاء يسمح بضغط الماء عليه كما يتحمل الغشاء فارق الضغط فيه . والأغشية نصف المنفذه قابلة للتكسر وتختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب وحجز الأملاح . وليس هناك غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأملاح ، ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة .

تعمل هذه الأغشية على إزالة أكثر من 75 % من الأملاح إضافة الى معظم أنواع العضويات ، الدقائق virus ، والكثير من الملوثات الكيميائية ، وتتراوح قياسات المسامات في الأنواع المختلفة من الأغشية بين (10 انغستروم - 100 ميكرون) .

وتصنع أغشية التناضح العكسي من أنماط مختلفة ، وهناك اربعة أنواع من نظم اغشية المعروفة وهي الاغشية المسطحة والاغشية الأنبوبية والاغشية الشعرية المجوفة والأغشية الحلزونية، ولكل من هذه الأغشية مقدرة معينة على انتاج المياه العذبة وإمرار الأملاح واحتجازها.

وهناك اثنان من الأغشية ناجحان تجاريا وهما اللوح الحلزوني والألياف ويستخدم هذين النوعين لتحلية كل من مياه الآبار ومياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط اعتمادا على المصنع وملوحة الماء المراد تحليته .

خواص المياه المالحة الداخلة إلى الجهاز والخارجة منه في أحد المشروعات - جدول (6) :

جدول (6)

خواص المياه المالحة الداخلة إلى الجهاز والخارجة منه في أحد المشروعات

العناصر الذائبة في المياه	خواص المياه الداخلة ملجم / لتر	خواص المياه المتخلفة ملجم / لتر	خواص المياه الخارجة ملجم / لتر
كالسيوم	418	642	0.4
ماغنسيوم	1.33	2.044	1.4
صوديوم	11.035	16.885	144.6
بوتاسيوم	397	607	5.2
بيكربونات	146	224	0.8
كبريتات	2.769	4.256	0.3
كلوريدات	19.841	30.374	233.6
فلورايد	2	2	-
المجموع	35.937	55.034	386.3
مجموع العناصر الصلبة الذائبة	35.864	54.922	386
رقم الأس الهيدروجيني pH	8.2	8.4	5.9
ثاني أكسيد الكربون	2	2	2

محاسن التناضح العكسي :

1- تحلية الماء المالح بفصل المواد الصلبة الذائبة .

2- تقلل من درجة تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية للماء الخام بنسبة إزالة تصل إلى99 % .

3- تتخلص من المواد الحيوية والمواد الغروانية من الماء بنسبة إزالة تصل إلى 98 %

4- إزالة الخلايا الميكروبية من بكتيريا وفيروسات وغيرها بنسبة إزالة كلية .
5- إزالة معظم المواد الصلبة العضوية بنسبة إزالة قد تصل إلى 97 %.

ملاحظة :

تحتاج تقنية الضغط الأسموذي العكسي إلي 4 – 6 كيلوات كهرباء لتحلية 1 م3 (حسب درجة ملوحة المياه) بتكلفة نصف دولار/ م3 (سنغافورة – أسرائيل – مالطا) . وقد صممت طرازات من محطات التحلية بطريقة (MED-MVC) تستهلك 10 كيلووات ساعة / 1م3 مياه محلاة وتنافسان طريقة الضغط الأسموذي العكسي . أما بالنسبة إلي مياه متوسطة الملوحة Brackish Water فيحتاج 1 م3 مياه محلاة إلي 1 كيلووات ساعة .

تشغيل و صيانة منظومة التناضح العكسي :

تتألف أعمال الصيانة الأساسية لمحطات تحلية المياه من التالي :

- صيانة دورية و متابعة لوضع مضخات الدفع Booster Pumps إضافة إلى تنظيفها و منع التسرب.
- تزييت و تشحيم المضخات و المحركات في حال اللزوم و حسب البرنامج المعتمد من قبل المصنعين.
- غسل و شطف فلاتر الرمل و الكربون Media , Sand & Carbon Filters بشكل يومي او أسبوعي حسب نوعية مياه التغذية الخام.
- تبديل فلاتر الميكرون (شمعات) Cartridge Filters كل ثمانية أسابيع.
- التأكد من قراءة أجهزة القياس و ضبطها إن لزم سواء بشكل ميكانيكي أو بمحاليل خاصة.
- المحافظة على وجود كميات كافية من المواد الكيماوية في الخزانات لمرحلتي ما قبل المعالجة و ما بعدها Pre and Post Treatment Chemicals.
- إجراء فحص مسباري دوري Probing Inspection للأغشية.
- تسجيل القراءات و نتائج فحوص المياه بشكل يومي و عرضها على المختصين لفهم التغيرات و معالجة نقاط الضعف و استباق حصول أية مشاكل طارئة.
- جرد المواد الكيماوية و المستهلكات و قطع الغيار و طلب ما ينقص منها.

منع إنسداد الأغشية :

من حيث المبدأ يمكن تطبيق ذلك من خلال تنقية المياه و تصفيتها لإزالة الشوائب الدقيقة و المواد الغروية Colloidal Substances , و بعد ذلك يوجد طريقتين لخفض حظوظ انسداد الأغشية :

الطريقة الأولى : عبر إضافة مادة كيميائية مضادة للتكلس Anti Scalent و ترسب الأملاح في خط تغذية مضخة الضغط العالي قبل وحدة التناضح العكسي.

الطريقة الثانية : بإزالة عسرة المياه في المعالجة الأولية.

غسيل الأغشية :

مبدأ العملية سهل جدا رغم أنها تتطلب بعض اللوازم مثل مضخة و خزان و خراطيم مياه إضافة إلى مواد كيميائية معينة أو استبدالها بالأكسيد لغسيل الرقم الهيدروجيني المنخفض حوالي 4 أو إضافة كوستيك صودا لغسيل الرقم الهيدروجيني العالي 12 و تتم العملية عبر تدوير السائل المطلوب إلى داخل أنبوب الأغشية و منها إلى الخزان و لمدة لا تقل عن ساعة، يتم بعدها غسيل الأغشية بمياه نظيفة و إعادة التوصيلات و تشغيل المحطة مجددا.

وبشكل عام تدوم الأغشية لعدة سنوات و من النادر أن تخفق جميعها في نفس الوقت و لكنها تبدأ بالفشل تدريجيا حتى تصل إلى مرحلة يلزم فيها تبديلها كليا مع العلم أنه يوجد أغشية قيد الاستعمال منذ أكثر من عشرين سنة.

منع نمو البكتريا :

يمكن للبكتيريا أن تنمو في المياه المخزنة و هنا تبدو أهمية ضخ مادة الكلور في المياه المنتجة لتحصينها و منع نمو أية جراثيم فيها .كما ينصح بطلاء جدران الخزانات بألوان مثل الأسود و غيره و ذلك لمنع ظهور الطحالب عليها.

استهلاك الطاقة لتقنييات تحلية المياه - جدول (7) :

جدول (7)

استهلاك الطاقة لتقنييات تحلية المياه

طريقة التحلية	التقطير الومضي متعدد المراحل	التقطير متعدد المراحل Multi-Effect Distillation MED	تضاغط البخار الميكانيكي Mechanical Vapor Compression MVC	التناضح العكسي Reverse Osmosis RO
الطاقة الكهربائية (kWh/m^3)	4 – 6	1.5 – 2.5	7 – 12	3 – 5.5
الطاقة الحرارية (kWh/m^3)	50 – 110	60 – 110	None	None
المكافئ الكهربائي للطاقة الحرارية (kWh/m^3)	9.5 – 19.5	5 – 8.5	None	None
إجمالي الطاقة الكهربائية المكافئة (kWh/m^3)	13.5 – 25.5	6.5 – 11	7 – 12	3 – 5.5

إستعمالات مياه التحلية :

تستعمل مياه التحلية لعدة غايات حياتية نوجزها بالتالي :

1 - مياه الشرب :

حيث يتم الاعتماد شبه الكلي عليها في البلاد التي تفتقر إلى مصادر طبيعية أو التي تعاني من نسب تلوث عالية في مياه مصادرها الطبيعية، كما تعتمد على هذه المنظومات المجمعات السياحية و الفنادق و عدد كبير عالميا من شركات تعبئة مياه الشرب .

2 – الصناعات :

حيث تتطلب بعض الصناعات مياه صافية و نقية Pure Water مثل صناعة المكونات الالكترونية،الأطعمة و المواد الغذائية، الأدوية و المستحضرات الطبية و غيرها.

3 – الزراعة :

في إطار التطور في المجال الزراعي يتم الاعتماد على أنظمة التناضح العكسي لتوفير مياه خالية من الملوثات و التي تسهم في التحكم بالأوبئة الزراعية حيث أفيد عن ارتفاع كمية إنتاج الخيار لدى احد المزارعين في الولايات المتحدة من 4000 إلى 7000 كيلو جرام يوميا.

صرف المياه المتخلفة من التحلية Brine Discharge:

تكون المياه المتخلفة عن عملية التحلية عالية الملوحة و يتم صرفها علي البحر بطريق المصبات البحرية . وهو خط أنابيب أو نفق يفرغ مياه الصرف البلدية أو الصناعية ، أو مياه العواصف ، أو مجاري الصرف الصحي المجمعة ، أو مياه التبريد ، أو مياه الصرف المالحة من محطات تحلية المياه إلى البحر. عادة ما يتم تصريفها تحت سطح البحر، وقد تصرف المياه علي أي مسطح مائي أو المجاري العمومية حسب كمية المياه العادمة .

نماذج بعض محطات التحلية العاملة بالتناضح العكسي :

1 - وحدة تحلية مياه البحار – مصنعة في جمهورية مصر العربية – الهيئة العربية للتصنيع :

مميزات وحدة التحلية المصنعة في مصر - شكل (29) .

شكل (29)

وحدة التحلية بنظام الضغط الأسموزي العكسي

1 – إزالة الشوائب بكفاءة عالية .

2 – إزالة الحديد بنسبة 90 % .

3 – إزالة الغرويات والبكتيريا بنسبة 100 % .

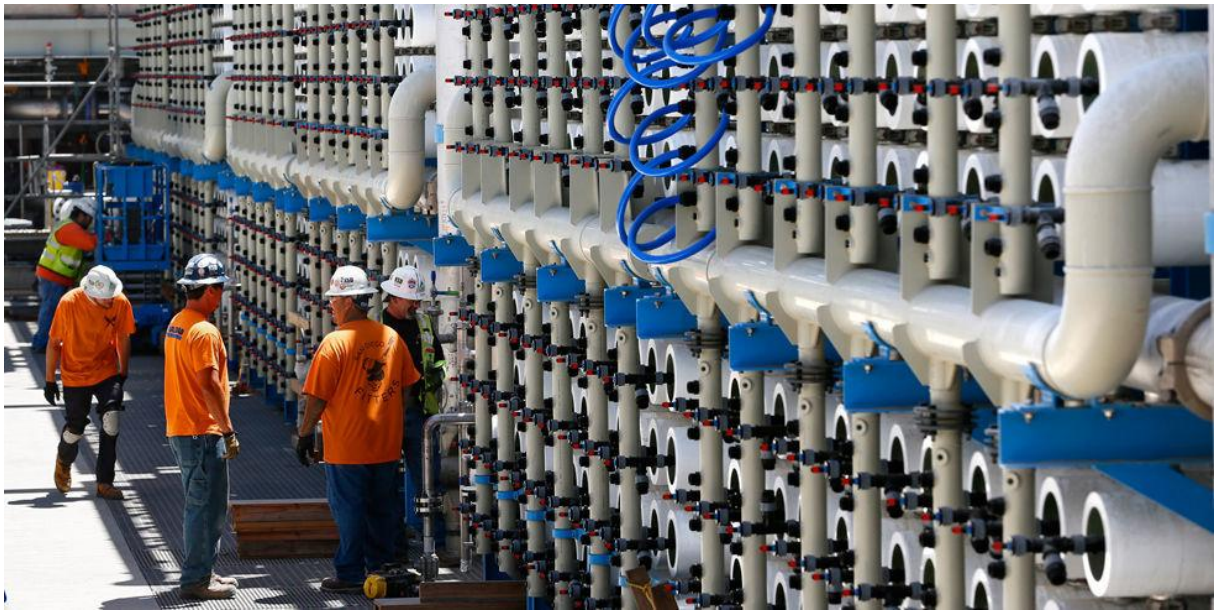
4 – استهلاك منخفض للطاقة يبلغ 8.4 كيلو وات / ساعة لكل متر مكعب يتم تحليته .

5 – سهلة التركيب و التشغيل والصيانة .

6 – تنتج 350 م3 / يوم .

2 - محطة تحلية المياه المالحة – كاليفورنيا :

تنتج المحطة 104 مليون جالون / اليوم – شكل (30) :



شكل (30)

محطة تحلية مياه المالحة – تنتج 104 مليون جالون / اليوم - كاليفورنيا

3 - محطات تحلية المياه بنظام التناضح الأسموذي العكسي :

إنشاء أكبر محطة تحلية للمياه في العالم تعمل بنظام التناضح العكسي ، مشروع " تحلية رابغ الجديدة" :

شكل (31) :

شكل (31)

إنشاء أكبر محطة تحلية للمياه في العالم تعمل بنظام التناضح العكسي ، شروع " تحلية رابغ الجديدة"

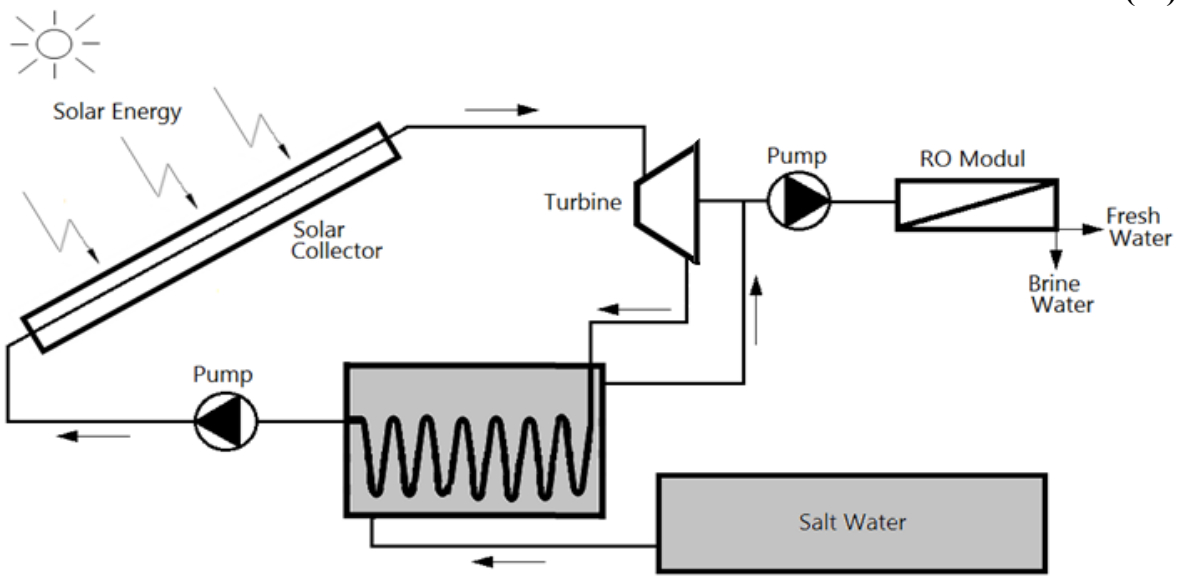
سعة تصل إلى 600 ألف متر مكعب يوميا . جدة – المملكة العربية السعودية

شكل (31)

مشاريع «تحلية المياه» تستخدم تقنية « التناضح العكسي» - محطة تحلية رابغ الجديدة

أنظمة تشغيل لأجهزة التناضح العكسي بالطاقة الشمسية:

شكل (32) :

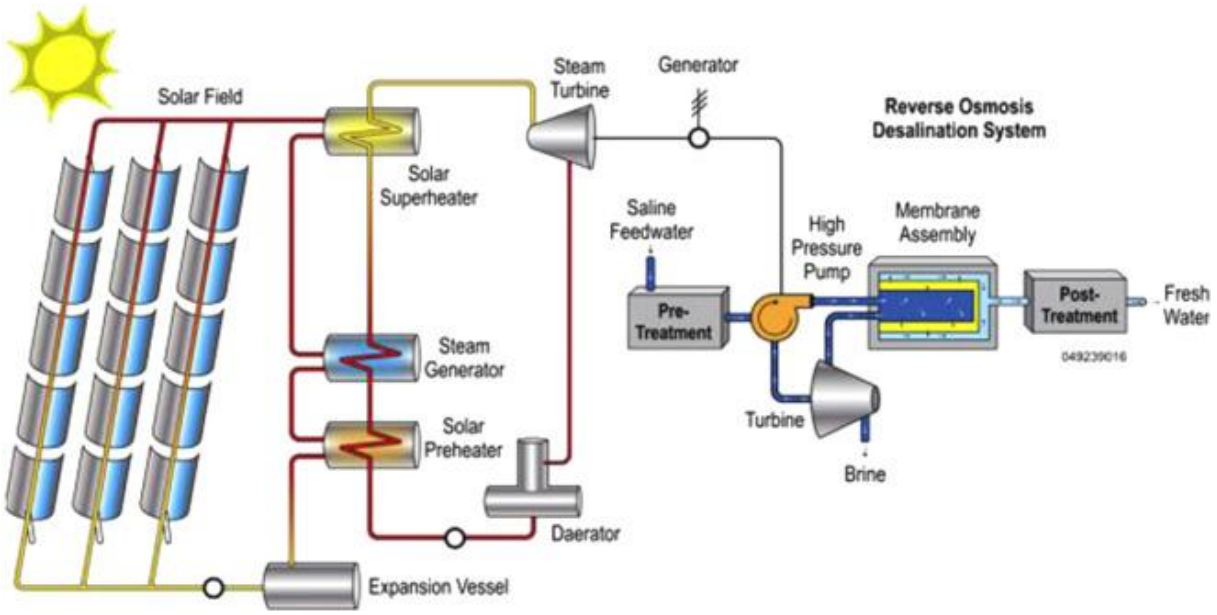


Basic Diagram of a Reverse Osmosis System Powered by a Solar-Heated Rankine Cycle

شكل (32)

محطة تحلية تولد الطاقة لأجهزة التناضح العكسي

تتركز الطريقة في الحصول علي الطاقة من الشمس لتشغيل محطة التحلية ـ شكل (33) :



شكل (33)

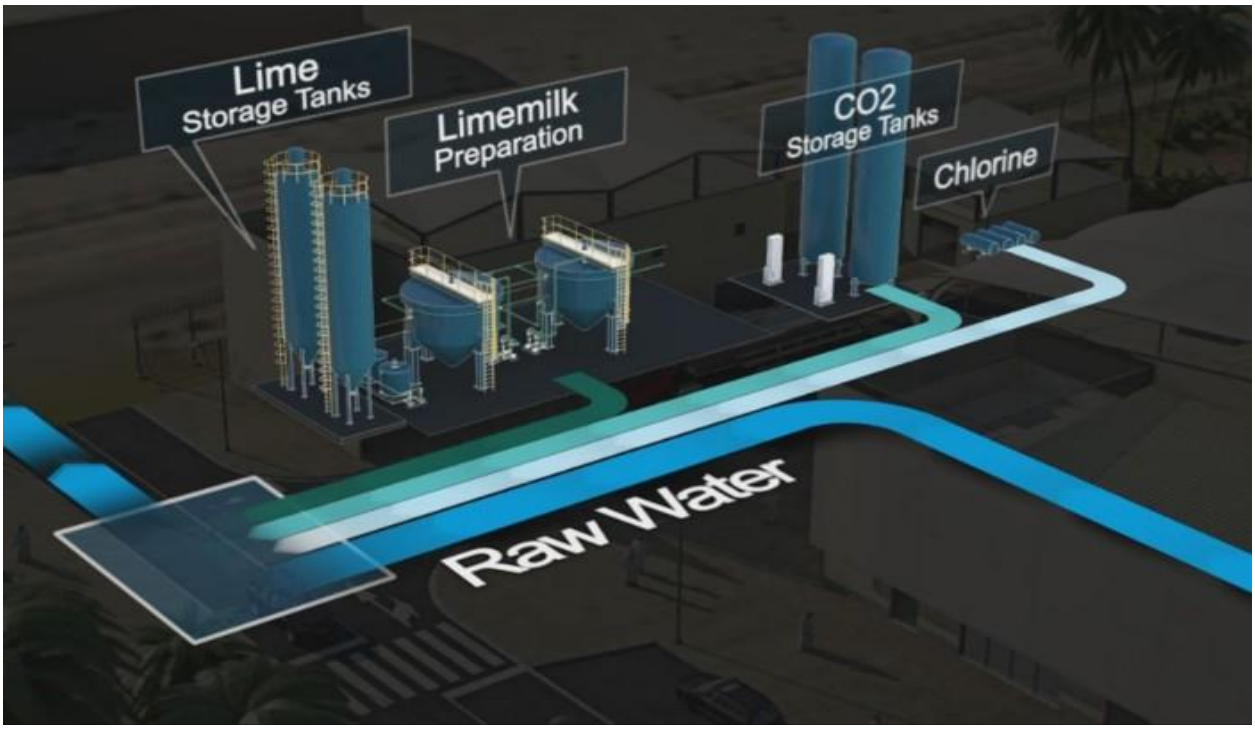
محطة تنقية تعمل بالطاقة الشمسية Schematic of A CSP/RO Desalination Plant

نموذج محطة تحلية المياه تعمل بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي – المملكة العربية السعودية :

شكل (34) :

شكل (34)

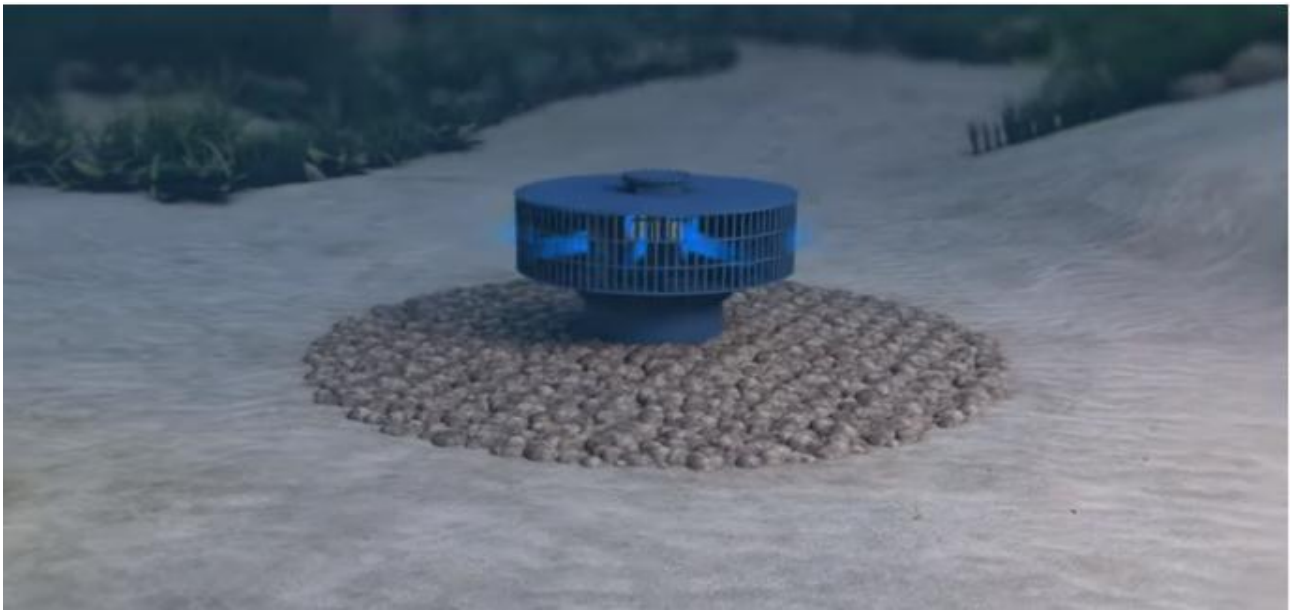
محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي – المملكة العربية السعودية



شكل (34)

محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي – المملكة العربية السعودية

محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي – المملكة العربية السعودية



المأخذ مع المصافي

شكل (34)

محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي

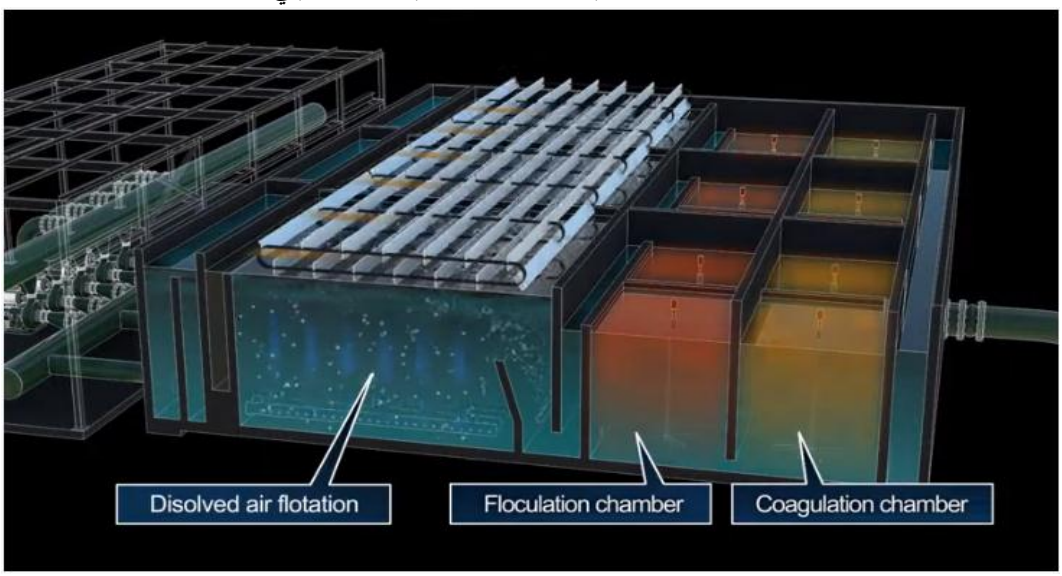
ماسورة المأخذ

محطة الطلمبات

الطفو بالهواء المذاب

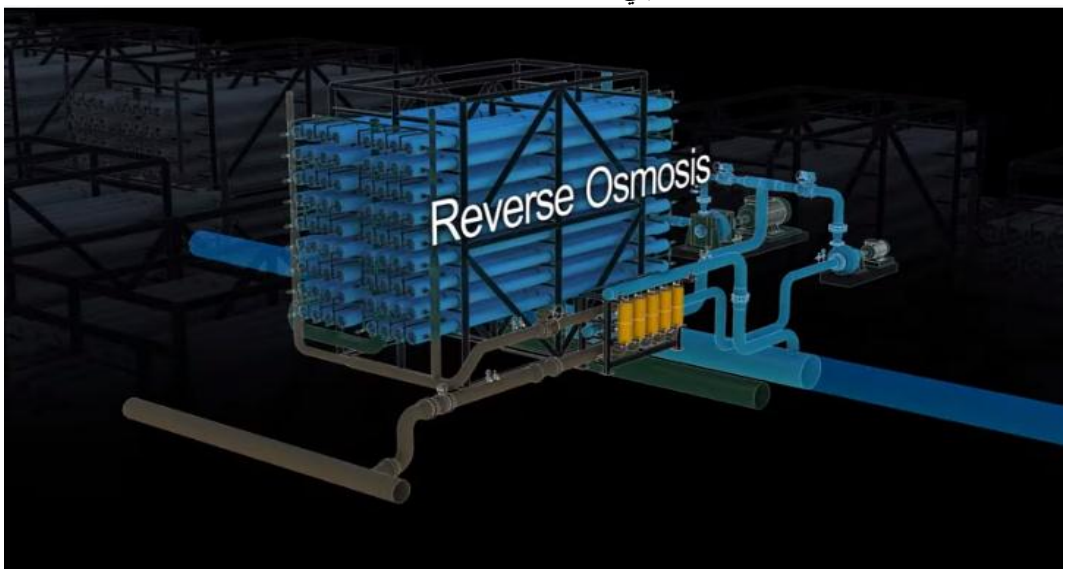
شكل (34)

محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي



محطة تحلية المياه بالطاقة الشمسية بمدينة الخفجي – المملكة العربية السعودية

محطة الخفجي لتحلية المياه يالطاقة الشمسية



مرحلة التناضح العكسي

محطة التحلية بالخفجي – المملكة العربية السعودية

شكل (34)

محطة الخفجي لتحلية المياه بالطاقة الشمسية

محطات تحلية مدمجة بالتناضح العكسي ، متنقلة داخل حاوية Containerized Reverse Osmosis (R.O.) Plants :

شكل (35) :

مميزات المحطة :

حاوية 20 قدم × 40 قدم ، ميكنة كاملة Full Instrumentation لتحلية المياه بنظام التناضح العكسي .

خدمة شاقة ، تنتج مياه محلاه عالية النقاوة من المياه المالحة Saline Water أو متوسطة الملوحة Brackish Water.

شكل (35)

محطات تحلية مدمجة ومتنقلة بنظام الضغط الأسموذي العكسي

شكل (35)

محطة تحلية داخل حاوية

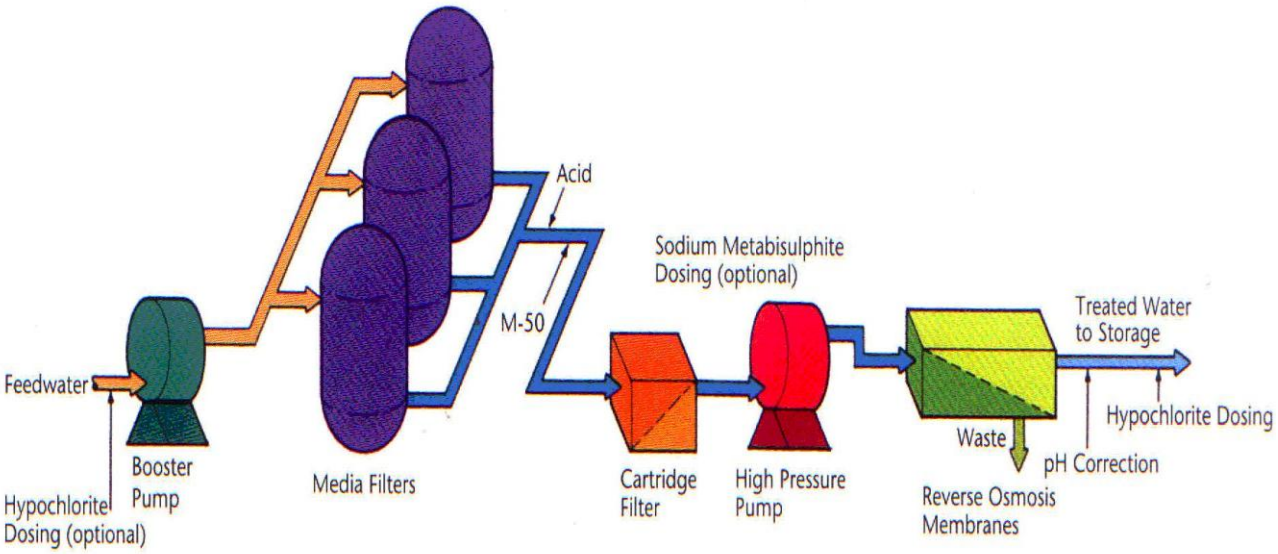
شكل (35)

محطة تحلية داخل حاوية

ملامح المحطة :

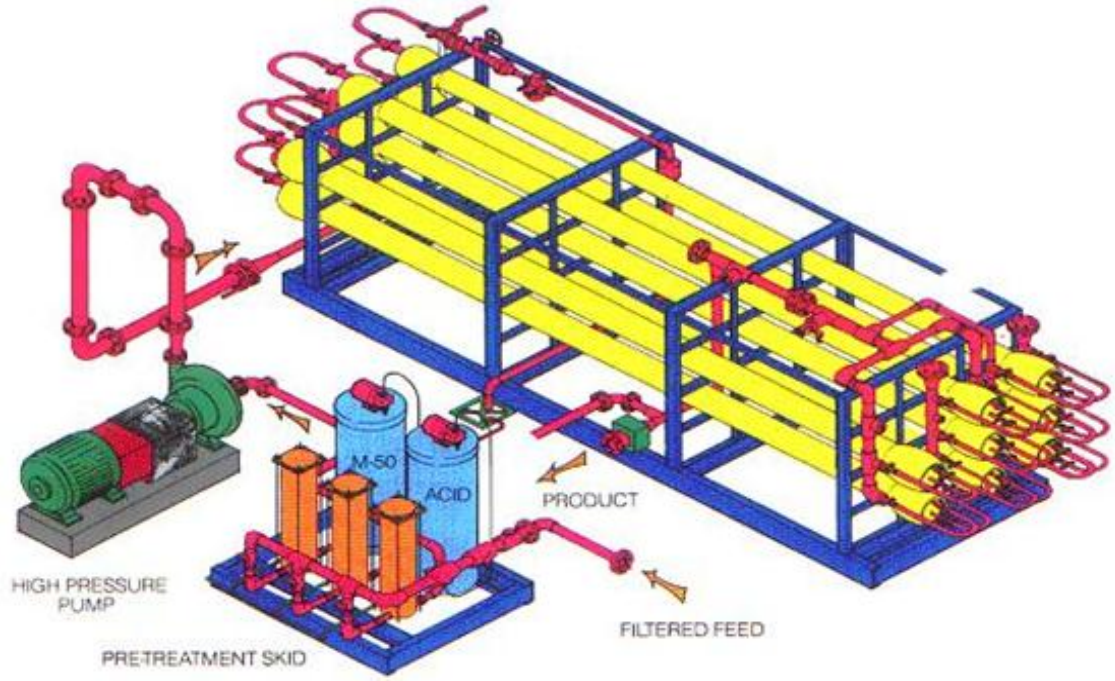
1. **مجهزة تماما بالأضاءة الكاملة و التكييف .**
2. **معزولة بالكامل .**
3. **تعقيم المياه بالأوزون أو الأشعة فوق البنفسجية .**
4. **سهولة التركيب و النقل .**

شكل محطة التحلية المدمجة النهائي – شكل (36) .



شكل (36)

مخطط التحلية للجهاز داخل الحاوية



Unit with Pre-treatment Skid and Pump Unit

شكل (36)

محطة التحلية المدمجة بنظام التناضح العكسي بالشكل النهائي

أجهزة تحلية صغيرة ذات طاقات تحلية مختلفة تناسب كافة الأغراض :

شكل (37) :

جهاز تحلية يناسب المنازل و المكاتب

شكل (37)

جهاز تحلية يصلح لليخوت – السفن – الأعمال الموجودة داخل البحر - المجتمعات الصغيرة النائية

شكل (37)

أجهزة تحلية مياه مالحة مختلفة

YANGTZE GROUP CHINA LIMITED

شكل (37)

نظام تحلية المياه/مياه البحر الجديدة تنقية RO يوميا تحلية مياه البحر/مياه البحر 3000L

تحلية المياه بتقنية غشاء ترشيح النانوNano Filtration

ثانيا : ترشيح المياه بتقنية النانو Nano Filtration:

يتم اختيار تقنية الترشيح بأغشية النانو Nano Filtration عندما تكون عملية الترشيح الفائق Ultra Filtration مع عملية التناضح العكسي Reverse Osmosis لا تلبي عملية الترشيح المطلوبة . فالترشيح بتقنية النانو يمكنه من عمليات فصل المعادن الذائبة Demineralization و أزالة الألوان و تحلية المياه .

و استخدام NF و RO في مجموعة واسعة من التطبيقات ، مثل تنقية المياه لإنتاج المياه الصالحة للشرب (بشكل رئيسي تحلية مياه البحر والمياه المالحة) للدول النامية ، ورفض المبيدات الحشرية وإنتاج المياه عالية النقاوة لصناعة أشباه الموصلات .

و قد اشتقت كلمة نانو من كلمة اغريقية تعنى القزم ، واحد نانومتر جزء من البليون . أما طريقة الترشيح النانوي للمياه فهي تتم عبر مرشحات دقيقة وعند ضغوط صغيرة . المبدأ الأساسي لتكنولوجيا أغشية الترشيح الدقيقة جدا هو استخدام الضغط لفصل الأيونات الذائبة في المياه عبر غشاء شبه منفذ و تعمل تحت مواصفات هيدروليكية مختلفة . يعمل الترشيح النانوي (NF) ، في معالجة المياه . بشكل عام ، يتيح نظام الغشاء NF تمرير ملح أكثر من غشاء RO. بالإضافة إلى ذلك ، ينتج عنصر الغشاء NF نفس كمية المنتج بنسبة 50 إلى 70٪ من الضغط المطبق في نظام معالجة المياه RO .

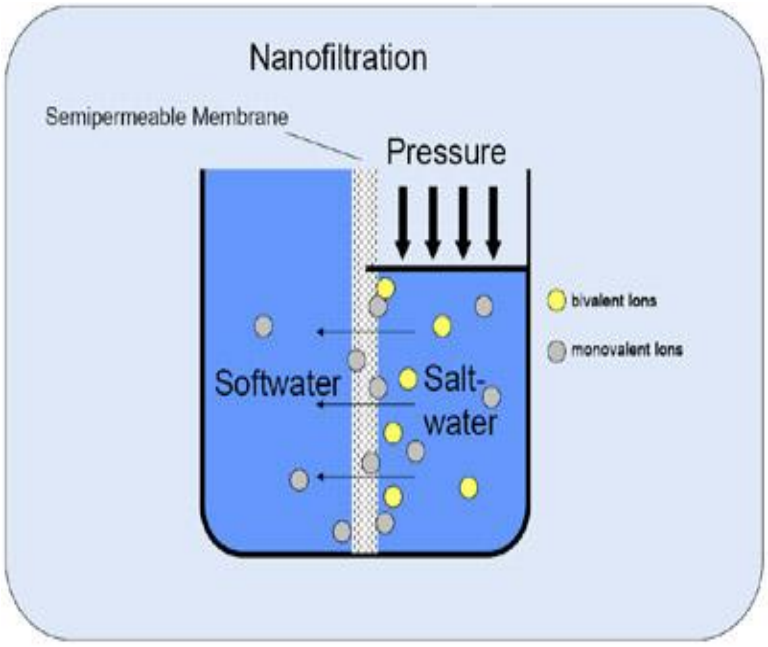
أن معظم أغشية الترشيح الدقيق جدا عبارة عن مواد مركبة يدعمها البوليمر و تصنع في شكل حلزوني بدلا من الأغشية المسطحة ، و هي أفضل الطرق المستخدمة في التطبيقات الصناعية . يتم تطبيق الترشيح النانوي بشكل طبيعي لإزالة المعادن وإزالة الألوان وتحلية المياه . تختلف انواع الاغشية النانونية بحسب نوع المواد الكيميائية المستخدمة وبنية تلك الكيماويات وقدرتها على رد الأملاح ، وبناءا على ذلك فيلزم اختيار نوع الغشاء النانوي المناسب للماء المراد تنقيته وملوحته. و معظم أغشية الترشيح الدقيق جدا عبارة عن مواد مركبة مع البوليمر مصنعة في شكل حلزوني و الذي يمثل أفضل الطرق المستخدمة للتطبيقات الصناعية بدلا من الأغشية مسطحة التصميم .

ما هو الترشيح النانوي(NF) ؟

عادةً ما تزيل أغشية الترشيح النانوي 50٪ - 90٪ من أيونات أحادية التكافؤ مثل الكلوريدات أو الصوديوم. تصميم وتشغيل المرشحات المستخدمة في NF يشبه إلى حد كبير تصميم التناضح العكسي مع بعض الاختلافات. تلك التي تكون الغشاء ليست "ضيقة" Tight مثل أغشية RO مع ضغط أقل لمياه التغذية. شكل (38) يوضح نظرية الترشيح بتقنية النانو .

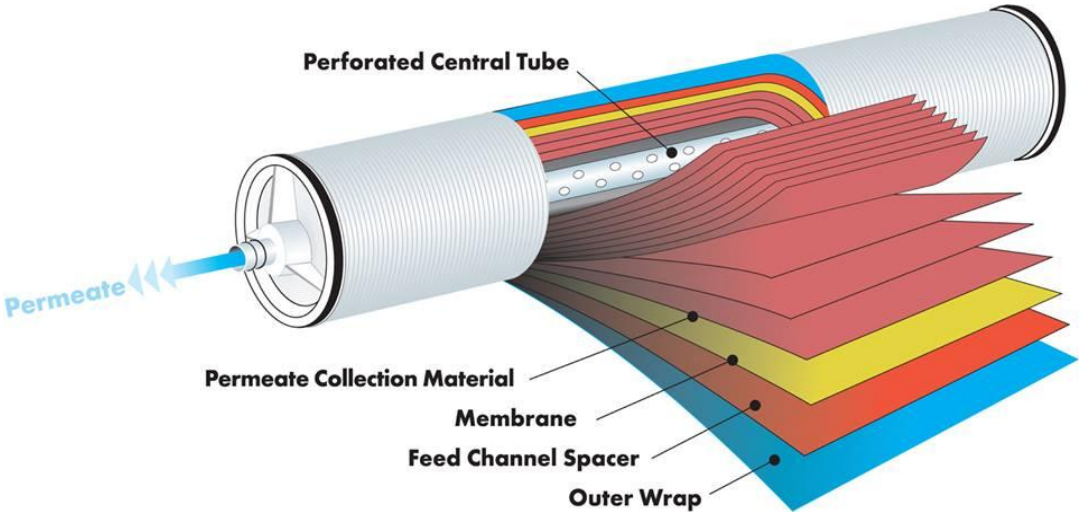
يمكن استخدام NF في العمليات التالية :

- معالجة المياه .
- المعالجة المسبقة ل RO .
- الأدوية .
- المنسوجات .
- المخابز .
- منتجات الألبان .



توضيح نظرية الترشيح بتقنية النانو

أغشية الترشيح بتقنية النانو Nano filtration Membranes



شكل (38)

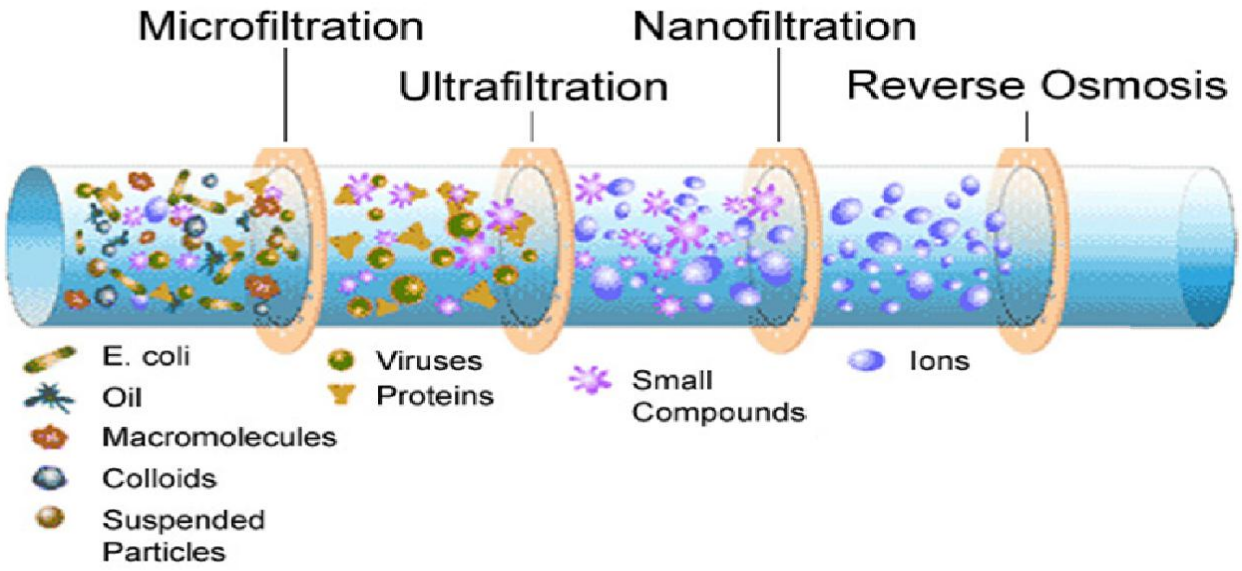
أغشية الترشيح بتقنية النانو Nano filtration Membranes

غشاء السيراميك بالترشيح النانوي:

غشاء الترشيح النانوي الخزفي هو نظام ترشيح غشائي حديث نسبيًا ، بهدف تليين وإزالة سلائف التطهير الثانوية مثل المواد العضوية الطبيعية والمواد العضوية الاصطناعية – شكل (38).

شكل (38)

غشاء السيراميك للترشيح النانوي Nano filtration Ceramic Membrane Element



شكل (38)

كفاءة الأغشية

الاستخدامات الأخرى للترشيح النانوي هي :

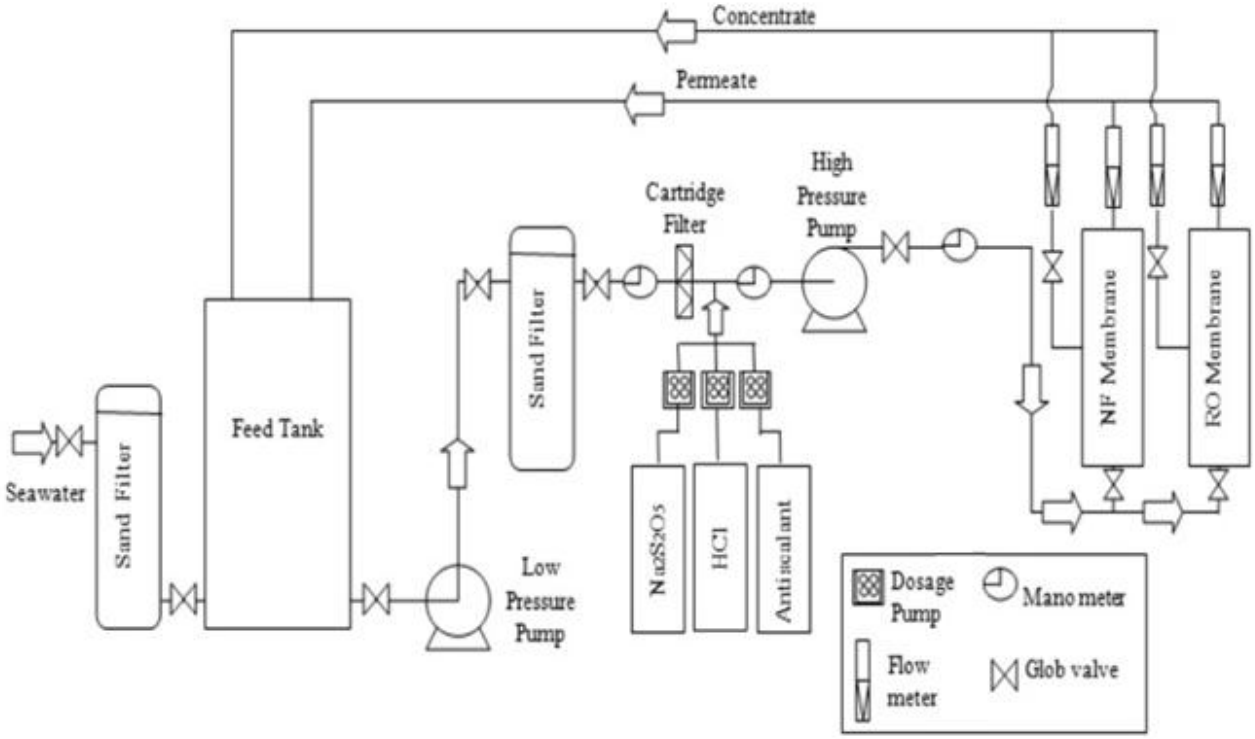
- أزالة المعادن الثقيلة من المياه الجوفية Removal Of Heavy Metals.
- أزالة المبيدات الحشرية من المياه الجوفية Pesticides.

- تيسير المياه الجوفية Water Softening .
- أزالة النترات Nitrate Removal
- إعادة تدوير مياه الصرف في مرافق الغسيل .

المعالجة المسبقة للترشيح بواسطة أغشية النانو :

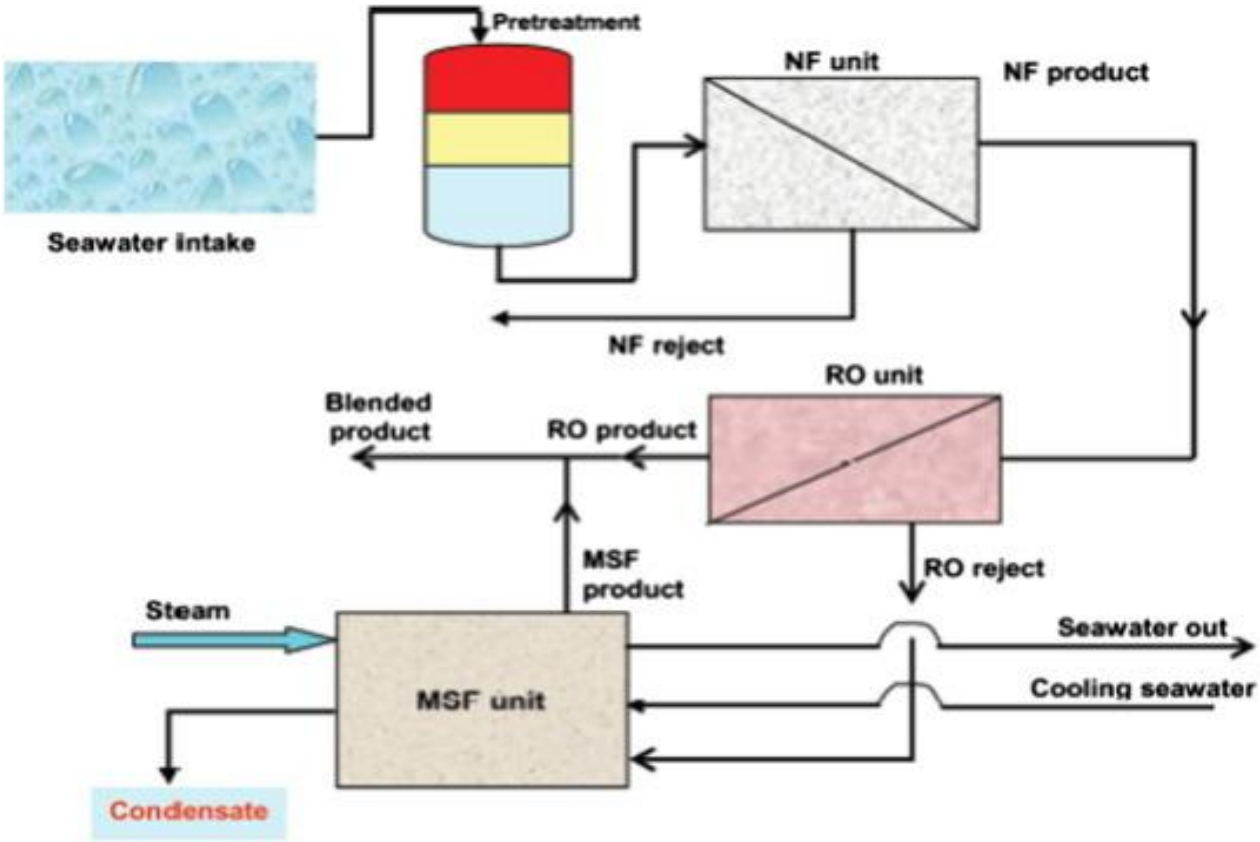
Pre-Treatment With Nanofiltration (NF) In Seawater Desalination

الترشيح بأغشية النانو له تطبيقات في عدة مجالات– شكل (39) . وكان أحد التطبيقات الرئيسية في معالجة المياه المالحة ومياه البحر لإنتاج مياه الشرب وكذلك لمعالجة مياه الصرف الصحي و استخدامها كعلاج مسبق لتحلية المياه. ويعتبر إدخال النانو كعلاج مسبق بمثابة اختراق لعملية تحلية المياه. الأغشية النانو لديها القدرة على إزالة العكارة والعسر والفلوريد والنترات وكذلك جزء كبير من الأملاح الذائبة. يمكن إجراء تحلية المياه بضغط تشغيل أقل بكثير وتصبح عملية أكثر كفاءة في استخدام الطاقة.



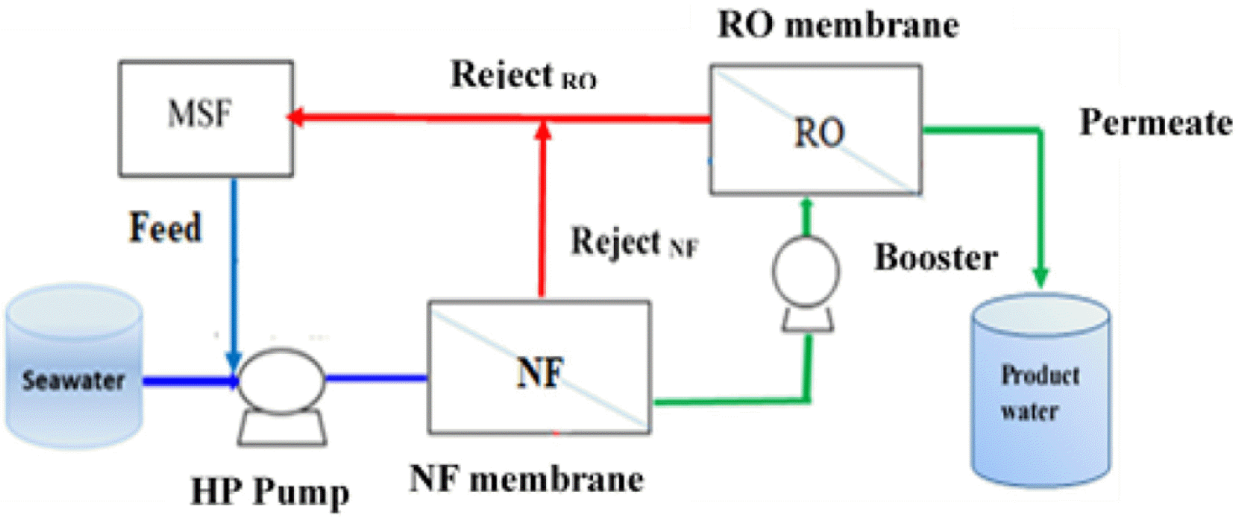
شكل (39)

المعالجة المسبقة للترشيح بواسطة أغشية النانو مع التناضح العكسي



تطوير عملية تحلية المياه باستخدام أغشية النانو

Development of Lower Cost Seawater Desalination Processes Using Nanofiltration Technologies



Environmental Engineering Research

شكل (39)

محطة تحلية باستخدام أغشية النانو و أغشية التناضح العكسي

Modeling and Optimization of Small-Scale NF/RO Seawater Desalination Using the Artificial Neural Network (ANN)

شكل (39)

الترشيح بأغشية النانو

التنقية باستخدام النانو :

1. **عمل المعالجة المسبقة للمياه – الباب الثاني .**
2. **يتم ضخ المياه الي محطة التنقية .**
3. **تعمل تنقية مبدئية للمياه بأغشية النانو.**
4. **تضخ الطلمبات المياه تحت ضغط خلال غشاء نانو .**
5. **تخرج المياه المنقاة الي المعالجة اللاحقة للمياه (الباب العاشر) الي خزان التجميع ثم الي عملية التعقيم (الباب الحادي عشر) ثم الي التوزيع بواسطة الطلمبات الي الأستهلاك .**
6. **تخرج المياه المتخلفة الي خزان آخر حيث يتم ضخ المياه الي الخارج (الباب الحادي عشر).**

أنواع الأغشية المستخدمة :

1 - أغشية حلزونية Spiral Membranes . تكون المساحة السطحية للأغشية أكبر منها في حالة الأغشية الأنبوبي و تكون أكثر كفاءة .

2 - أغشية أنبوبية Tublar Membranes .

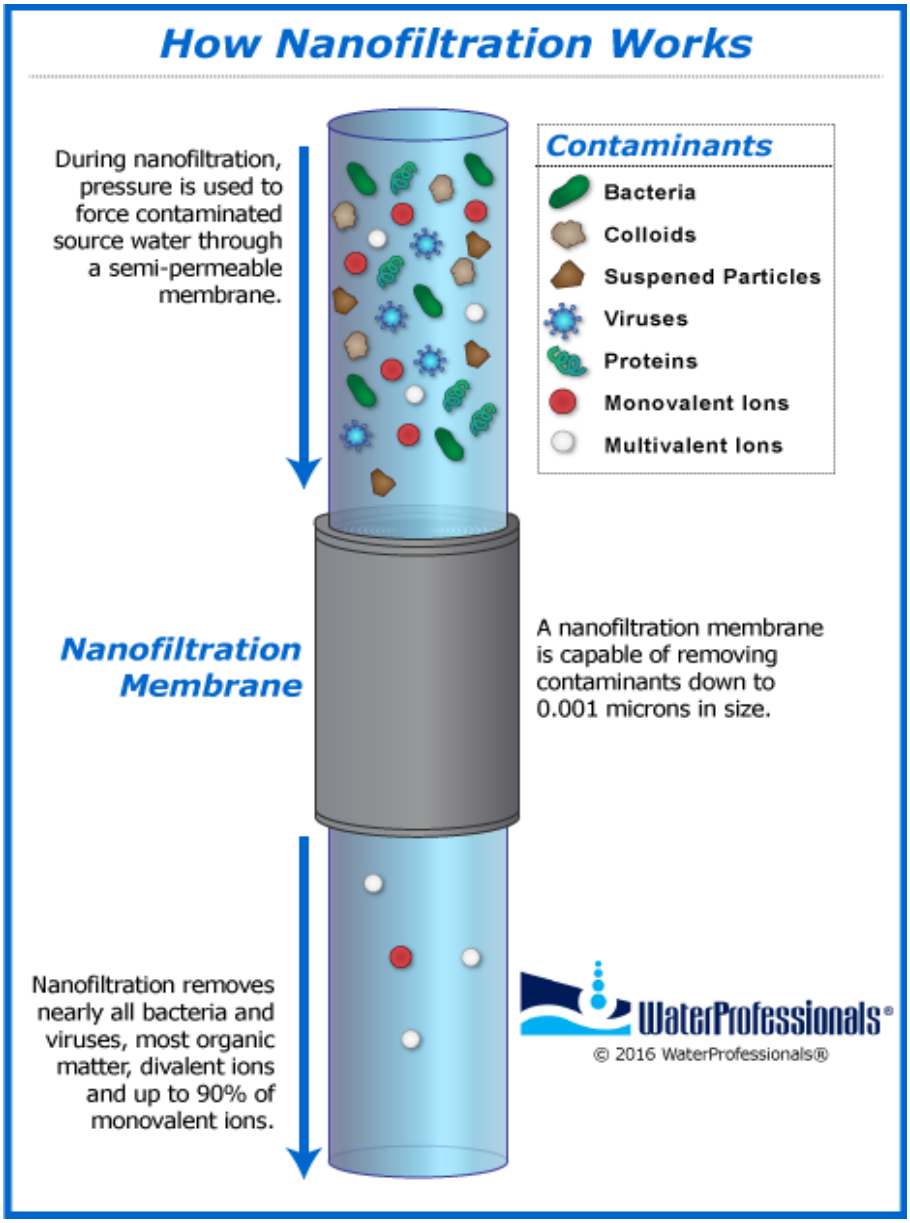
مواصفات الغشاء Membrane Specifications:

تستعمل مواد البولمرات مثل البولي سلفون Polysulfone و بولي بروبيلين Polypropylene و أسيتات السيليولوز . يستعمل الأغشية من السيراميك في حالة التطبيقات الحرارية العالية .

مقاس الفتحات Pore Size : يختار مقاس الفتحات في الأغشية 10/1 من مقاس الجزيئات التي يتم حجزها .

عمل أغشية النانو - شكل (40) :

.



شكل (40)

طريقة عمل أغشية النانو

خواص نظام النانو :

1. أقل تكلفة تشغيل .
2. أقل طاقة تشغيل .
3. المياه العادمة أقل جودة بالمقارنة بعملية التناضح العكسي .
4. تزيل 95 % من المعادن الثقيلة بالأضافة الي الألوان .
5. تقليل عسر الماء و مستوي الأملاح .
6. القضاء علي البكتيريا .
7. تقليل النترات و الكبريتيدات .
8. مناسب لأعمال تنقية المياه من الأنهار و الآبار و الأمطار .
9. يزيل الحديد و الجير و أملاح أخري .
10. يستعمل في تحلية المياه .

المعالجة اللاحقة Post-treatment :

كما هو الحال مع الأغشية الأخرى القائمة على الأغشية مثل الترشيح الفائق والترشيح الدقيق والتناضح العكسي ، فإن المعالجة اللاحقة إما لتدفق المياه المحلاة أو لصرف العادم و هي مرحلة ضرورية في فصل NF الصناعي قبل التوزيع التجاري للمنتج. يعتمد اختيار وترتيب عمليات الوحدة المستخدمة في المعالجة اللاحقة على لوائح جودة المياه المطلوبة وتصميم نظام NF. تتضمن أتباع معايير جودة مياه الشرب . مراحل ما بعد المعالجة النموذجية لتنقية المياه NF التهوية والتطهير والتثبيت.

يرجي الرجوع الي الباب العاشر للمعالجة اللاحقة .

التهوية Aeration :

يتم استخدام البولي فينيل كلوريد (PVC) أو البلاستيك المقوى بالألياف Fibre-Reinforced Plastic (Frp) لإزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من المياه المحلاة . ويتحقق ذلك عن طريق نفخ الهواء في اتجاه معاكس للماء المتساقط من خلال مواد معبئة في جهاز إزالة الغازات. يجرد الهواء الغازات غير المرغوب فيها من الماء بشكل فعال. يُعرف الترشيح النانوي أيضًا باسم "التناضح العكسي السائب loose RO ويمكن أن يرفض الجسيمات الأصغر من 0 - 001 ميكرومتر. يمكن استخدام الترشيح النانوي كعلاج مسبق قبل التناضح العكسي الموجه.

التطهير والاستقرار Disinfection and Stabilisation :

المياه المحلاة من تقنية النانو NF تكون منزوعة المعادن ويمكن التخلص منها بتغيرات كبيرة في الرقم الهيدروجيني pH ، وبالتالي توفير خطر كبير للتآكل في الأنابيب ومكونات المعدات الأخرى. لزيادة استقرار الماء ، يتم استخدام الإضافة الكيميائية للمحلول القلوية مثل الجير والصودا الكاوية. علاوة على ذلك ، تتم إضافة المطهرات مثل الكلور أو الكلورامين لتضاف إلى المياه المحلاة ، بالإضافة إلى مثبطات الفوسفات أو الفلورايد في بعض الحالات .

يرجي الرجوع الي الباب الحادي عشر الخاص بتطهير المياه .

الترشيح الفائق Ultrafiltration Membrane UF

ثالثا : الترشيح الفائق :

وصف نظام الترشيح الفائق :

تأتي هذه العملية كخطوة في المعالجة المسبقة لتسبق عملية التناضح العكسي لمياه البحار UF Membrane For Pretreatment of Seawater Desalination ويرجع ذلك إلى التقدم في تكنولوجيا الأغشية UF .

ويستخدم الترشيح الفائق في تنقية المياه السطحية أو الجوفية من المواد الصلبة العالقة و الغرويات و كل أنواع الكائنات الدقيقة مثل الباكتيريا و الفيروسات و الكائنات ذات الخلية الواحدة و الجراثيم و اليرقات .

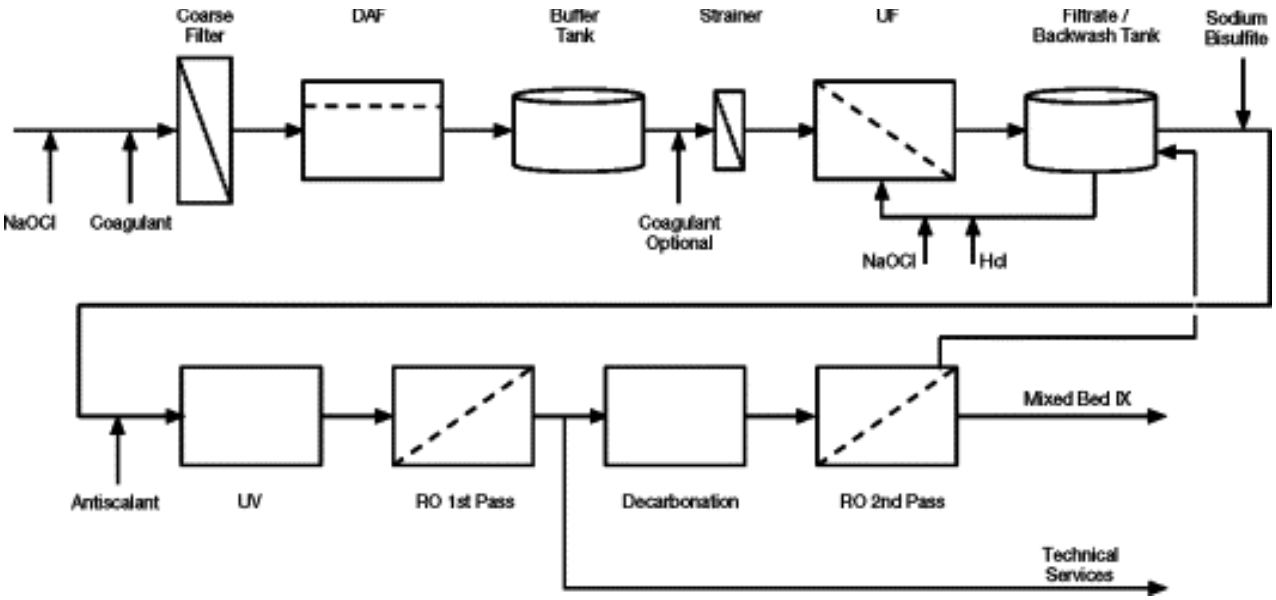
نظم الترشيح الفائق (UF) هي أنظمة الفلترة الدقيقة في وجود غشاء دقيق المسامات بحجم المسام بما يقرب من 0.01 ميكرون ، حيث يدفع الضغط الهيدروليكي المذيبات ضد غشاء دقيق جدا. يتم حجب الجسيمات والمواد الصلبة العالقة التي تكون كبيرة الحجم في حين يتم السماح للماء والمواد المذابة ذات الوزن الجزيئي المنخفض في التدفق من خلال الغشاء. تستعمل هذه الأغشية في الصناعة والبحوث . وأنظمة الترشيح الفائق تزيل الحاجة إلى تنقية المياه باستخدام الطرق التقليدية التي تتطلب مساحات كبيرة. نظم الترشيح الفائق فعالة تستخدم الأغشية التي يمكن أن تكون مغمورة، أتوماتيكية الغسيل العكسي، مع أو بدون استخدام الهواء خلال مراحل الغسيل العكسي . الأغشية من نوع UF / MF أفضل ما توصلت إليه تقنية معالجة المياه ومياه الصرف الصحي . الترشيح الفائق هو عملية فصل الغشاء الذي يزيل الجسيمات العالقة (تشمل المواد الغروية، والطمي) من المياه بالإضافة إلى إزالة العكارة الفائق ، والأغشية فائقة الترشيح تزيل البكتيريا ومعظم الفيروسات بكفاءة . نظم الترشيح الفائق Ultrafiltration تلغي الحاجة لأنظمة المرشحات متعددة الوسائط . تصميمات جاهزة تستند إلى اتجاه تدفق المياه من الخارج إلى الداخل والذي يقلل من فرصة إنسداد الأغشية من قبل المواد الصلبة العالقة، و بالتالي، سنحصل على أعلى تدفق وسهولة في التنظيف .

يمكن استخدام UF في العمليات التالية :

- معالجة مياه الصرف .
- تركيز البروتينات .
- فصل العمليات الكيميائية .
- فصل مستحلبات الزيت / الماء .
- إزالة مسببات الأمراض من الحليب .
- توضيح عصائر الفاكهة .

ملاحظة :

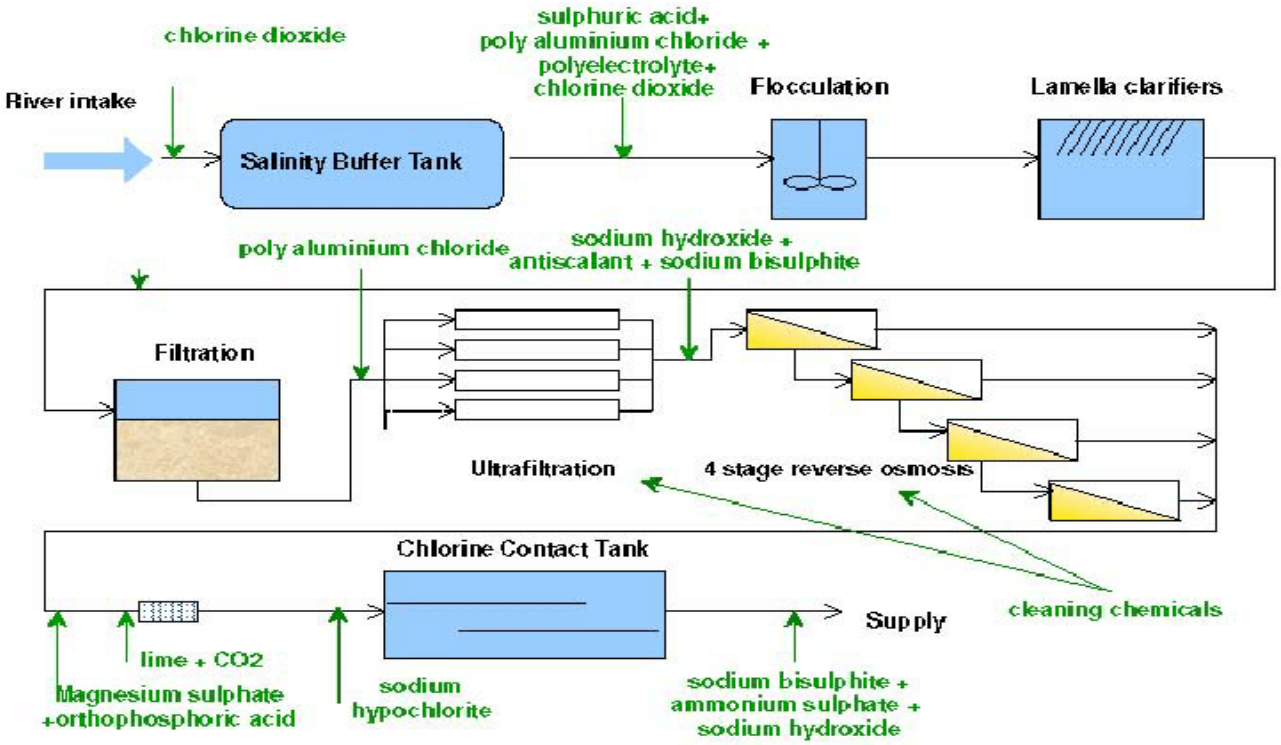
نظام الترشيح الفائق لا يقوم بمفرده بتحلية مياه البحر و أنما يكون في المعالجة المسبقة للمياه قبل أنابيب التناضح العكسي .



التحلية قبل المعالجة بأغشية الترشيح الفائق

Desalination Pre-Treatment: Efficient Ultrafiltration For Seawater

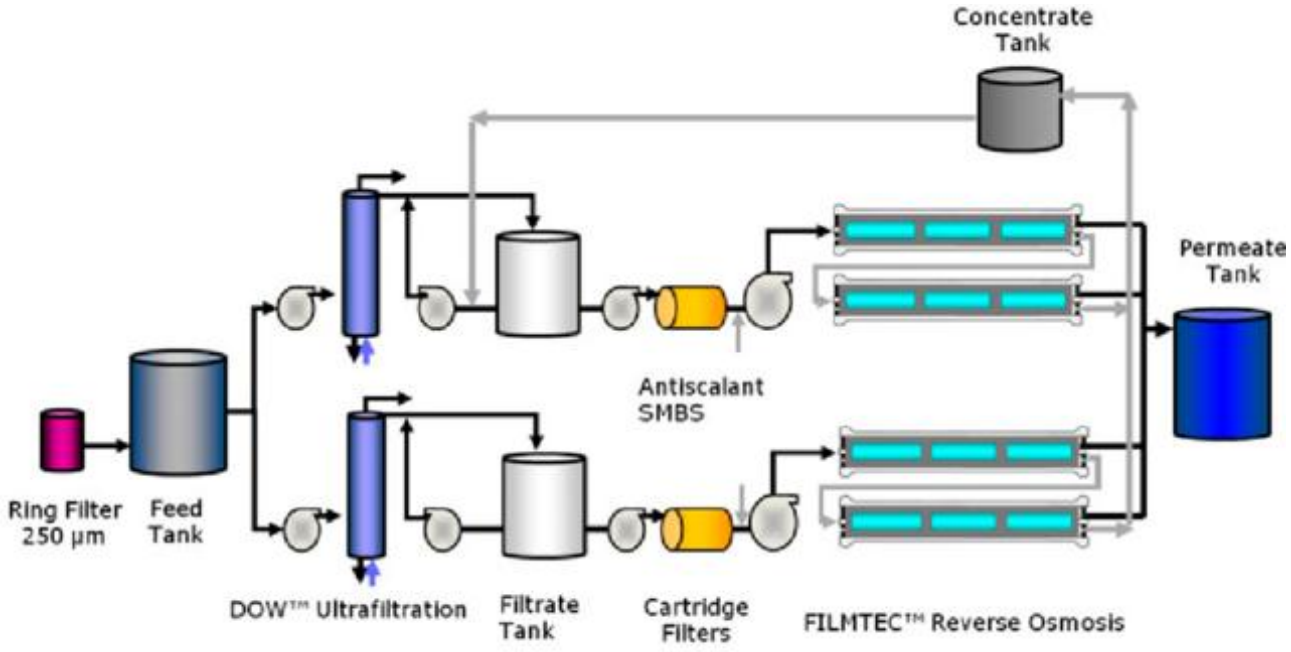
مخطط لمحطات معالجة مياه البحار بتقنية الترشيح الفائق بالاشتراك مع تقنية التناضح العكسي – شكل (41).



شكل (41)

نموذج لمحطة معالجة مياه البحار بتقنية الترشيح الفائق بالاشتراك مع تقنية التناضح العكسي (أربع مراحل)

Beckton Desalination Plant Process Schematic



شكل (41)

نموذج لمحطة معالجة مياه البحار بتقنية الترشيح الفائق بالاشتراك مع تقنية التناضح العكسي

Ultrafiltration And Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant.

أنابيب التحلية بالترشيح الفائق – شكل (42) :

شكل (42)

محطة للترشيح الفائق للمياه Ultra Filtration Plant

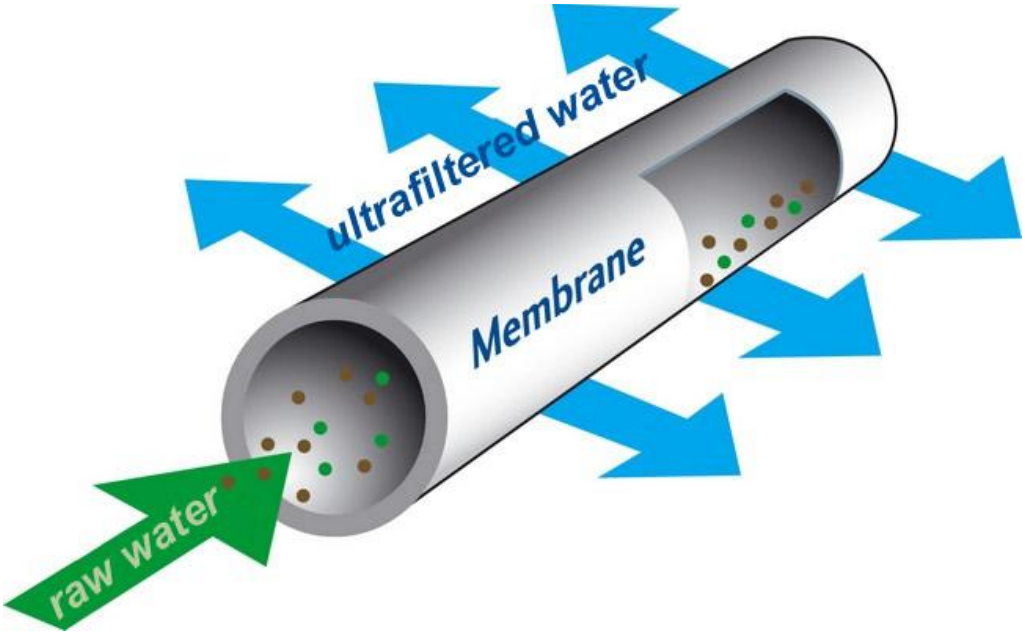
شكل (42)

محطة للترشيح الفائق للمياه Ultra Filtration Plant 50 متر مكعب / ساعة ، يستخدم للأعمال الصناعية

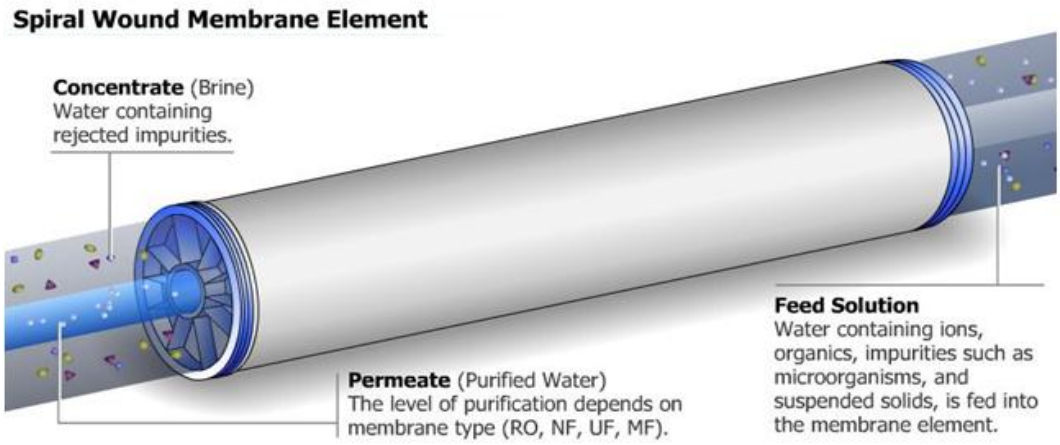
غشاء الترشيح الفائق :Ultra Filtration Membrane :

غشاء الترشيح الفائق هو في شكل الألياف المجوفة من أقل من واحد ملليمتر في القطر. وهي تتألف من نوع يسهل اختراقها، مع حد أقصى لحجم المسام من 0,01 ميكرون، أو 10,000 مرات أرق من شعرة الإنسان.تصنع الأغشية من المواد العضوية بولي سولفان الجلد مزدوجة. هذا يعني أنه خلال عملية الترشيح، ويتم تصفية الماء مرتين، مما يحسن كثيرا من كفاءة الترشيح.الترشيح هو نوع الخارجي الداخلية، وهو ما يعني أن الماء المصفى سيتم اتخاذها داخل ألياف جوفاء. المواد الصلبة العالقة، والكائنات الدقيقة والفيروسات يتم الاحتفاظ جيدا على السطح الخارجي للألياف.تزيل الأغشية بهذا الجهاز العوالق الدقيقة و الغروية بحجم 0,01 - 0,1 ميكرون بجانب أي عكارة موجودة في المياه و كذلك البكتيريا و غالبية الفيروسات .

تفاصيل غشاء عملية الترشيح الفائق – شكل (43) :



تفاصيل عملية الترشيح الفائق



جنرال أليكتريك

تفاصيل الغشاء الحلزوني لأعمال تنقية المياه

شكل (43)

أغشية الألياف المجوفة Hollow Fiber UF Membranes

مخطط تنقية المياه المالحة باستخدام الترشيح الفائق مع تقنية التناضح العكسي :

شكل (44) :

شكل (44)

مخطط تنقية المياه المالحة باستخدام الترشيح الفائق مع تقنية التناضح العكسي

Process Flow Diagram

فوائد الترشيح الفائق :

- **يفصل المواد الرغوية Separate Colloidal Materials.**
- **الزيوت المستحلبة Emulsified Oils**
- **المواد البيولوجية الدقيقة Micro Biological Materials**
- **جزيئات عضوية كبيرة Large Organic Molecules**

ملاحظة :

تقنية الترشيح الفائق تستخدم في المعالجة المسبقة للتناضح العكسي لتحلية مياه البحر للحصول علي مياه محلاة صالحة للشرب .

تحلية المياه بغشاء الترشيح الدقيق

Seawater Desalination with Microfiltration Membrane (MF)

رابعا : تحلية المياه بتقنية غشاء الترشيح الدقيق :

Membrane Seawater Desalination with Microfiltration (MF)

ما هو الترشيح الدقيق (MF)؟

الترشيح الدقيق هو عملية إزالة المواد الصلبة العالقة من الماء بالضغط المنخفض عبر غشاء لفصل الغرويات والجسيمات العالقة في نطاق 0.05 - 10 ميكرون ، غالبًا ما يستخدم الترشيح الدقيق كعلاج مسبق لعمليات الفصل الأخرى. - شكل (45). وبالمثل ، يتم استخدام أغشية MF في النفايات السائلة الثانوية لإزالة العكارة ولكن أيضًا لتوفير المعالجة للتطهير. في هذه المرحلة ، من المحتمل أن تتم إضافة مواد التخثر (الحديد أو الألومنيوم) لترسيب الأنواع مثل الفوسفور والزرنيخ . المعالجة المسبقة Desalination Pretreatment حيث يتم استخدامه والعمل مع العديد من عمليات الفصل الأخرى مثل الترشيح الفائق والتناضح العكسي .

مبادئ عامة :

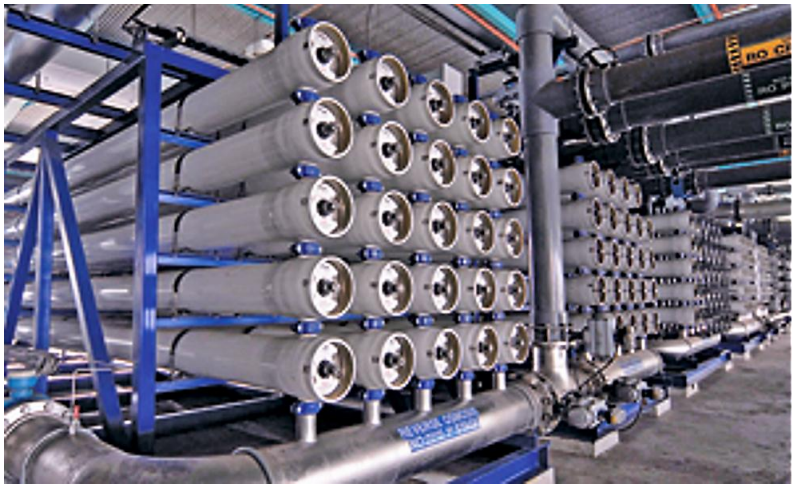
يتم تمرير السائل المعلق من خلال غشاء ترشيح دقيق (أحجام المسام بين 0.1 - 10 ميكرومتر) بسرعة عالية نسبياً تبلغ حوالي 1-3 م / ث وضغوط منخفضة إلى معتدلة (حوالي 100-400 كيلو باسكال) موازية أو عرضية للغشاء شبه النفاث في شكل ورقة أو أنبوبي . عادة ما يتم تركيب المضخة على معدات المعالجة للسماح للسائل بالمرور عبر مرشح الغشاء. هناك أيضًا نوعان من تكوينات المضخات ، إما مدفوعة بالضغط أو التفريغ. عادة ما يتم إرفاق مقياس الضغط التفاضلي أو العادي لقياس انخفاض الضغط بين المخرج وتيارات المدخل .

يمكن أن يكون الاستخدام النموذجي لنظام الترشيح الدقيق (MF) :

- معالجة مسبقة لعملية تحلية مياه البحر و كذلك معالجة مياه أخرى .
- أنواع معينة من معالجة النفايات السائلة .
- تطبيقات معينة لفصل الزيت عن الماء .
- معالجة مياه الصرف .
- تعقيم المشروبات والأدوية دون التضحية بالنكهة .
- معالجة منتجات الألبان مع السماح بمرور البروتين .

أنواع الأغشية :

شكل (45) :



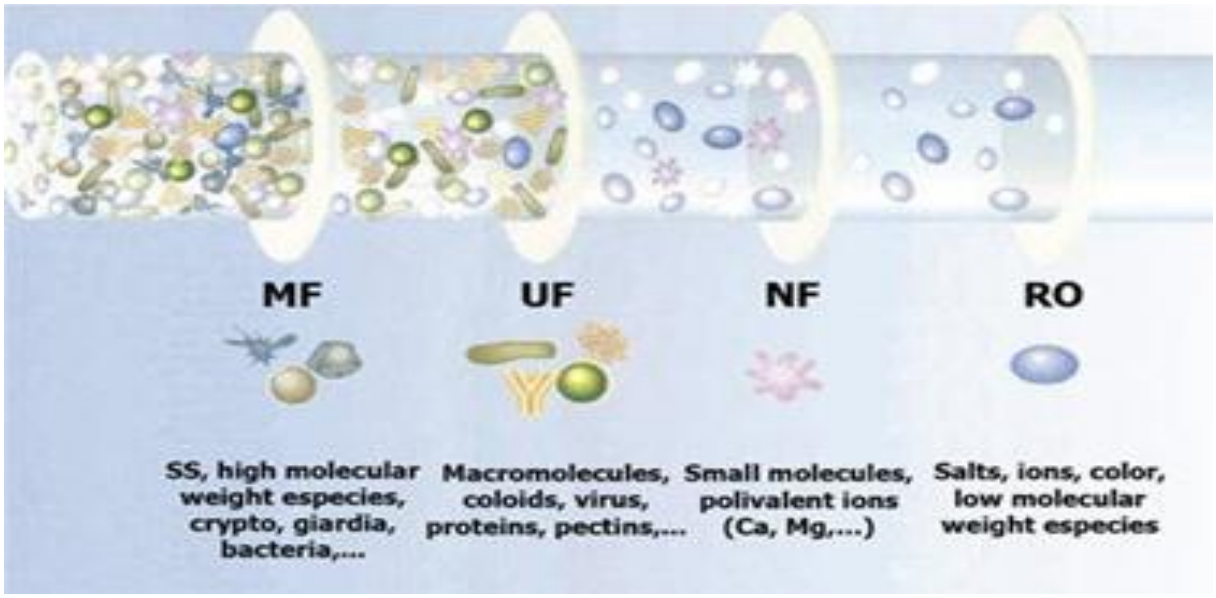
Microfiltration Ceramic Membrane Element

شكل (45)

أنواع الأغشية

American Membrane Technology Associations

Microfiltration Membrane Filtration غشاء ترشيح دقيق

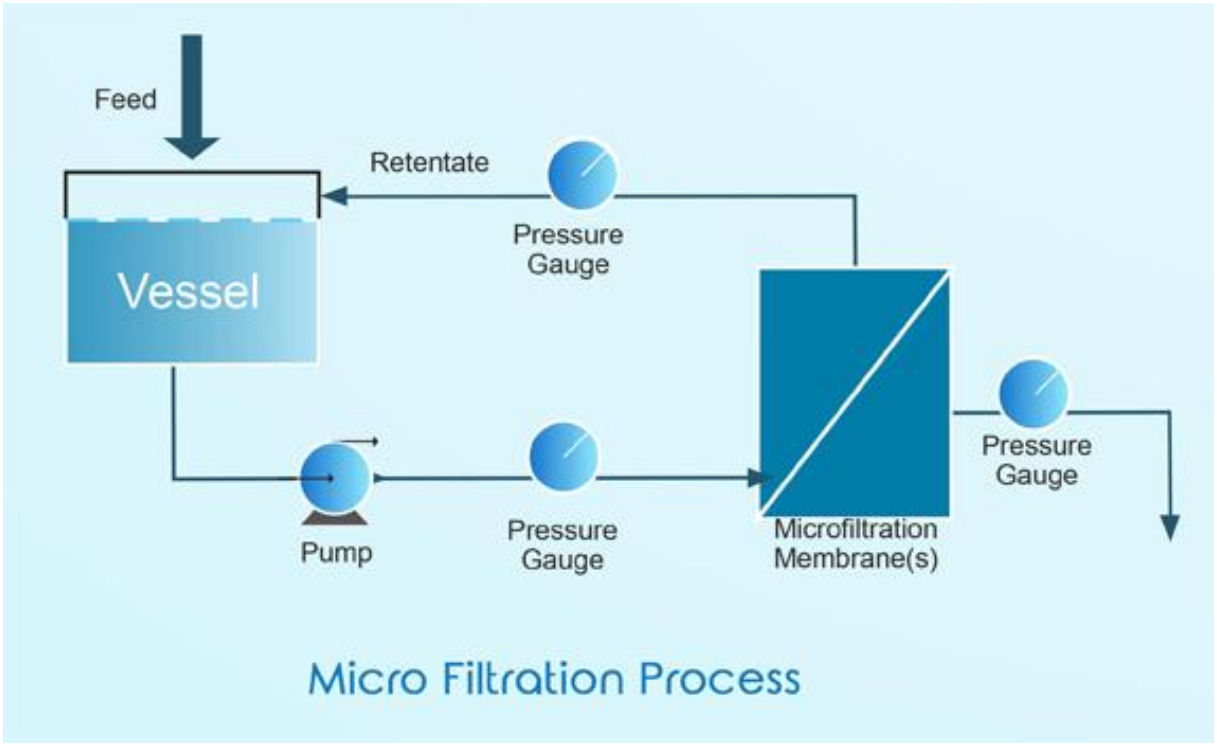


شكل (45)

Ultrafiltration vs. Microfiltration كفاءة أغشية الترشيح

شكل (47)

ترشيح المياه بغشاء الترشيح الدقيق Microfiltration Membranes (MF)



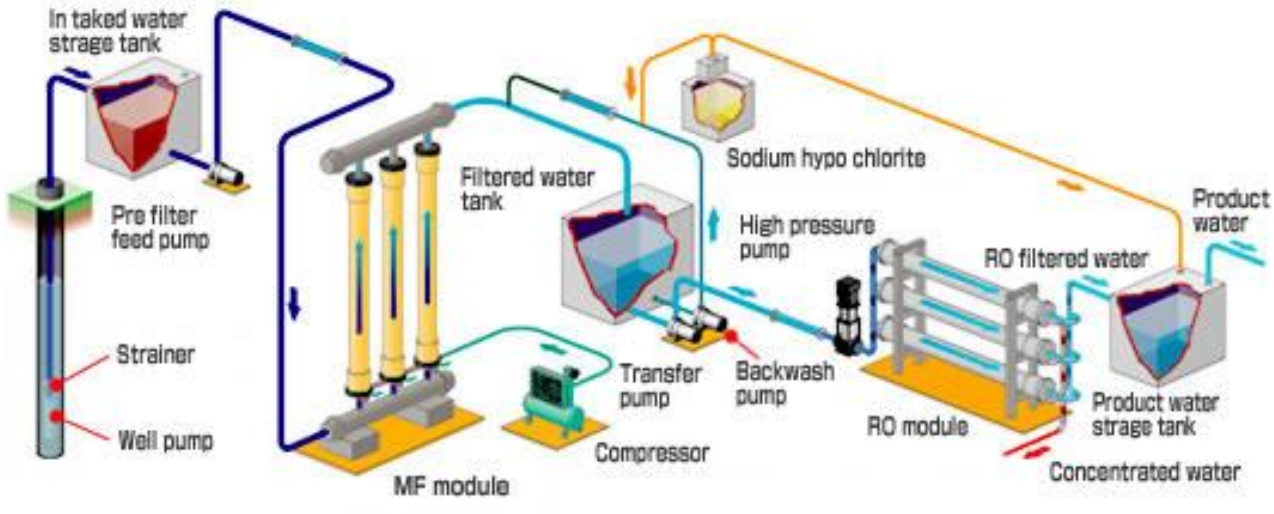
شكل (48)

مخطط محطة تنقية تعمل بغشاء الترشيح الدقيق Microfiltration

تطبيق علي تحلية مياه الآبار متوسطة العسر Brakish Water – شكل (46) :

Water Purification System

Membrane Filtration, Reverse-Osmosis Seawater Desalination System



شكل (46)

تحلية مياه الآبار

في ظل ظروف البيئة المائية ، في الوقت الحاضر ، يلزم توفير مياه صالحة للشرب آمنة ونقية. نلبي هذا المطلب بالتكنولوجيا المتقدمة من خلال أغشية MF (أغشية الترشيح الدقيقة) وأغشية UF (أغشية الترشيح الفائق) وأغشية RO (أغشية التناضح العكسي).

الترشيح الدقيق باستخدام أغشية الألواح المسطحة MicrofiltrationWith Flat Sheet Membranes

أغشية الترشيح الدقيق ذات الألواح المسطحة لجميع أنواع الأغشية – شكل (46) . الأحجام القياسية هي 12 × 12 و 1 متر × 1 متر ، عادةً ما تستخدم أغشية الألواح المسطحة للاختبارات المعملية على نطاق صغير حيث إنها سهلة التركيب والاستخدام مع وحدة الاختبار.

أغشية الترشيح الدقيق لها نطاق قطع للوزن الجزيئي Microfiltration membranes have a molecular weight cut-off range من 0.08 إلى 0.2 درجة مئوية. تتمتع أغشية MF بالقدرة على رفض الجزيئات الكبيرة ، والتي تفيد في فصل الدهون والميكروبات في جميع أنحاء صناعة الألبان.

شكل (46)

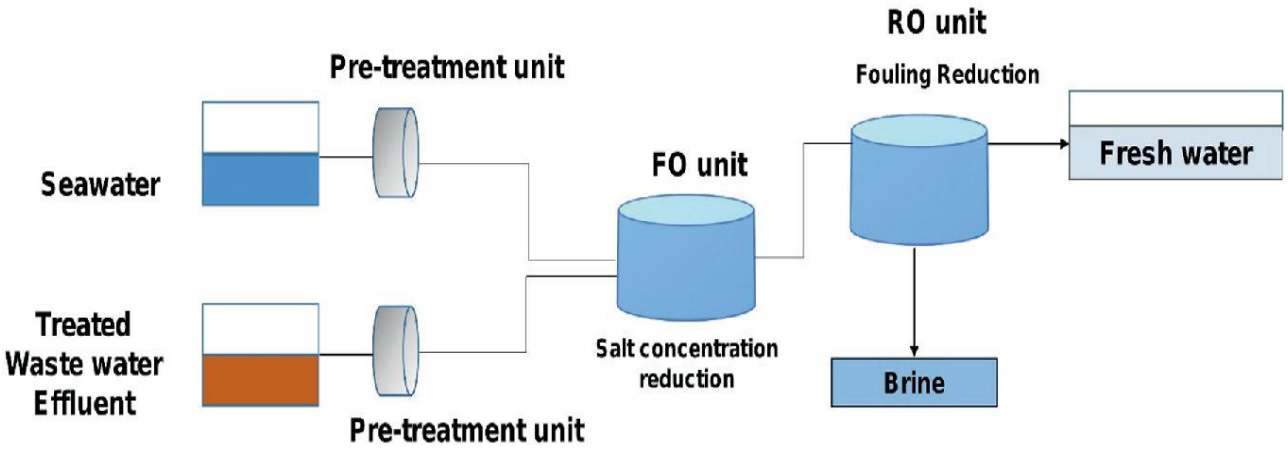
غشاء ترشيح مسطح فائق Flat Sheet Microfiltration Membrane

التناضح الى الأمام Forward Osmosis (FO)

خامسا : التناضح الى الأمام Forward Osmosis (FO) :

التناضح إلى الأمام (FO) هوأسلوب معالجة مثل التناضح العكسي (RO) ، هو عملية فصل المياه التي تستخدم غشاء شبه نافذ والطاقة الطبيعية للضغط التناضحي لفصل الماء عن المواد المذابة. . القوة الدافعة لهذا الفصل هي الضغط الاسموزي لنقل المياه عبر الغشاء إلى محلول السحب ، وبالتالي فصل مياه التغذية عن المواد المذابة - شكل (47) .

تُستخدَم عملية التناضح الأمامي Forward Osmosis (FO) العملية الأسموزية الطبيعيّة ؛ والتي تتحرك فيها المادة من منطقة ذات التركيز المنخفض إلى منطقة ذات تركيز عالٍ ، حيث تستهلك العملية كمية طاقة أقلّ من تلك المستخدَمة لعملية التناضح العكسي، ممّا يؤدي إلى خفض التكلفة إلى النصف مقارنة بتكلفة التناضح العكسي لأنّها تستهلك طاقة أقل ، فبدلاً من ممارسة قوة على المحلول فإنّ هذه العملية تسمح للمحلول بالتحرّك بشكل طبيعيّ ، فعند تحليّة المياه، يتحرّك محلول البحر عبر غشاء شبه منفّذ إلى محلول شديد التركيز من أملاح الأمونيا، وتبقى أملاح البحر على الجانب الآخر من الغشاء، ثمّ يتمّ تسخين المحلول لتتبخّر أملاح الأمونيا منه، ويكون الملح الناتج صالحاً للاستخدام، لكنّ هذه التقنية تعتبر جديدة إلى حدّ ما لتطبيقها على تحلية الماء على نطاق واسع والتي تُقلّل من تكاليف الطاقة .



شكل (47)

التناضح الأمامي في تحلية ومعالجة مياه الصرف الصحي - مفهوم نظام FO-RO الهجين

Forward Osmosis in Desalination and Wastewater Treatment Concept of FO-RO Hybrid System.

المكونات الرئيسية لنظام FO هي :

1 – غشاء التناضح الأمامي FO :

الغرض من غشاء FO هو السماح بسحب الماء من محلول التغذية مع رفض المواد الأخرى. يعد معدل الرفض المرتفع والقدرة على تحمل العوامل القاسية مثل درجات الحرارة المرتفعة ومستويات COD / BOD المرتفعة وقيم الأس الهيدروجيني القصوى من الصفات الرئيسية لغشاء FO. يجب أن يحافظ غشاء FO أيضًا على التدفق العكسي إلى الحد الأدنى ، مما يسمح بأقل قدر ممكن من الذائبة من محلول السحب بالانتشار مرة أخرى عبر الغشاء إلى محلول التغذية.

2 - محلول السحب The Draw Solution

يخلق محلول السحب عالي الملوحة فرق الضغط الاسموزي الذي يدفع الماء للتدفق من محلول التغذية عبر الغشاء. لتحقيق أفضل النتائج ، يجب صياغة محلول السحب بدقة لتتناسب مع تركيبة النفايات السائلة. عندما يتحرك الماء عبر الغشاء ويتركز محلول التغذية ، يصبح محلول السحب مخففًا ويفقد فعاليته ما لم يتم تجديده في نظام استرداد السحب Draw Recovery System .

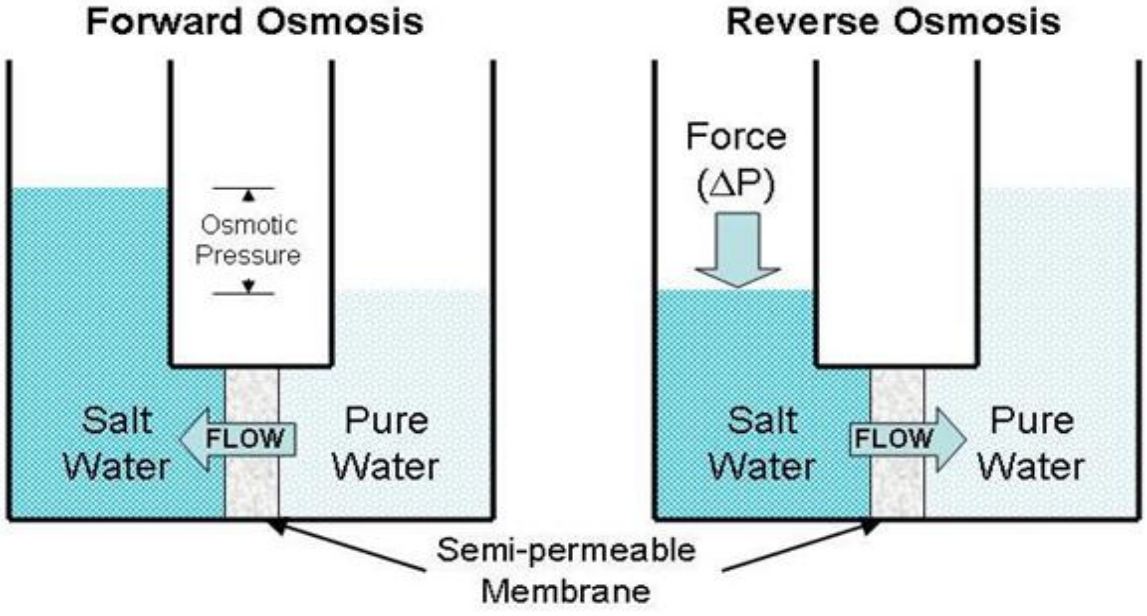
نظام استرداد السحب The Draw Recovery System :

يتمثل دور نظام استرداد السحب في استعادة تركيز TDS لمحلول السحب واستخراج المياه النظيفة لإعادة استخدامها. يتم تحقيق ذلك عادةً من خلال حل التناضح العكسي المصمم للتعامل مع مستوى TDS عالي يصل إلى 250.000 جزء في المليون. اعتمادًا على إعداد الموقع المحدد ، يمكن إعادة استخدام النفاذية النظيفة للتبريد والشطف والعمليات الرطبة الأخرى. إذا كانت عملية FO جيدة بما فيه الكفاية ، فمن الممكن إعادة تدوير المياه في عمليات المنبع ، على سبيل المثال وخلطها مع الأصباغ أثناء إنتاج المنسوجات.

تعد أنظمة (FO) مفيدة أيضًا عند استخدامها مع أنواع أخرى من أنظمة المعالجة ، على سبيل المثال كمكمل لعملية التناضح العكسي (RO) لاستصلاح مياه الصرف الصحي لأنها تعوض أوجه القصور التي قد تكون لدى الأنظمة الأخرى. هذا مفيد أيضًا في العمليات التي يكون فيها استرداد منتج معين أمرًا ضروريًا لتقليل التكاليف أو لتحسين الكفاءة.

كيف يعمل التناضح الأمامي How Does Forward Osmosis Work ؟

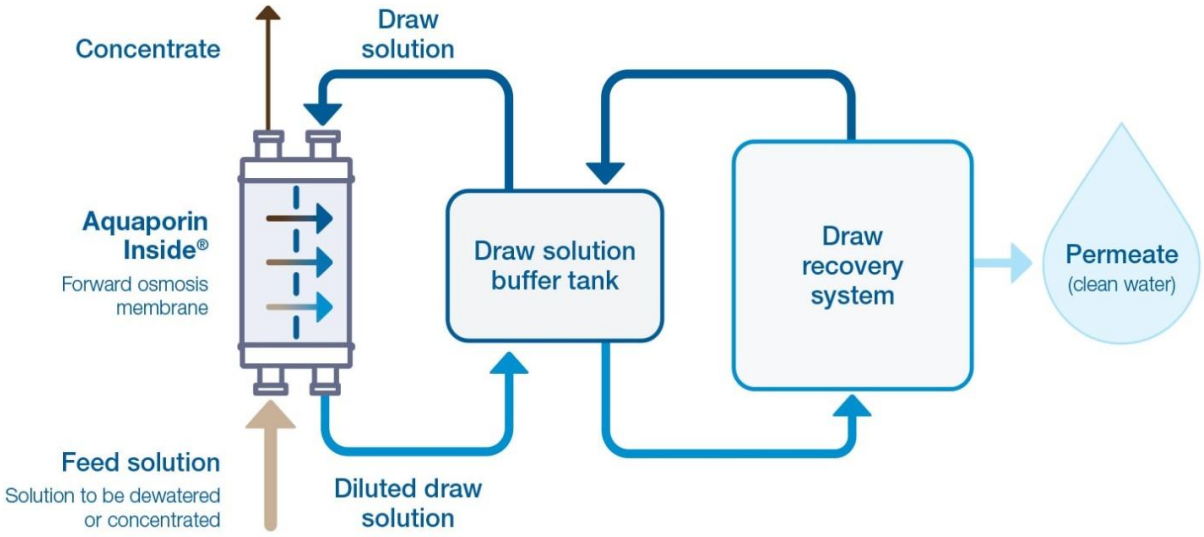
في نظام التناضح الأمامي ، يتدفق محلول التغذية مثل مياه الصرف الصناعي على جانب واحد من غشاء الماء ، بينما يتدفق محلول السحب ذو الملوحة الكلية الذائبة (TDS) على الجانب الآخر. الاختلاف في المواد الصلبة الذائبة بين الجانبين يخلق ضغطًا تناضحيًا يدفع الماء للتدفق من محلول التغذية عبر الغشاء إلى محلول السحب مع الاحتفاظ بجميع الملوثات في تيار التغذية.



شكل (47)

مقارنة بين التناضح الي الأمام FO و التناضح العكسي RO

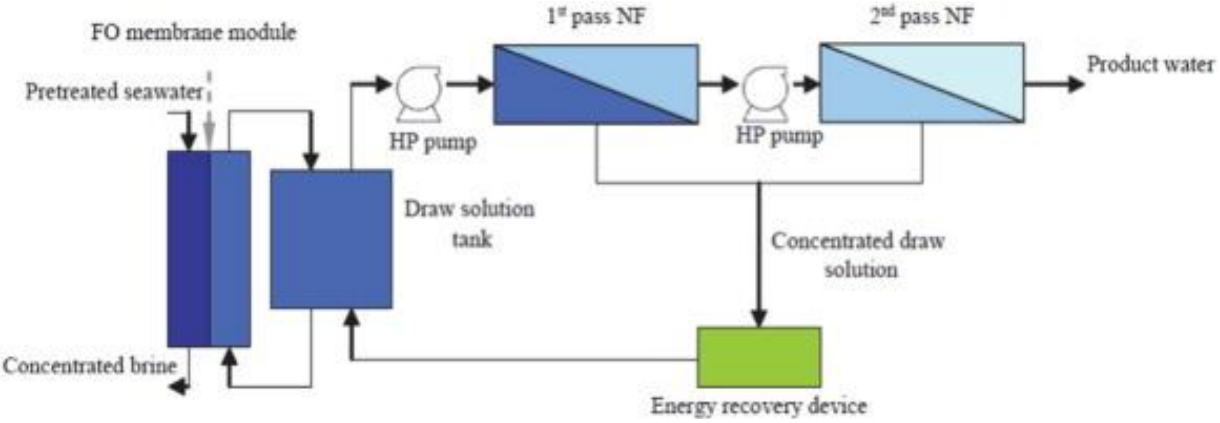
عندما يتحرك الماء عبر الغشاء ، يصبح محلول السحب مخففًا ، ويتركز محلول التغذية ، مما ينتج عنه نفايات سائلة مركزة. يمكن تشغيل العملية بأكملها بدون ضغط هيدروليكي إضافي. يمكن أن يتكون محلول السحب من مزيج بسيط من الملح / الماء أو مادة مصممة خصيصًا للتطبيق.



شكل (47)

ناضح أمامي مع نظام استرداد السحب لفصل المياه النظيفة عن محلول السحب.

A Forward Osmosis Solution with a Draw Recovery System to Separate the Clean Water from the Draw Solution.



شكل (47)

تحلية المياه باستعمال تقنية التناضح الي الأمام FO وتقنية النانو NF

Development of Lower Cost Seawater Desalination Processes Using Nanofiltration Technologies

هناك تمييز إضافي بين عمليات التناضح العكسي (RO) والتناضح الأمامي (FO) وهو أن المياه المتخللة الناتجة عن عملية التناضح العكسي تكون في معظم الحالات مياه عذبة جاهزة للاستخدام. في عملية FO ، ليس هذا هو الحال. يؤدي فصل الغشاء لعملية FO في الواقع إلى "تجارة" بين المواد المذابة لمحلول التغذية ومحلول السحب. اعتمادًا على تركيز المواد المذابة في الخلاصة (التي تحدد التركيز الضروري للمواد المذابة في السحب) والاستخدام المقصود لمنتج عملية FO ، قد تكون هذه

الخطوة هي كل ما هو مطلوب. يركز هذا المشروع على تطوير مادة نانوية ذكية مغلفة بالبوليمر كعوامل تناضحية لتحلية المياه بكفاءة عالية عن طريق التناضح الأمامي FO.

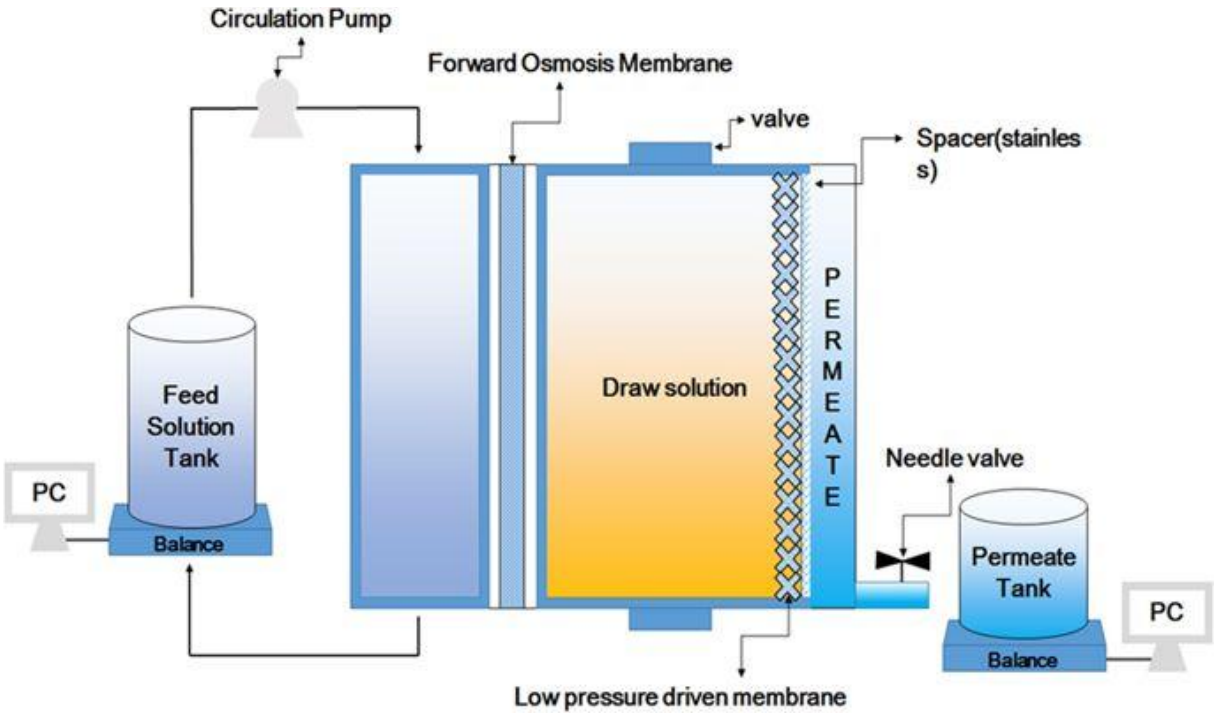
ما هو الفرق بين التناضح الأمامي والتناضح العكسي؟

يتمثل الاختلاف الرئيسي بين التناضح العكسي والتناضح الأمامي في كيفية دفع الماء عبر الغشاء . في التناضح العكسي ، يتم دفع الماء عبر الغشاء باستخدام الضغط الهيدروليكي.

يستخدم التناضح الأمامي الضغط الاسموزي الطبيعي للحث على تدفق المياه عبر الغشاء. يتيح التشغيل بضغط هيدروليكي منخفض أن تكون عملية التناضح الأمامي قوية ضد القاذورات وتخفيف ضغط المواد القاذرة على سطح الغشاء.

تقدم عملية FO الخاصة بنا باستمرار تخفيضات كبيرة في تكاليف التشغيل ، وتقليل تكاليف العمر الافتراضي ، كما أنها تنتج مياه عالية الجودة بشكل موثوق ، حتى في أصعب الظروف. تستخدم تكنولوجيا FO الرائدة عالميًا في عدد من تطبيقات معالجة الأغشية بخلاف تحلية مياه البحر أو المياه المالحة.

فوائد تحلية المياه FO عملية غشائية مجربة وموثوقة وقوية استهلاك الطاقة عادةً أقل بنسبة 30٪ من التناضح العكسي التقليدي (RO) خصائص تلوث منخفضة بطبيعتها (تلوث جسيمي وبيولوجي على حد سواء) انخفاض ملحوظ في مستويات البورون المنتج دون المعالجة اللاحقة عند مقارنتها بالتقليدية توفر RO أعلى من محطات التناضح العكسي التقليدية بسبب قلة التلوث وسهولة التنظيف وسهولة التشغيل .



شكل (47)

مخطط التناضح الي الأمام FO

شكل (47)

مخطط التناضح الي الأمام FO - مواد نانوية جديدة لتحلية المياه عن طريق التناضح الأمامي FO

نموذج محطة الخلوف العاملة بالتناضح الى الأمام FO :

شكل (48) :

شكل (48)

محطة تحلية الخالوف – عمان

Modern Water FO Desalination Plant Al Khaluf - Oman

شكل (48)

محطة تحلية الخالوف – عمان

شركة المياه الحديثة هي الشركة الرائدة عالميًا في تحلية المياه بالتناضح الأمامي والتناضح الأمامي كعلاج مسبق للتناضح العكسي. نجحت الشركة في تطوير واختبار وتسويق العملية ، مع مصانع في جبل طارق وعمان والصين. خصائص التناضح الأمامي لها خصائص تلوث منخفضة (مهمة بشكل خاص في مياه التغذية الصعبة) والمزايا الفريدة لعامل إعادة التدوير الذي يعمل بالاقتران مع حاجز الغشاء المزدوج بين مياه التغذية ومياه المنتج.

تطبيقات :

- **مياه التغذية .**
- **إستعادة عالية لتحلية المياه .**
- **تحلية مياه البحر .**
- **إمدادات مياه الشرب .**
- **إمدادات المياه الزراعية .**

مزايا :

- **تلوث منخفض بطبيعته .**
- **متطلبات الطاقة المنخفضة .**
- **استهلاك منخفض للمواد الكيميائية .**
- **متوافرة .**
- **انخفاض مستويات البورون المنتج .**

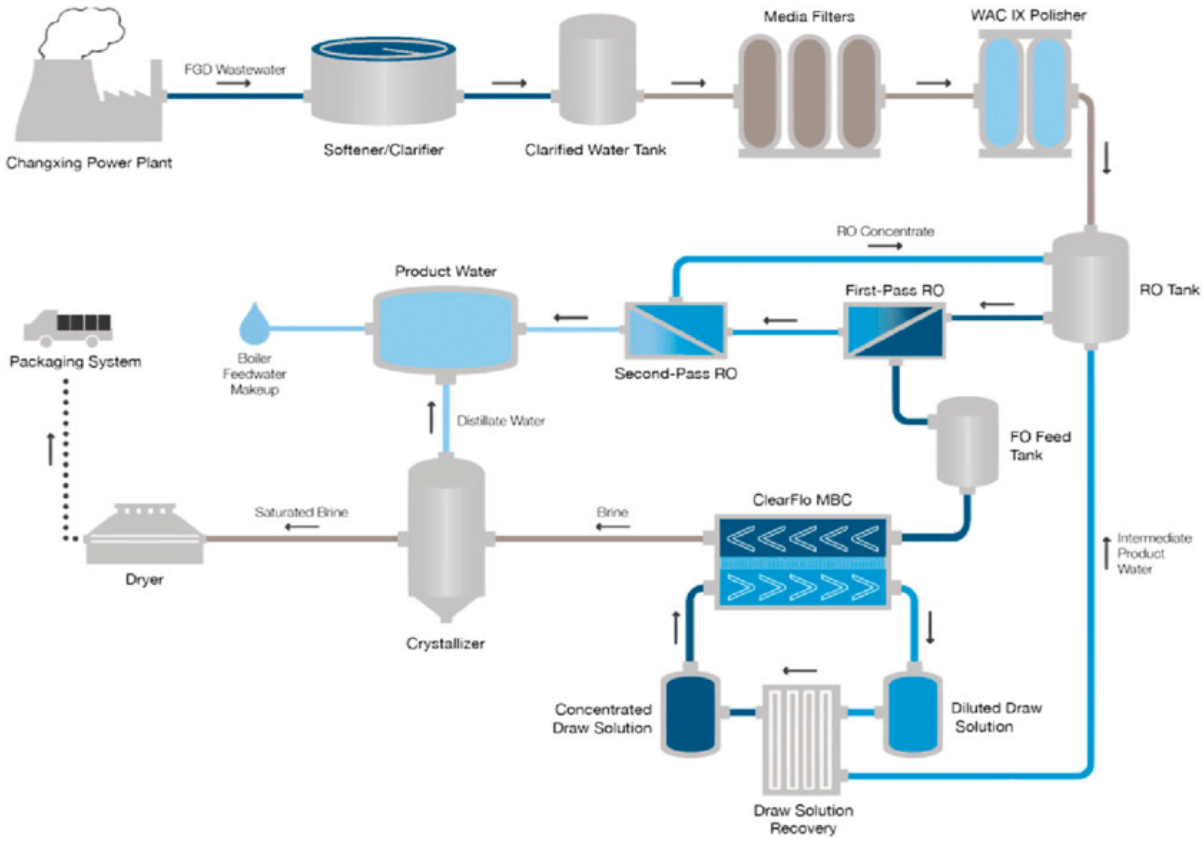
نموذج محطة Changxing للطاقة التناضح الأمامي الأول في العالم :

شكل (49) :

wateronline.com

شكل (49)

محطة Changxing للطاقة لأول مرة التناضح الأمامي الأول في العالم



شكل (49)

مخطط تدفق العملية لمعالجة المياه في Changxing Power Plant ، بما في ذلك المعالجة المسبقة ، MBC (أي RO، FO ، وأنظمة الاسترداد الحراري) ، التبلور ، والتجفيف.

محطة معالجة FO داخل حاوية :

شكل (50) :

مدينة جبل طارق

شكل (50)

محطة معالجة FO داخل حاوية

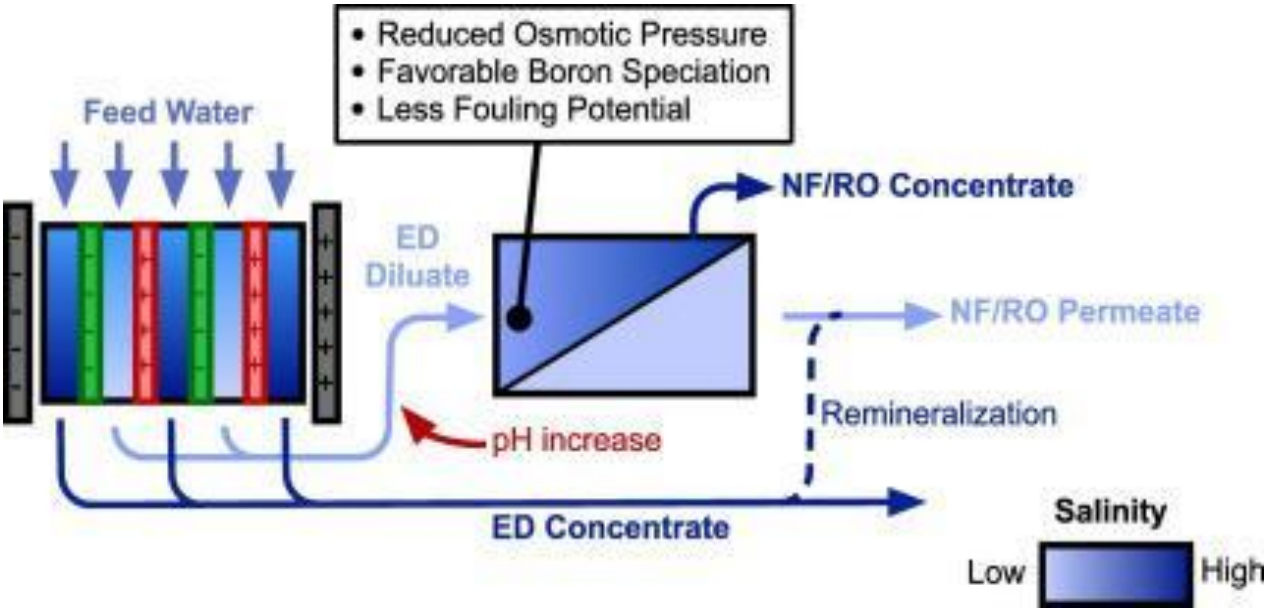
التحلية بالأقطاب الكهربائية Electro Dialysis (ED)

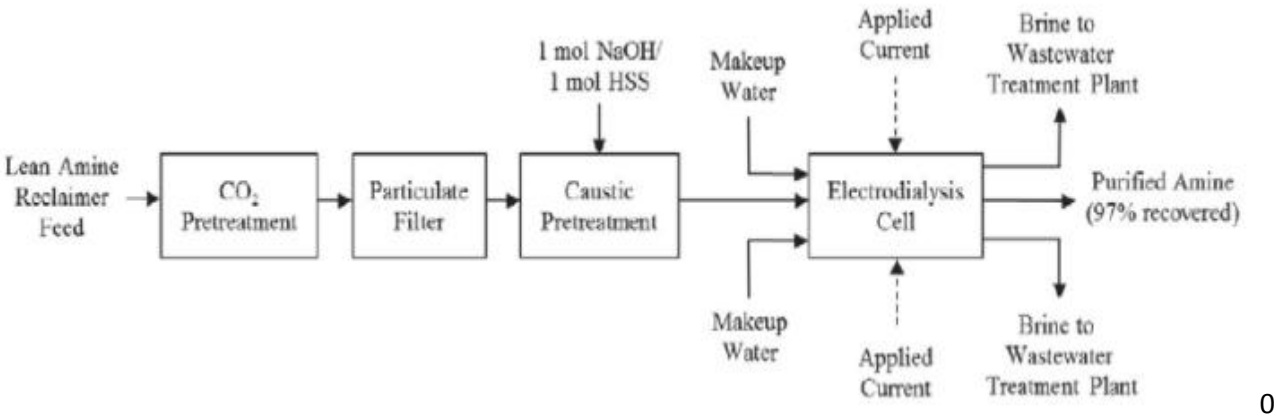
عملية التحلية بالأقطاب الكهربائية Electrodialysis Desalination Process

الديلزة الكهربائية هي عملية يتم فيها استخدام الأغشية المشحونة كهربائيًا driving force لفصل الأيونات عن المحاليل المائية تحت القوة الدافعة لفرق الجهد الكهربائي. يستخدم التحليل الكهربائي اليوم بشكل رئيسي. لتحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة.

ما هو الغرض من التحلية بالأقطاب الكهربية ؟

يستخدم التحليل الكهربائي (ED) لنقل أيونات الملح من محلول واحد من خلال أغشية التبادل الأيوني إلى محلول آخر تحت تأثير فرق الجهد الكهربائي المطبق لتحلية المياه . مخطط التحلية بالأقطاب الكهربية – شكل (51).





0

شكل (51)

مخطط التحلية بالأقطاب الكهربية

Electro Dialysis Desalination Process Flow Diagram

التقطير بالأقطاب الكهربائية (Electro Dialysis (ED):

عُرفت طريقة الأقطاب الكهربائية تجارياً منذ الستينات ، أي عشر سنوات قبل طريقة التناضح العكسي . أسلوب تكلفة فعال لتحلية مياه الآبار المالحة وفسح المجال للاهتمام في هذا الشأن . وفي هذة التقنية يتم تمرير تيار كهربائي داخل حوض المياه المزود بأغشية ايونية اختيارية النفاذية للايونات السالبة والموجبة ويتم ترتيب هذة الاغشية بحيث تفصل الاملاح عن طريق تجميع الايونات المكونة لها على الاقطاب الكهربائية ثم عزلها والتخلص منها عن طريق قنوات خاصة .

تتواجد في مياه البحار أملاحا مذابة موجبة الشحنة Cation وأخرى سالبة الشحنة Anion . تعتمد هذه الطريقة من المعالجة على وجود أقطاب كهربية متصلة بمصدر للتيار المستمر (ركتيفاير) Rectifier أو (بطارية) ، هذه الأقطاب يكون إحداها موجب الشحنة و الآخر سالب الشحنة . عند وضع هذه الأقطاب في المياه وتشغيل التيار ، تنجذب الأيونات الموجبة الموجودة بالماء إلى القطب السالب ، بينما تنجذب الأيونات السالبة إلى القطب الموجب .

هذه المحطة طاقاتها صغيرة نسبيا حيث تبلغ 20 – 2000 م3 / يوم .

ينقسم التقطير بالأقطاب الى أربعة أنواع :

1 - التقطير العادي وذلك يكون بغلي الماء المالح في خزان بدون ضغط ويصعد بخار الماء إلى أعلى الخزان ويخرج من خلال مسار موصل إلى المكثف الذي يقوم بتكثيف بخار الماء الذي يتحول الى قطرات ماء يتم جمعها في خزان الماء المقطر وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الصغيرة.

2 - التقطير الومضي متعدد المراحل وفي هذه الطريقة تمر المياه المالحة بعد تسخينها إلى غرف متتالية ذات ضغط منخفض فتحول المياه إلى بخار ماء يتم تكثيفه على أسطح باردة ويجمع ويعالج بكميات صالحة للشرب وتستخدم هذه الطريقة في محطات ذات طاقة انتاجية كبيرة.

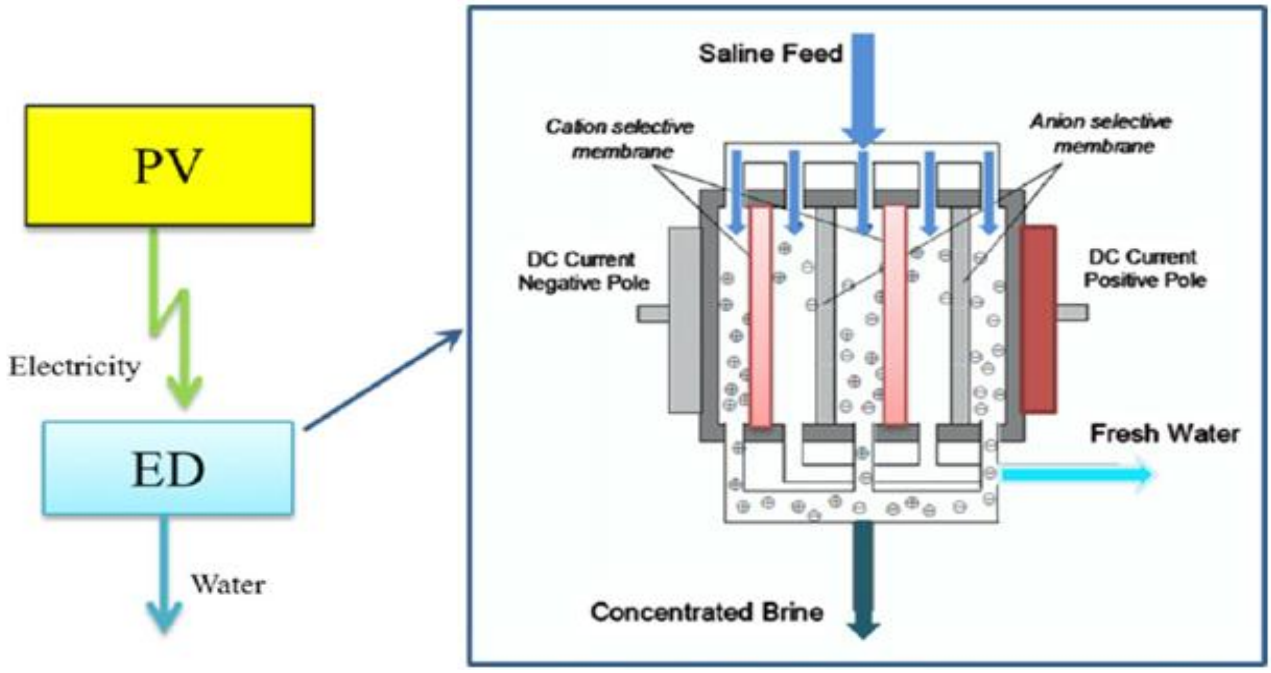
3 - التقطير متعدد المراحل تقوم بالاستفادة من الأبخرة المتصاعدة من المبخر الأول للتكثف في المبخر الثاني. تستخدم حرارة التكثف في غلي الماء المالح في المبخر الثاني وبالتالي فإن المبخر الثاني يعمل كمكثف للأبخرة القادمة من المبخر الاول وتصبح هذه الأبخرة في المبخر الثاني مثل مهمة بخار التسخين في المبخر الأول.

4 - التقطير باستخدام الطاقة الشمسية تعتمد هذه الطريقة على استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه المالحة حتى تصل إلى درجة التبخر ويتم تكثيفها علي أسطح باردة وتجميعها في مواسير.

تعتمد تقنية الأقطاب الكهربائية على الأسس العامة التالية :

أغلب الأملاح الذائبة في الماء متأينة إيجابيا (Cathodic) أو سلبياً (Ionic) ، هذه الأيونات تنجذب نحو القطب الكهربائي (Electrode) حسبما تحمله من شحنة كهربائية Electric Charge - شكل (52).

يمكن إنشاء أغشية تسمح انتقائياً بمرور الأيونات حسب شحنتها الكهربائية (سالبة أو موجبة) . إن محتويات الأيونات الذائبة في المحلول الملحي مثل الصوديوم (+) والكلور (-) الكالسيوم (++) والكربونات (--) تظل منتشرة في الماء لتتولى معادلة شحناتها الخاصة . وعند توصيل الأقطاب الكهربائية إلى مصدر تيار خارجي ، مثل البطارية المتصلة بالماء ، فإن الأيونات تتجه نحو الشحنات المعاكسة لشحناتها والموجودة في المحلول ، وذلك ممن خلال التيار الكهربائي الساري في المحلول سعياً وراء التحييد (Neutralization) ولتتم تحلية المياه المالحة من خلال هذه الظواهر فإن الأغشية التي تسمح بمرور أيونات من نوع واحد فقط (وليس النوعين) توضع بين قطبين كهربائيين ، على أن يتم وضع هذه الأغشية بطريقة متعاقبة ،أي غشاء واحد لانتقاء الأيونات ذات الشحنة الموجبة السالبة ، مع ضع لوح فاصل بين كل غشاءين يسمح بانسياب الماء بينهما ويشكل أحد اللوحين الفاصلين قناة تحمل مياه التغذية والمياه المنتجة ، بينهما يشكل اللوح الفاصل الأخر قناة تحمل المياه الراجعة .



شكل (52)

مخطط تحلية المياه بواسطة الأقطاب الكهربائية Schematic Diagram of PV Assisted Electro-Dialysis Desalination Process

وحيث أن الأقطاب الكهربائية مشحونة وتناسب مياه التغذية المالحة عبر اللوح الفاصل بزاوية مستقيمة على القطب ، فإن الأيونات تنجذب وتتجه القطب الإيجابي . وهذا يؤدي تركيز أملاح قناة الماء المنتج . وتمر الأيونات ذات الشحنة السالبة خلال الغشاء الانتقائي لها ولكنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء الخاص بالأيونات الموجبة والذي يقفل خطها وتبقي للأيونات السالبة في الماء المالح (الراجع) . وبالمثل فإن الأيونات الموجبة تحت تأثير القطب السلبي تتحرك في الاتجاه المعاكس من خلال الغشاء المنتقي للأيونات الموجبة إلى القناة ذات الماء المركز في الجانب الآخر ، وهنا يتم اصطياد الأيونات الموجبة حيث أن الغشاء التالي ينتقي الأيونات السالبة ويمنع أي تحرك نحو القطب . وبهذا الأسلوب يتم إيجاد محلولين أحدهما مُركز والآخر قليل التركيز بين الغشاءين المتعاقبين المتجاورين. وهذان الفراغان المحتويان من قبل الغشاءين (واحد للأيونات السالبة والآخر للموجبة) يسميان خلية . ويتكون زوج الخلية من خليتين حيث يهاجر من إحداهما الأيونات (الخلية المخففة للمياه المنتجة) وفي الأخرى تتركز الأيونات (الخلية المركزة لمياه الرجيع. (وتتكون وحدة الديلزة الكهربائية من عدة مئات من أزواج الخلايا مربوطة مع بعضها البعض بأقطاب كهربائية تسمى مجمع الأغشية . وتمر مياه التغذية متحاذية في آن واحد عبر ممرات من خلال الخلايا لتوفير انسياب المياه المنتجة المحلاة كما يمر الماء المركز من المجمع. واستناداً على تصميم النظام فإنه يمكن إضافة المواد الكيمائية في المجمع لتخفيف الجهد الكهربائي ومنع تكوين القشور .

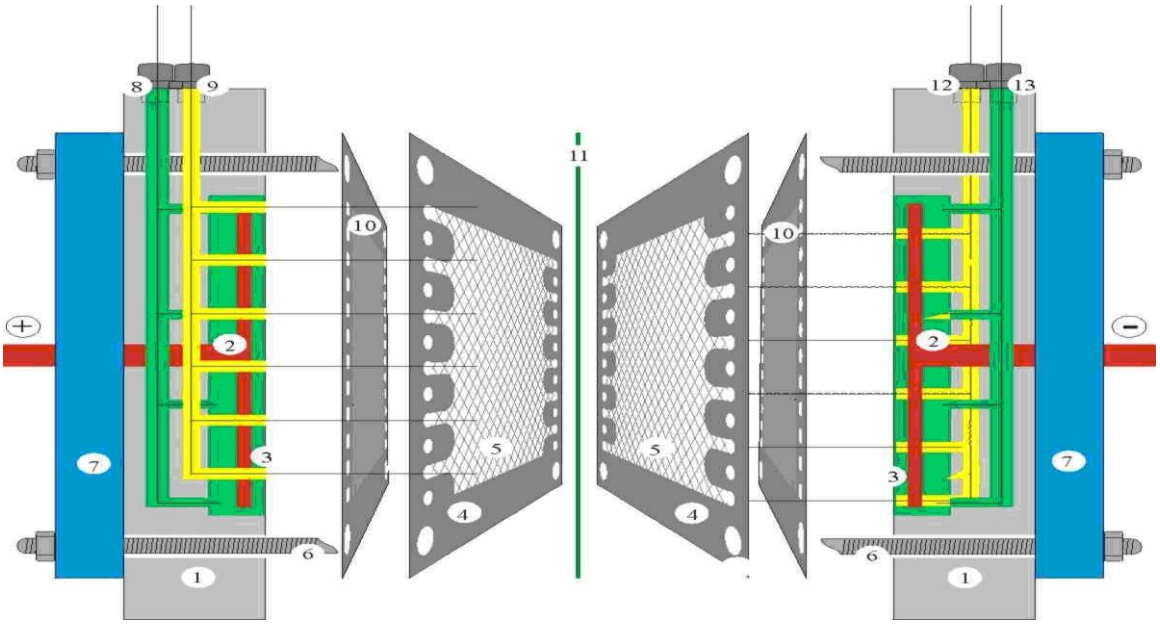
خطوات تحلية المياه بالأقطاب الكهربية :

1 - المعالجة المسبقة Pretreatment ، ترد المياه الي محطة التقية عن طريق المأخذ و مصافي المأخذ وفى هذه العملية تنقى الشوائب من المياه كما يتم حقن مقاوم لتكون القشور (Anti Scalant) قبل دخولها المحطة وذلك لمنع الترسبات و تكـــوين القشور Scales داخل أنابيب المكثفات أو المبادلات الحرارية. تتجه الي خزان المياه المالحة . تضاف بعض الأحماض لمعادلة القلوية في المياه ولضبط قيمة الأس الهيدروجيني pH ، كما يضاف مادة الترويب Coagulant إلى الماء ثم تترسب في

أحواض الترسيب. تدخل المياه إلى مرشحات الضغط لإزالة الشوائب والمواد العالقة والغروية (حسب نوعية المياه) . يرجي مراجعة الباب الثاني و شكل (17) .

2 – معالجة المياه : تمرير المياه على الأقطاب الكهربية للتخلص من الأيونات السالبة والموجبة .

تتعرض المياه المالحة الغنية بالأيونات إلي مجال كهربى بوضع قطبين أحدهما سالب Cathode والآخر موجب Anode في حوض تمر فيه المياه ، فإن الأملاح الموجودة تتحلل في الماء إلي أيونات موجبة وأخري سالبة – شكل (53).



Electro Dialysis

1: Polypropylene End Plate	8: Inlet Anode Cell
2: Electrode	9: Inlet Concentrate Cell
3: Electrode Chamber	10: Cation Exchange Membrane
4: Spacer-Sealing PVC	11: Aam
5: Spacer Fabric	12: Inlet Dilute Cell
6: Screws	13: Inlet Cathode Chamber
7: Steel Frame	

شكل (53)

الأيونات الموجبة والسالبة Electro dialysis Desalination Plants

تتحرك الأيونات الموجبة Anions إلي القطب السالب بينما تتحرك الأيونات السالبة Cation نحو القطب الموجب . توضع في مسار الأيونات المتحركة عددا من الأغشية Membranes من مواد كيماوية خاصة تحمل شحنات كيمائية موجبة والأخري سالبة . وعندما تمر المياه في الغرف المتكونة بين هذه الأغشية ، تتنافر الأيونات الموجبة الناتجة من تحلل الأملاح في الماء مع الغشاء ذو الشحنة الموجبة ، بينما تنجذب أليه وتمر خلاله الأيونات السالبة ، كذلك يتنافر الغشاء ذو الشحنة السالبة مع الأيونات السالبة بينما ينجذب إليه وتمر من خلاله الأيونات الموجبة . وتتكون وحدة الأقطاب الكهربائية من عدة مئات من أزواج الخلايا مربوطة مع بعضها البعض بأقطاب كهربائية تسمى مجمع الأغشية . وتمر مياه التغذية متحاذية في آن واحد عبر ممرات من خلال الخلايا لتوفير انسياب المياه المنتجة المحلاة كما يمر الماء المركز من المجمع .

واستناداً على تصميم النظام فإنه يمكن إضافة المواد الكيمائية في المجمع لتخفيف الجهد الكهربائي ومنع تكوين القشور.

3 - المعالجة النهائية Post Treatment ، يكون تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم المتبقي قريبا من الصفر . لذلك يجب إعادة تمعدن مياه التمرير الثاني لتحقيق العسر Hardness المتبقي 100 مجم / لتر $CaCo_3$. ، يرجي الرجوع الي الباب العاشر

4 - التعقيم ، يرجي الرجوع الي الباب الحادي عشر .

5 - تضخ المياه من المرشحات إلى الخزان الأرضي ثم إلى المستهلك .

6 – تذهب المياه العادمة الي البحر . يرجي مراجعة الباب الحادي عشر .

ملاحظة :

1 - تكون المياه خالية من العكارة .

2 - لا يتجاوز تركيز الأملاح 15000 جزء / مليون .

3 - في حالات خاصة ، يمكن أن يكون جهاز الأقطاب الكهربائية ، هو نفسه الخزان الأرضي .

شكل (53)

وحدة الأقطاب

تتكون وحدة الأقطاب الكهربائية من العناصر الأساسية التالية :

1 – المعالجة الأولية .

2 – مجمع الأغشية .

3 – مضخة تدوير ذات ضغط منخفض .

4 – إمداد طاقة للتيار المباشر (مقوم Rectifier) .

5 – المعالجة النهائية .

يجب معالجة مياه التغذية منذ البداية لمنع المواد التي تعرق الأغشية أو تسد القنوات الضيقة في الخلايا من الدخول إلى مجمع الأغشية . ويتم تدوير مياه التغذية من خلال المجمع بواسطة مضخة ذات ضغط ضئيل للتغلب على مقاومة المياه أثناء عبورها للممرات الضيقة . وغالباً ما يركب مقوم لتحويل التيار المتذبذب إلى تيار مباشر يتم تزويده للأقطاب من خارج مجمعات الأغشية وتشمل المعالجة النهائية (الأخيرة) تثبيت الماء وتجهيزه للتوزيع ، والتي ربما تتضمن إزالة الغازات مثل سلفايد الهيدروجين أو تعديل درجة القلوية .

نماذج من محطات التحلية بنظام الأقطاب الكهربائية – شكل (54) .

شكل (54)

محطات التحلية بنظام الأقطاب الكهربائية Eleectrodialysis Desalination Plant

المواصفات :

المواصفات التالية لجهاز لأحدي الشركات الأمريكية المصنعة لهذه الأجهزة :

الجهاز متاح بسعات 2 – 5000 متر مكعب / اليوم .

درجة الملوحة 100 – 20000 جزء / المليون

درجة نقاوة المنتج = 2 جزء / المليون

درجة حرارة الماء الداخل = 40 درجة مئوية.

الأس الهيدروجيني 2 – 9 طالما أن الإنتاج مستمر ويكون 1 – 11 في حالة التنظيف .

نقاوة الماء المستخدم = 98% بينما تكون نسبة إزالة الأملاح = 99,9 % .

تستخدم لتنقية المياة متوسطة الملوحة Brackish Water .

تقوم أحدي قنوات الجهاز بتجميع المياه المنقاة بينما القناة التالية تجمع المياه شديدة الملوحة .

Suez Water Technology

شكل (54)

جهاز تحلية المياه بالأقطاب الكهربائية – Electro dialysis Desalinator - EDR

نماذج من المحطات العاملة بهذه التقنية :

محطة تحلية سان دييجو – الولايات المتحدة – شكل (55) .

(a) (b)

سان دييجو

شكل أغشية جهاز التنقية الكهربية فلتر خرطوشة لتنقية المياه الواصلة الي المحطة

(b) View of Electro dialysis Membrane (a) View of Cartridge Filters Used To Pretreat the Feedstream to the Electro dialysis Units

شكل (55)

محطة سان دييجو ، تعمل بالأقطاب الكهربية

(c)

سان دييجو

شكل (55)

محطة سان دييجو ، تعمل بالأقطاب الكهربية

تقطير مياه البحر
Seawater Distillation

طرق تقطير مياه البحر Sea Water Distillation :

- تحلية المياه بطريقة التقطير الحراري الومضى متعدد المراحل Multi-Stage Flash Distillation (MSF).
- التحلية بنظام التقطير متعدد التأثير Multiple-Effect Distillation (MED).
- وحدات تحلية مياه البحر بطريقة تضاغط البخار Vacuum Vapor-Compression (VVC) .
- التقطير باستخدام الطاقة الشمسية Solar Desalination .

أنواع التقطير Sea Water Distillation :

التقطير : و تكمن هذه العملية في رفع درجة حرارة المياه المالحة إلى درجة الغليان وتكوين بخار الماء الذي يتم تكثيفه بعد ذلك إلى ماء مقطر فيكون الماء المقطر خاليا من الملح . هذا الماء المقطر ليس له طعم، ومن ثم يعالج بإضافات ليكون ماء صالحا للشرب أو الري. تستخدم هذه التقنية غالبا عندما يتطلب الأمر معالجة مياه شبه خالية من الأملاح للتطبيقات الصناعية والكيميائية والحيوية... إلخ.

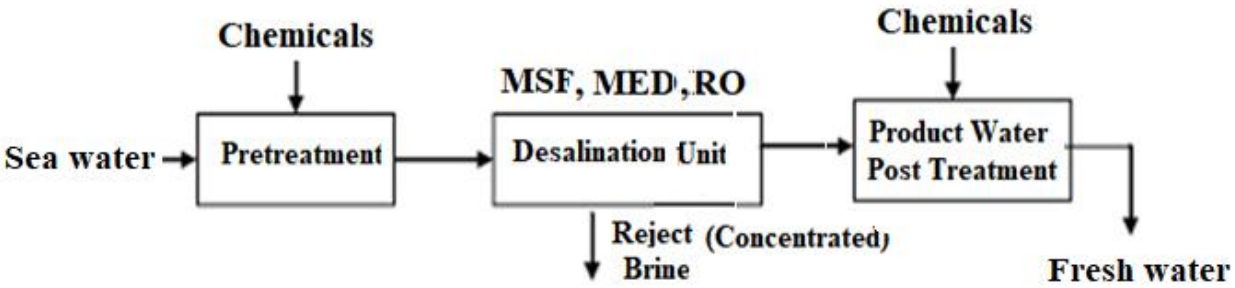
الطاقة الحرارية المستخدمة قد تكون ناتجة من الغاز الطبيعي أو الفحم أو من مفاعل نووي ، وبها تتم عملية تبخير الماء.

وللتقطير المستخدم في عملية التحلية أربعة أنواع وهي:

- التقطير العادي : يتم غلي الماء المالح في خزان ماء بدون ضغط. ويصعد بخار الماء إلى أعلى الخزان ويخرج عبر مسار موصل إلى المكثف الذي يقوم بتكثيف بخار الماء الذي يتحول إلى قطرات ماء يتم تجميعها في خزان الماء المقطر. وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الصغيرة.
- التقطير الومضي متعدد المراحل : اعتماداً على الحقيقة التي تقر أن درجة غليان السوائل تتناسب طردياً مع الضغط الواقع عليها فكلما قل الضغط الواقع على السائل انخفضت درجة غليانه. وفي هذه الطريقة تمر المياه المالحة بعد تسخينها إلى غرف متتالية ذات ضغط منخفض فتحول المياه إلى بخار ماء يتم تكثيفه على أسطح باردة ويجمع ويعالج بكميات صالحة للشرب. وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الكبيرة (30000 متر مكعب أي حوالي 8 ملايين جالون مياه يوميا) .
- التقطير متعدد المراحل (متعدد التأثير : (تقوم المقطرات المتعددة التأثيرات بالاستفادة من الأبخرة المتصاعدة من المبخر الأول للتكثف في المبخر الثاني. وعليه، تستخدم حرارة التكثف في غلي الماء المالح في المبخر الثاني، وبالتالي فإن المبخر الثاني يعمل كمكثف للأبخرة القادمة من المبخر الأول، وتصبح هذه الأبخرة في المبخر الثاني مثل مهمة بخار التسخين في المبخر الأول. وبالمثل، فإن المبخر الثالث يعمل كمكثف للمبخر الثاني وهكذا ويسمى كل مبخر في تلك السلسة بالتأثير.
- التقطير باستخدام الطاقة الشمسية : تعتمد هذه الطريقة على الاستفادة من الطاقة الشمسية في تسخين المياه المالحة حتى درجة التبخر ثم يتم تكثيفها على أسطح باردة وتجمع في مواسير.

مخطط معالجة المياه المالحة عن طريق التقطير :

شكل (56) :



شكل (56)

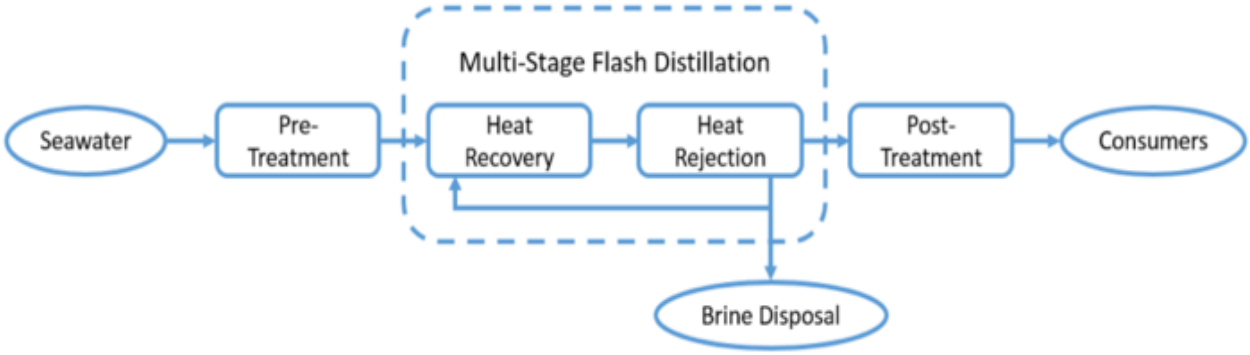
مخطط معالجة المياه المالحة عن طريق التقطير

تقنيات تقطير مياه البحر
Seawater Distillation Technologies

تحلية المياه بطريقة التقطير الومضي متعدد المراحل Multi Stage Flash Distillation (MSF)

أولا : تحلية المياه بطريقة التقطير الومضي المتعدد المراحل Multi Stage Flash Distillation (MSF) :

إن عملية تقطير المياه المالحة هي عملية بدائية و سهلة للغاية فهي ببساطة عملية غلي الماء المالح ومن ثم تكثيف بخاره الذى يصبح بعدها ماءا مقطرا . فإذا تم ضخ ماء البحر إلى سخان كبير الي غرف متتالية ذات ضغط منخفض – شكل (57) ، ورفعنا درجة الحرارة فإن الماء يبدأ بالتبخر. ثم نأخذ هذا البخار ونمرره في انبوب يمر في وسط ماء البحر البارد نسبياً . قبل دخول ماء البحر هذا إلى السخان فإن البخار يتكثف ويتحول إلى ماء مقطر وهكذا تتم عملية التقطير ببساطة. ويغلي الماء عند درجة 100 مئوية تحت الضغط الجوى العادى و كلما انخفض الضغط انخفضت درجة غليان الماء . فإذا كررنا هذه العملية من إدخال الماء المالح في أوعية متتالية وجعلنا الضغط في كل وعاء أقل من الضغط في الوعاء السابق بما يكفي لغلي الماء في الوعاء حصلنا على مايسمى بالتقطير الومضي المتعدد المراحل . وتستخدم هذه الطريقة في محطات التحلية ذات الطاقة الإنتاجية الكبيرة (30000 متر مكعب).



شكل (57)

مخطط التحلية بالتقطير الومضي متعدد المراحل

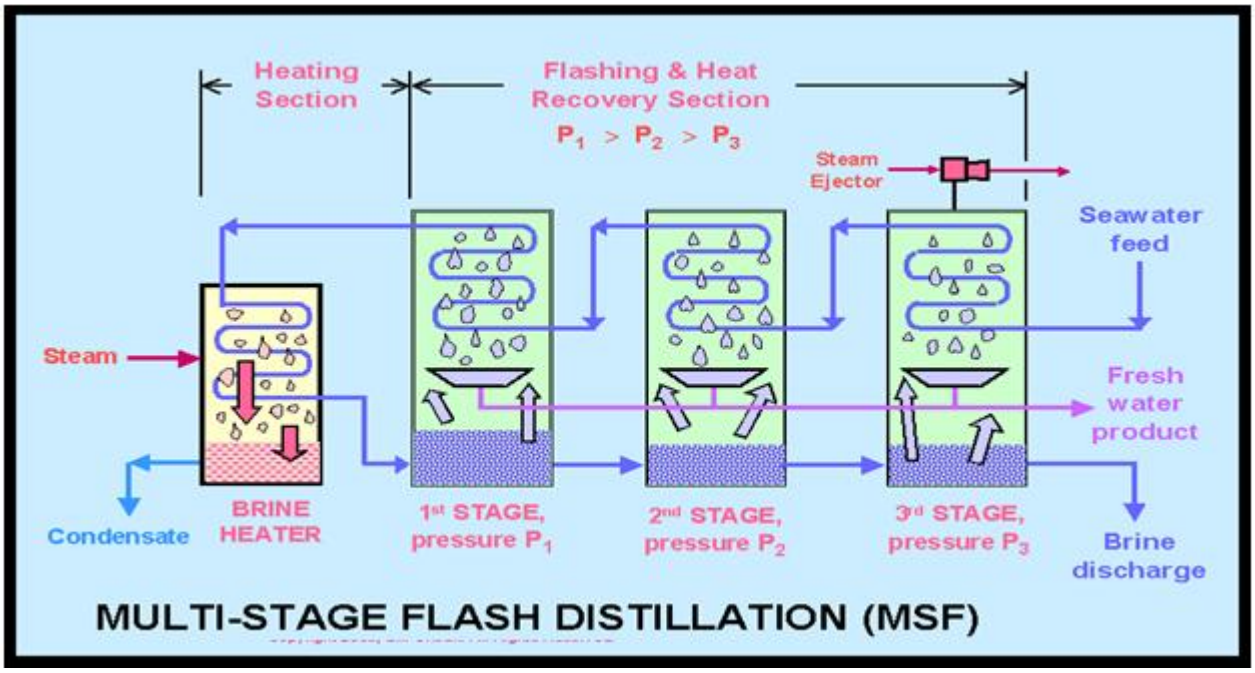
Basic Block Flow Sheet of the Multi-Stage Flash Desalination Process.

التناضح العكسى أفضل من التقطير الومضى متعدد المراحل :

تنشأ عدة خزانات لتقطير ماء البحر موصلة ببعضها البعض على التوالي – شكل (58). يدخل ماء البحر في آخر خزان في آخر مرحلة ومن ثم إلى المرحلة التى قبلها وهكذا حتى يصل ماء البحر إلى مكان إدخال بخار التسخين حيث تتم عملية التبادل الحراري وتسخين ماء البحر إلى حوالى 116 درجة مئوية. يدخل ماء البحر بعد ذلك في خزان المرحلة الأولى ويبدأ تخفيض الضغط حتى يغلي ومن ثم يتصاعد البخار حتى يصل إلى السطح المبرد بواسطة ماء البحر الداخل فيتكثف ويسقط الماء المقطر

ويتجمع في الوعاء المخصص له. يخرج بعد ذلك ماء البحر من الرحلة الأولى والذي زادت نسبة تركيز الملح به بعد تبخر نسبة منه ويدخل إلى خزان المرحلة الثانية حيث ينخفض الضغط فيه أكثر بواسطة عملية شفط الهواء مما يؤدى إلى غليان الماء وتبخره وصعود البخار إلى الأعلى حيث يتكثف ويتحول إلى ماء مقطرفي عملية مكررة في كل حيث يكون الضغط في كل مرحلة أقل من التى قبلها حتى يخرج في النهاية محلول ملحي عالي نسبة التركيز لايمكن معالجته أكثر.

وفي محطات تحلية مياه البحر في الكويت والتى تعمل على طريقة التقطير الومضي المتعدد المراحل يتم خلط ناتج الماء المقطر مع مياه الآبار قليلة الملوحة لإنتاج مياه عذبة صالحة للشرب .



شكل (57)

مخطط تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل Schematic of a Multistage with Four Stages Flash Desalination

ملاحظة :

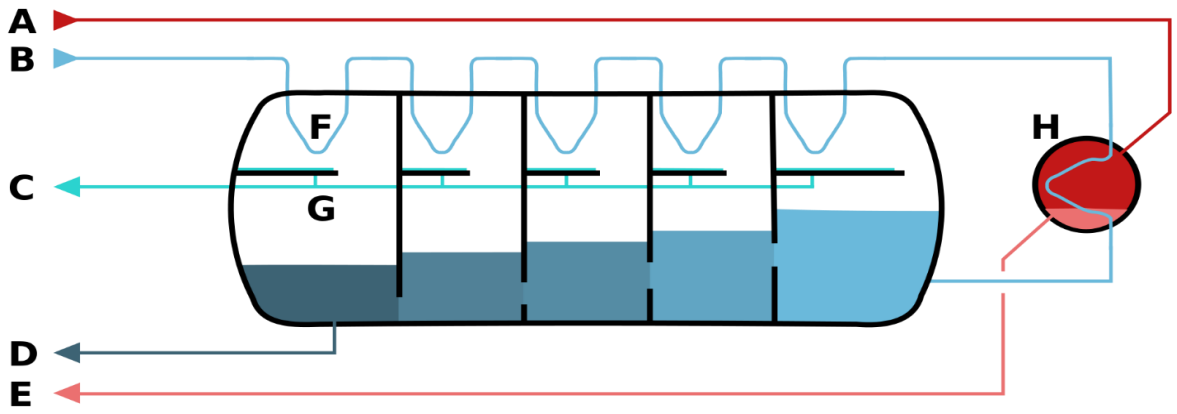
1 - نظرًا لأن MSF هي عملية تبخير ، فلا يلزم توفير مرافق معالجة مسبقة متطورة .

2 - تكون عملية المعالجة المسبقة للمياه لـ MSF – شكل (59) ، أسهل بكثير بالمقارنة مع RO لأن المعالجة المسبقة تتكون في كثير من الأحيان مجرد إضافة مضادات التآكل والمضادات لتكون القشور لمياه التغذية.

يرجي الرجوع للباب الثاني و شكل (17) .

مخطط تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل :

شكل (58) :



A - Steam in
B - Seawater in
C - Potable water out
D - Brine out (waste)
E - Condensate out
F - Heat exchange
G - Condensation collection
H - Brine heater

شكل (58)

مخطط تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل with Four Stages Schematic of a Multistage Flash Distilation

وصف مراحل التنقية :

المعالجة المسبقة :

ترد المياه من البحر خلال المأخذ ثم مصافي المدخل – محطة الطلمبات تضخ المياه لداخل المحطة - حقن أضافات موانع القشور لمنع الترسبات و تكـــوين القشور Scales داخل أنابيب المكثفات أو المبادلات الحرارية . يرجي مراجعة الباب الثاني و شكل (17) .

عملية التحلية :

1 - تبدأ عملية تسخين المياه المالحة في مبادل حراري Heat Exchanger منفصل يسمى السخان الملحي Brine Heater ، تنتقل بعدها المياه المالحة الساخنة إلى أوعية التبخير Evaporators تحت ضغط منخفض نسبيا (ضغط تفريغ = 0,75 ض . ج) ، مما يساعد على زيادة معدل التبخر . وعلى ذلك فأن درجة التفريغ المذكورة تساهم مساهمة فعالة في استخدام درجات حرارة منخفضة نسبيا (أقل من100 درجة مئوية) . يتم تكثيف هذا البخار للحصول علي الماء العذب من تسخين مياه البحر .

2 - تتكثف المياه العذبة و يتحول البخار إلى الحالة السائلة وتخرج المياه المحلاة عن طريق ماسورة خاصة إلي الخزانات . تجري عملية ضبط قلوية المياه Alkalization Process ، بإضافة كميات (جرعات) محسوبة من الأحماض وتدخل المياه الي خزان الاستهلاك وتجري معالجة لاحقة لتجهيزه للاستخدام في الشرب. تؤدي خطوات إعادة التمعدن إلى زيادة درجة القلوية pH وعسر الماء Hardness ، مما يؤدي إلى استقرار الماء ، بينما تخرج المياه المالحة المتخلفة عن طريق ماسورة أخرى يتم صرفها إلي البحر .

3 - يمكن لوحدة التحلية (المبخر) أن تحتوي على مراحل من 4 إلى 40 مرحلة .

4 - وغالبا ما يتم انشاء وحدات بسعة 4.000 إلى 30.000 متر مكعب مياه يومياً . ويتم تشغيل هذه الوحدات عادة عند درجة حرارة لمياه التغذية (بعد السخان الملحي) تتراوح ما بين (90 - 120) درجة مئوية . ومن العوامل المؤثرة على الكفاءة

الحرارية للمحطة هو الفارق الحراري ما بين السخان الملحي وأبرد جزء في المحطة. وتشغيل المحطة عند درجة حرارة أعلى من 120 درجة مئوية بغرض زيادة كفاءتها ربما يؤدي الغرض غير أنه يتسبب في زيادة إمكانية تكون القشور والإسراع في تآكل الأسطح المعدنية .

المعالجة اللاحقة Post Treatment :

تتم إعادة تمعدن ناتج التقطير من وحدات MSF عن طريق إضافة الجير المائي hydrated lime وثاني أكسيد الكربون carbon dioxide, ، وكلور عن طريق حقن غاز الكلور ، والتهوية بالهواء المضغوط. تؤدي خطوات إعادة التمعدن إلى زيادة درجة الحموضة والقلوية pH ,وعسر الماء ، وبالتالي استقرار الماء.

بعد معالجة المياه عن طريق الفلاش متعدد المراحل ، يجب معالجة المياه معالجة لاحقة لجعل طعم الماء مستساغا ، نظرًا لأن الماء المقطر غير سار ، وكذلك لحماية المستهلكين والأنابيب التي من خلالها سوف يمر الماء . توجد بدائل متعددة لتحقيق أهداف إعادة التمعدن والتهوية والتحكم في التآكل والتطهير.

يعد تهوية وإدخال بعض المواد الصلبة الذائبة في مياه المنتج طرقًا فعالة لإنشاء منتج عالي الجودة ، ويحتوي على نكهة متوقعة من الماء عند تسليمه إلى المستهلك. سيتم تحقيق التهوية عبر جهاز تهوية بالرش والذي سيشغل مساحة أقل من التهوية المتتالية Cascade Aeration . سيتم استخدام مزج مواد لإعادة تمعدن الماء Remineralize Water بدلاً من مرشح إعادة التمعدن لأنه لا يتطلب شراء معدات إضافية ، ويمكنه بسهولة التعامل مع الكميات الكبيرة من الإنتاجية المطلوبة للعملية. يمكن التحكم في التآكل ودرجة الحموضة عن طريق إضافة الجير (هيدروكسيد الكالسيوم) وثاني أكسيد الكربون إلى الماء. للقيام بذلك ، يجب إضافة حوالي 74 مجم / لتر من الجير و 88 مجم / لتر من ثاني أكسيد الكربون إلى المياه المحلاة للمساعدة في منع التآكل وزيادة القلوية ضمن النطاقات المقبولة. يعتبر هيدروكسيد الصوديوم ورماد الصودا وبيكربونات الصوديوم بدائل لتغيير القلوية ودرجة الحموضة pH في ماء المنتج ، لكن الجير وثاني أكسيد الكربون معيار صناعي .

كما يجب إجراء التطهير اللازم لمنع نمو الميكروبات في المياه المحلاة وضمان سلامة عامة الناس. يتم إضافة الكلور عن طريق غاز الكلور أو هيبوكلوريت الصوديوم هي الأكثر شيوعًا وتتطلب فقط جرعة من 1,5 إلى 2,5 مجم / لتر. البدائل الأخرى تشمل الأوزون ، وضوء الأشعة فوق البنفسجية ، والكلور. الكلور كمحلول 5٪ - 15٪ هيبوكلوريت الصوديوم ، كافٍ لعملياتنا وغير مكلف نسبيًا ، وعلى هذا النحو سيتم استخدامه في هذه العملية. يراجع الباب العاشر و الحادي عشر .

استهلاك الطاقة لطرق تحلية مياه البحر :

استهلاك الطاقة لطرق تحلية مياه البحر - جدول (8) :

جدول (8)

استهلاك الطاقة لطرق تحلية مياه البحر Energy Consumption of Seawater Desalination Methods

Desalination Method	Multi-stage Flash MSF	Multi-Effect Distillation MED	Mechanical Vapor Compression MVC	Reverse Osmosis RO
Electrical Energy (Kwh/M³)	4 – 6	1.5 – 2.5	7 – 12	3 – 5.5
Thermal Energy (Kwh/M³)	50 – 110	60 – 110	None	None
Electrical Equivalent of	9.5 – 19.5	5 – 8.5	None	None

Thermal Energy (Kwh/M^3)				
Total equivalent electrical energy (kWh/m3)	13.5 – 25.5	6.5 – 11	7 – 12	3 – 5.5

نماذج لمحطات التحلية بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل :

1 - محطة تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل – الجبيل – المملكة العربية السعودية – شكل (59) :

شكل (59)

محطة تحلية المياه بطريقة التقطير الومضى متعدد المراحل – الجبيل MSF Desalination Plant Total 470,000 ton/day

شكل (59)

محطة تحلية بالتقطير الحراري الومضي متعدد المراحل – جبل علي – دبي

مميزات المحطة :

1 - منتج محلى ، أي لا توجد مشاكل لقطع الغيار أو الصيانة. مصممة للخدمة الشاقة ، لها عمر افتراضي كبير .

2 – تعمل عند درجة حرارة أقل من 70 درجة مئوية .

3 - تقاوم تكون الصدأ أو القشور .

4 - تستهلك طاقة كهربية بسيطة للغاية (1 ك و س / 1 م3) .

5 – سهلة التشغيل والصيانة .

6 – تعمل بشكل متواصل 24 ساعة مع أشراف بسيط .

7 – قليلة استهلاك الوقود .

8 - يمكنها معالجة مياه درجة ملوحتها حتى 45000 جزء في المليون .

9- طاقة المعالجة 100 - 2000 متر مكعب / اليوم.

ملاحظة :

1 - هذه النوعية من التحلية ، تكون اقتصادية في حالة طلب 2000 متر مكعب يوميا على الأقل ، كما يفضل أن تكون المنطقة في حاجة إلى طاقة كهربائية ، حيث أن هذه المحطات يمكنها أنتاج طاقة كهربائية بجانب عملية تحلية المياه By Product.

التهجين (الجمع) بين طرق التحلية Hybrid Desalination :

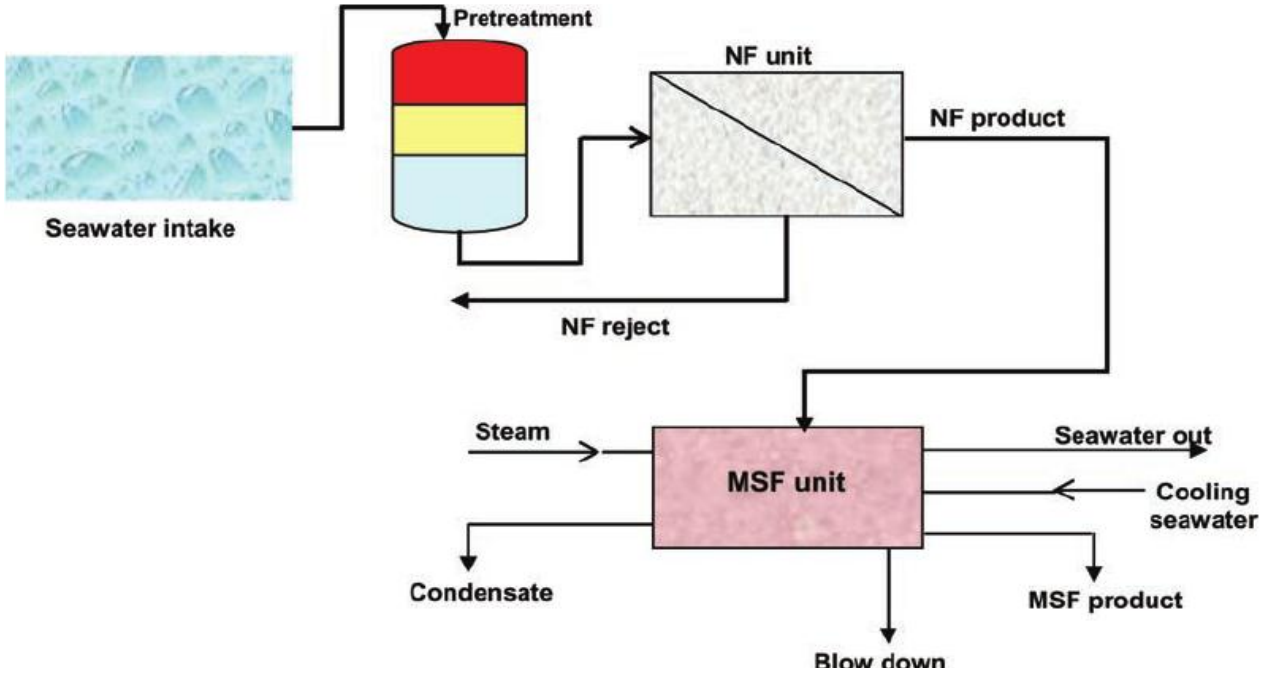
التهجين بين طرق التحلية قد يكون ذا فائدة اقتصادية في كثير من الحالات ، فهو وسيلة للجمع بين ميزات طريقتين او اكثر من طرق التحلية وقد يؤدي الى رفع مستوى اداء بعض الطرق عند دمجها مع طرق اخرى مقارنة بأدائها منفردة ، الى جانب انه يجنب تكرار المعدات والمنشآت مما يقلل من التكلفة الرأسمالية والتشغيلية. واوضح أمثلة نظم التهجين هي تلك التي يتم الجمع فيها بين طريقتي التقطير الومضي متعدد المراحل وطريقة التناضح العكسي، فيسمح بتغذية محطة التناضح العكسي بمياه التبريد الراجعة التي سبق تسخينها بمحطة التقطير الومضي متعدد المراحل فيرتفع انتاج محطة التناضح العكسي بنسبة قد تصل الى 30% في حين يمكن الاستغناء عن منشآت مآخذ مياه البحر الخاصة بالتناضح العكسي وخفض حجم قناة ومعدات صرف مياه الترجيع من المحطتين معا . كما ان خلط الماء المنتج من التقطير وهو ماء مقطر لا يزيد تركيز الاملاح الذائبة فيه عن 30 ملليجرام / لتر مع الماء المنتج من محطة التناضح العكسي ذات أملاح ذائبة قد تصل الى 500 مللي جرام / لتر ينتج ماءا عذبا ذا محتوى ملائم للشرب والاستخدام اليومي دون الحاجة الى مياه آبار لمعالجة المياه المنتجة من المقطرات. وهناك توجه لاجراء المزيد من الدراسات والأبحاث للوصول إلى افضل نظم التهجين بين طرق التحلية التي تقدم وصفها .

أمثلة :

1 - أضافة محطة تحلية الي محطة أنتاج الطاقة الشمسية Adding Desalination plant to Solar Hybrid بالتقطير الحراري الومضي متعدد المراحل مع التناضح العكسي- شكل (60) .

نماذج من محطات تحلية مهجنة من أغشية النانو مع طريقة التقطير الومضي متعدد المراحل :

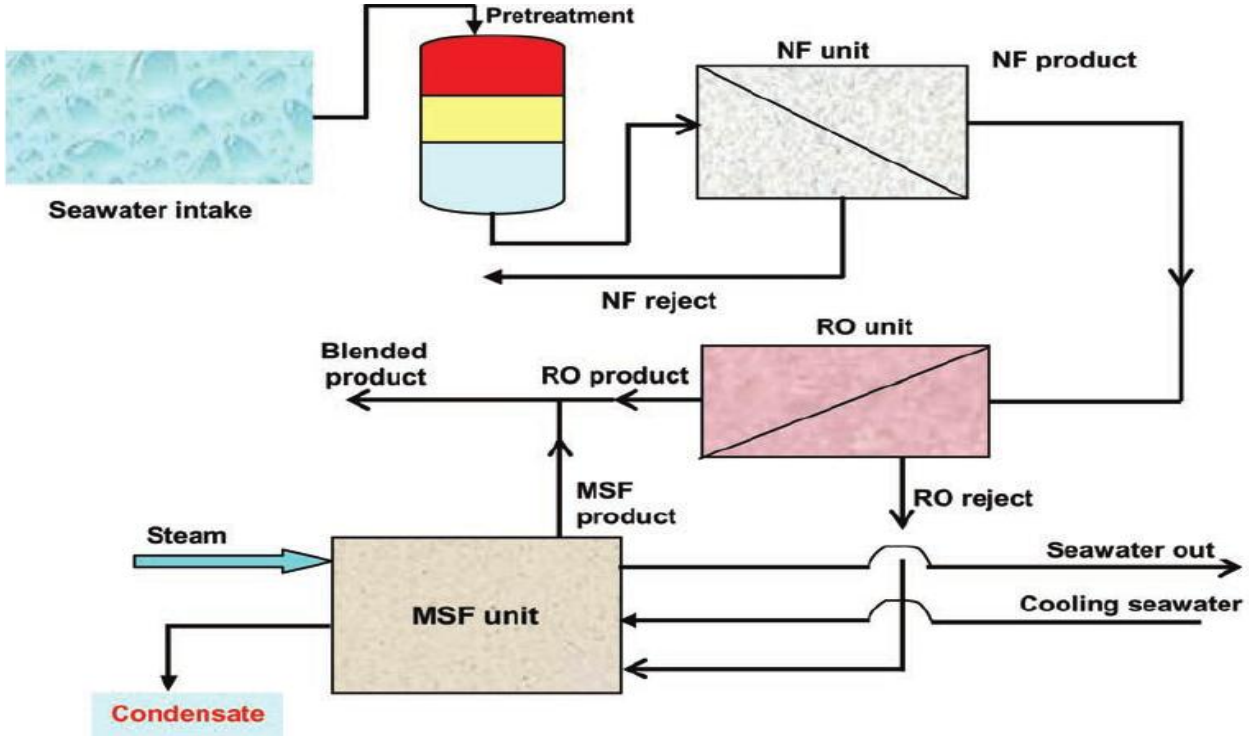
شكل (61) :



شكل (61)

محطات مهجنة من أغشية النانو مع طريقة التقطير الومضى متعدد المراحل

Schematic Flow Diagram of Dihybrid NF/MSF Desalination System.

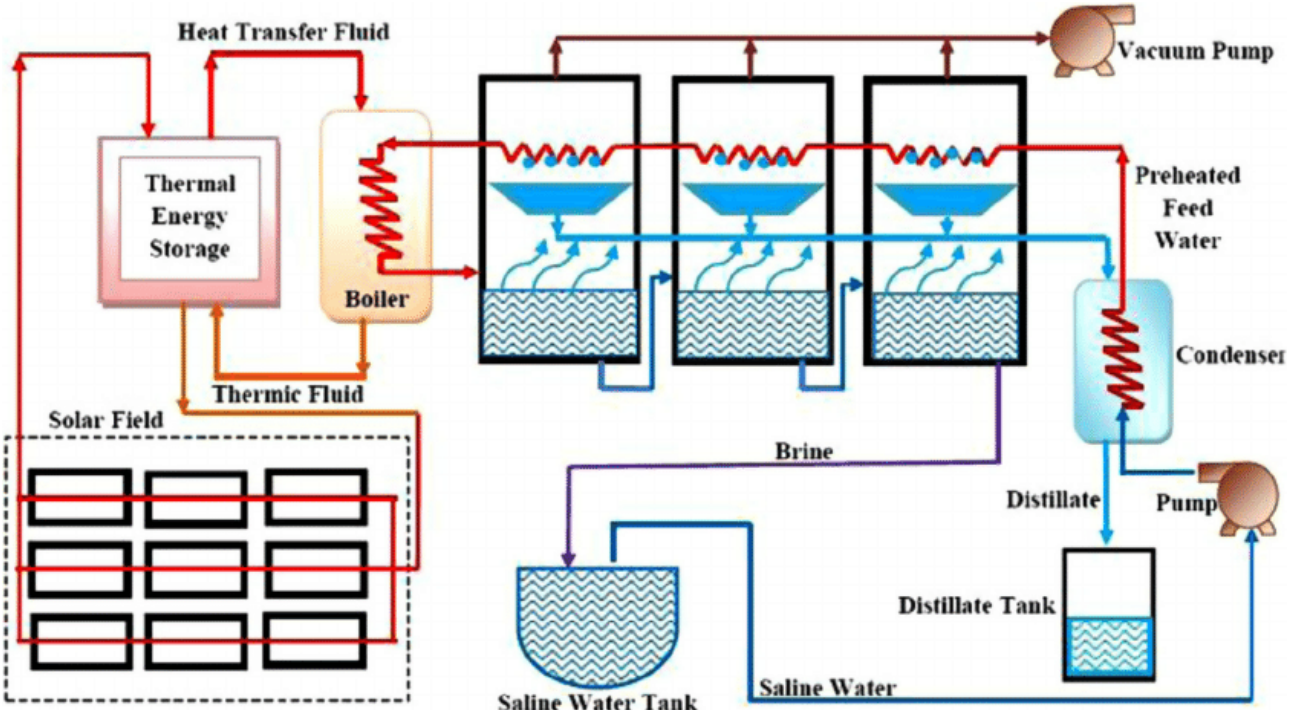


شكل (61)

محطات مهجنة من أغشية النانو مع أغشية التناضح العكسي مع طريقة التقطير الومضى متعدد المراحل

Schematic Flow Diagram of Trihybrid NF/RO/MSF Desalination Overview of Hybrid Desalination Systems

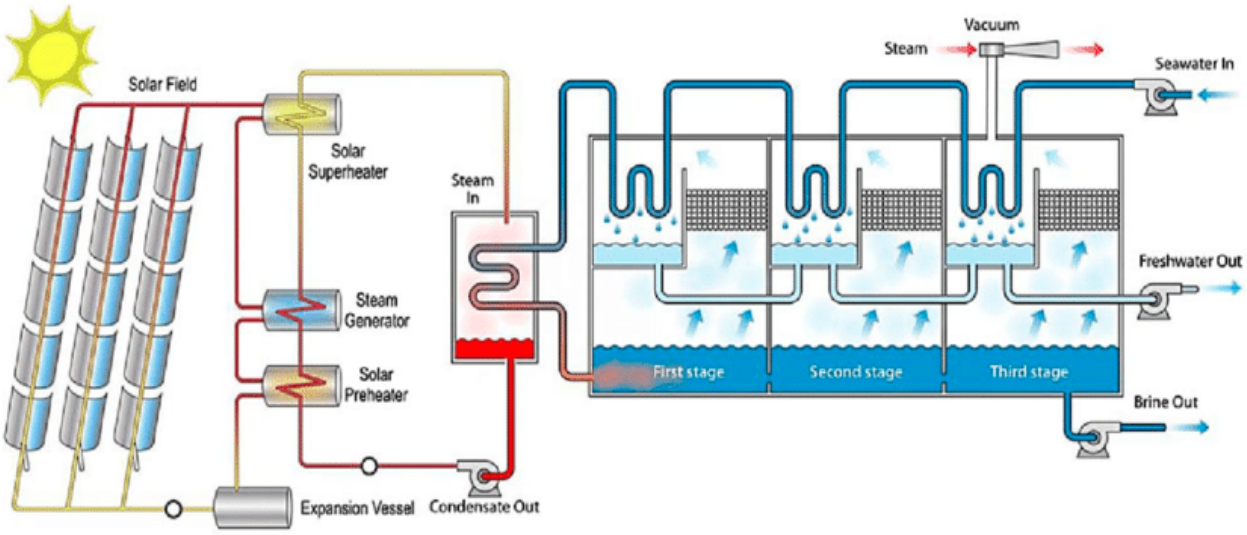
تتركز الطريقة في الحصول علي الطاقة اللازمة من الشمس لتشغيل محطة التحلية ـ شكل (62) :



شكل (62)

توليد الطاقة الشمسية لتشغيل نظام التقطير الحراري الومضي متعدد المراحل

Schematic of a Solar Powered MSF Desalination Plant



شكل (62)

توليد الطاقة الشمسية لتشغيل نظام التقطير الحراري الومضي متعدد المراحل

Solar PTC Operating MSF Unit.

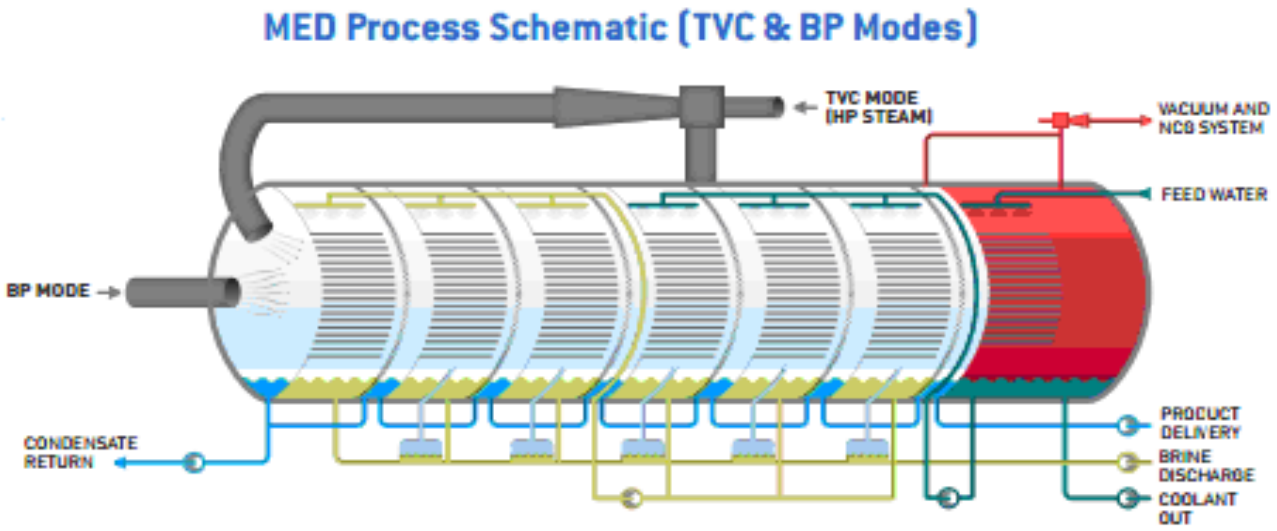
التحلية بنظام التبخير/ التقطير متعدد التأثير Multiple-Effect Evaporation / Distillation (MED)

ثانيا : التحلية بنظام التبخير/ التقطير متعدد التأثير Multiple-Effect Evaporation / Distillation (MED)

تعرف هذه التقنية بتحلية المياه بطريقة الأنبوب الرأسي الطويل LTV أو الأنبوب أالفقي (حسب التصميم) ، و هي مماثلة لطريقة تحلية المياه بالتقطير الومضى متعدد المراحل (MSF) ، هذه التقنية مطبقة في محطتي الطويلة وأمارة الفجيرة .
يستخدم التقطير متعدد التأثيرات نفس المبادئ مثل عملية التقطير الوميض متعدد المراحل فيما عدا أنه بدلاً من استخدام غرف متعددة في وعاء واحد ، يستخدم MED أوعية متتالية ذات أنبوب أفقي - شكل (63) . بخار الماء الذي يتكون عند غليان الماء يتكثف ويتجمع. تجعل المبخرات المتعددة عملية MED أكثر كفاءة.

التقطير متعدد التأثير :

تقوم المقطرات المتعددة التأثير بالاستفادة من الأبخرة المتصاعدة من المبخر الأول للتكثف في المبخر الثاني . وعليه ، تستخدم حرارة التكثف في غلي ماء البحر في المبخر الثاني ، وبالتالي فإن المبخر الثاني يعمل كمكثف للأبخرة القادمة من المبخر الأول ، وتصبح هذه الأبخرة في المبخر الثاني مثل مهمة بخار التسخين في المبخر الأول . وبالمثل ، فإن المبخر الثالث يعمل كمكثف للمبخر الثاني وهكذا ويسمى كل مبخر في تلك السلسة بالتأثير – شكل (63) .
تستخدم سلسلة من الأنابيب الأفقية التي يتم تكييفها في مستويات ضغط وحرارة منخفضة. يتم إدخال البخار داخل الأنابيب فيما يتم تبريد الأنابيب من الخارج بواسطة مياه البحر، وهكذا يتكثف البخار إلى مياه عذبة داخل الأنابيب ويتم تجميعه.



Schematic View of A Horizontal Tube Multi-Effect Distillation Plant

شكل (63)

مخطط تشغيل محطة التحلية بالأنبوبة الأفقية بنظام التقطير متعدد التأثير

عملية التكثيف هذه تنتج عنها حرارة تؤدي لتسخين مياه البحر خارج الأنابيب ويتبخر بعض هذه المياه. ومع أن هذا البخار يكون في درجة حرارة أقل من درجة حرارة البخار الأصلي، إلا أنه يمكن استخدامه لتسخين المجموعة التالية من الأنابيب

الأفقية. ويتم تكرار هذه العملية مرات عديدة مما يجعل من هذه التقنية طريقة فعالة لاستخلاص مياه الشرب من مياه البحر دون إهدارا كبير للطاقة . أن عملية تبخير الماء تحتاج الى كميات كبيرة من الطاقة ، وان هذة الطاقة اما ان تبدد في الهواء او ماء التبريد (في عملية التكثيف) او ان يعاد استخدامها في عملية التبخير مرة اخرى في طريقة التبخير متعدد المراحل يعاد استخدام طاقة التكثيف مرات عديدة .

شكل (63)

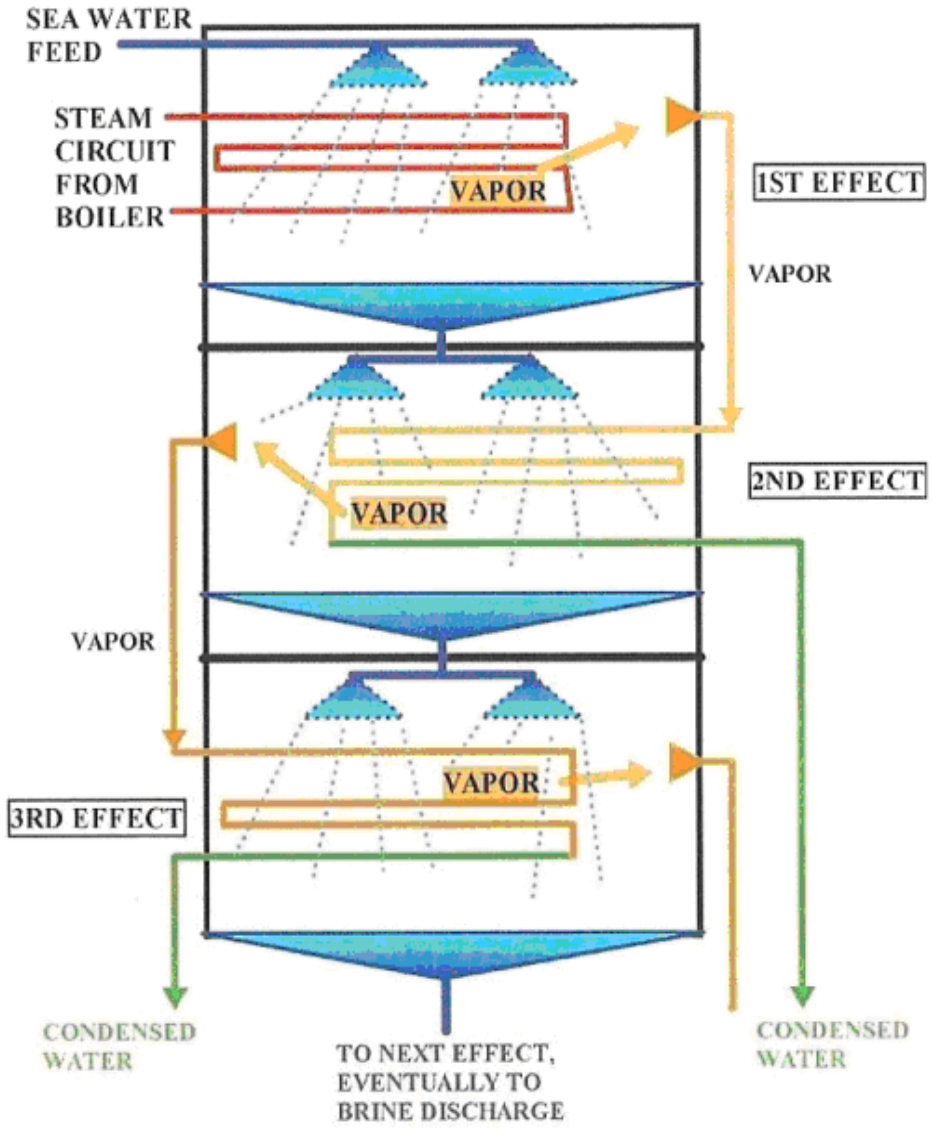
التقطير بواسطة الأنابيب المتوازية الأفقية متعدد التأثير Parallel IDE MED Units, 4 X MED 25,000m3 /Day Units, Tianjin, China

في الغلاية يحول الماء العذب الى بخار . دورة المياة في الغلاية مستقلة - الغلاية مصدر للطاقة الحرارية .

يدخل بخار الغلاية الى انابيب المرحلة الاولى . بخار الماء يعطي حرارتة الى ماء البحر في المرحلة الاولى . ماء البحر يصل الى درجة الغليان ويبدأ في التبخر .

- البخار الخارج من المرحلة الاولى يذهب الى المرحلة الثانية حيث يتكثف هناك ويعطي حرارتة لماء البحر ليتبخر والذي بدورة يمر الى المرحلة التالية وهكذا .
- لاحظ التالي : ان درجة الغليان في المرحلة الاولى اقل من 100مئوية وبالتالي ضغط البخار يجب ان يكون اقل من الضغط الجوي .
- ان درجة الغليان في المرحلة الثانية اقل من الاولى وفي الثالثة اقل من الثانية وهكذا وذلك كي نستعمل الحرارة المطرودة من البخار في عملية التكثيف تكون اعلى من الحرارة اللازمة لعملية التبخير في المرحلة التالية .
- التحكم في ضغط المراحل يتم بشفاطات (Ejectors) (غير ظاهرة في الرسم) وصمامات تحكم .
- البخار ناتج المرحلة الاخيرة يتم تكثيفة في مكثف خارجي (وهذه هي كمية الطاقة المبددة في العملية)
- كما ترى في الرسم فانة يلزم مضخات لسحب الماء المتكثف (الماء العذب) وضخة الى خزان الماء . كل المراحل تقع تحت ضغط اقل من 1 جوي .
- الماء المالح (بتركيز اعلى من ماء البحر) يسحب من المرحلة الاخيرة ويعاد للبحر وفية بعض الحرارة المبددة .

Simplified diagram of the multiple-effect distillation process



شكل (63)

مخطط تشغيل محطة التحلية (الرأسية) بنظام التقطير متعدد التأثير

أمثلة لمحطات التحلية بنظام التقطير متعدد التأثير :

1- محطة التحلية ، مدينة الزاوية –ليبيا MED-TVC - 8 Units of 20,000 M^3/Day Production

شكل (64) :

شكل (64)

محطة تحلية بنظام التقطير متعدد التأثير – الزاوية – ليبيا MED-TVC - 8 units of 20,000 m3/day production

2 - محطة تحلية مياة البحر بدولة الامارات العربية - محطة تحلية مهجنة – الفجيرة :

تتكون المحطة من 12 وحدة ،الوحدة من 8 مراحل تعمل بنظام MED - المحطة بطاقة = 463000 مترمكعب/ يوم - شكل (64) . تجمع المحطة بين تقنية التحلية بنظام التبخير/ التقطير متعدد التأثير / Multiple-Effect Evaporation Distillation (MED) و تقنية التناضح الأسموذي العكسي Reverse Osmosis (RO) للحصول علي مياه منقاه عالية الجودة و لتحقيق الاقتصاد في التكلفة – شكل (65).

شكل (65)

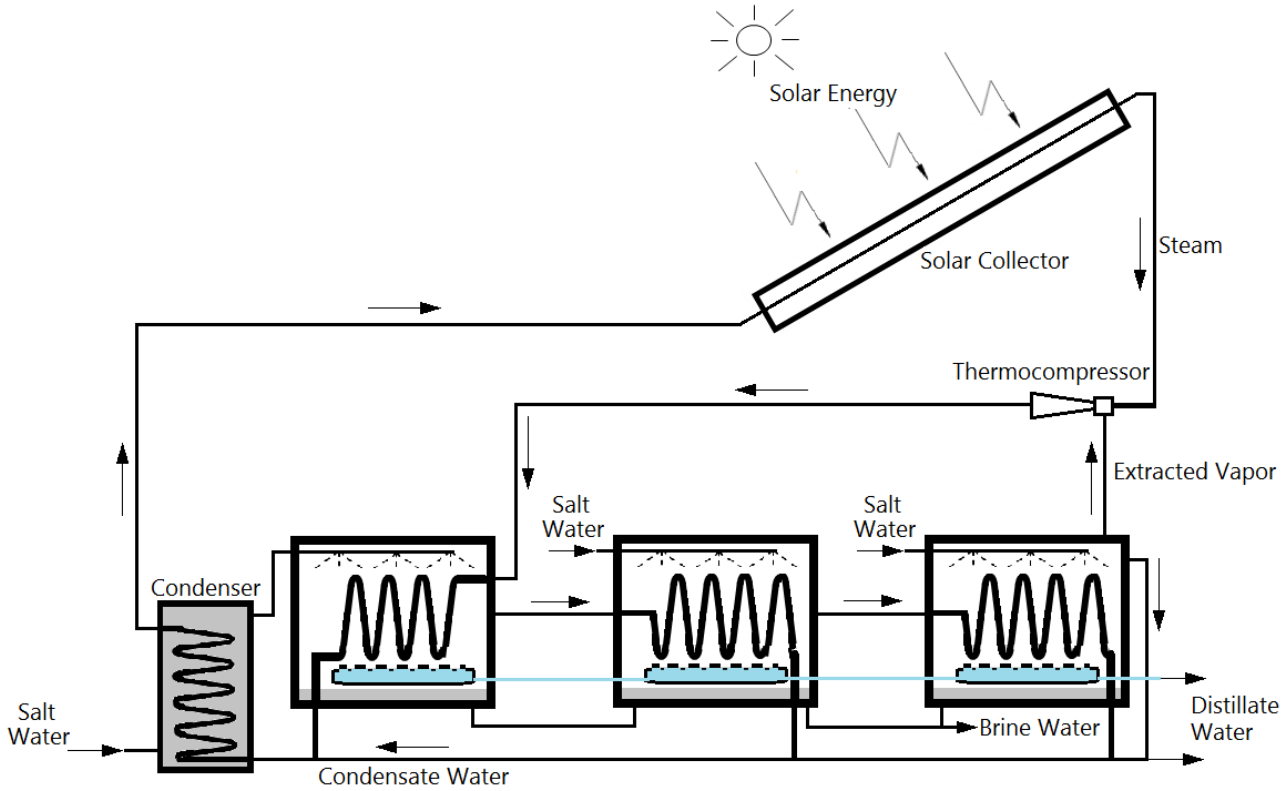
محطة تحلية المياه – الفجيرة Fujairah 2 Is the Largest Hybrid Desalination Plant In the World

إن إنشاء محطة تحلية المياه ذات التأثير متعدد المراحل MED المدموجة بالضواغط الحرارية، التي تعمل ضمن نطاق حرارة منخفضة، يؤدى إلى انخفاض في استهلاك الطاقة وحد أدنى من الترسبات الأيونية.

أنظمة تشغيل محطات التحلية (وحدات التقطير متعدد التأثير (MED)) بالطاقة الشمسية :

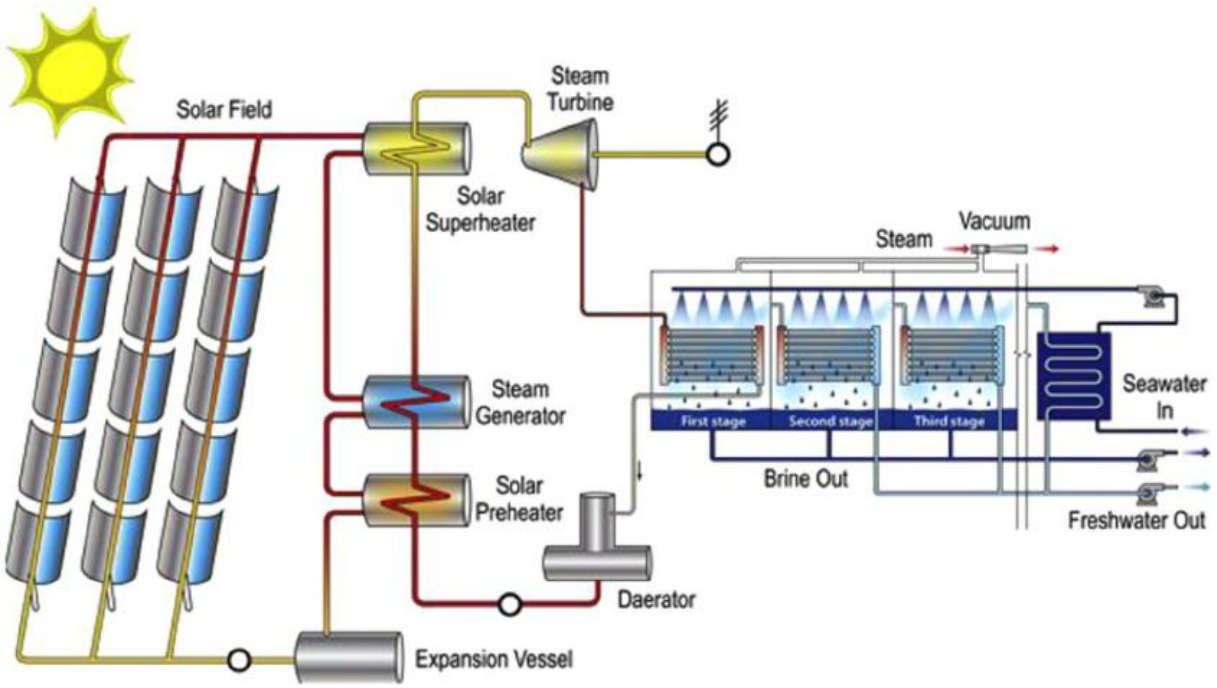
تتركز الطريقة في الحصول علي الطاقة من الشمس لتشغيل محطة التحلية - شكل (66) :

تعد وحدات التقطير متعدد التأثير (MED) طريقة عملية واعدة لتقطير المياه نظرًا لقدرتها على استخدام الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، والطاقة الحرارية الأرضية ، وما إلى ذلك) وإعادة استخدام حرارة النفايات المنخفضة الجودة من أي مصدر (من البخار أو الغاز) محطة توليد التوربينات ، وما إلى ذلك). تستهلك عملية MED المدعومة بالطاقة الشمسية كلاً من الطاقة الحرارية (ضغط البخار الحراري) والطاقة الميكانيكية (ضغط البخار الميكانيكي) لإنتاج الماء المقطر .



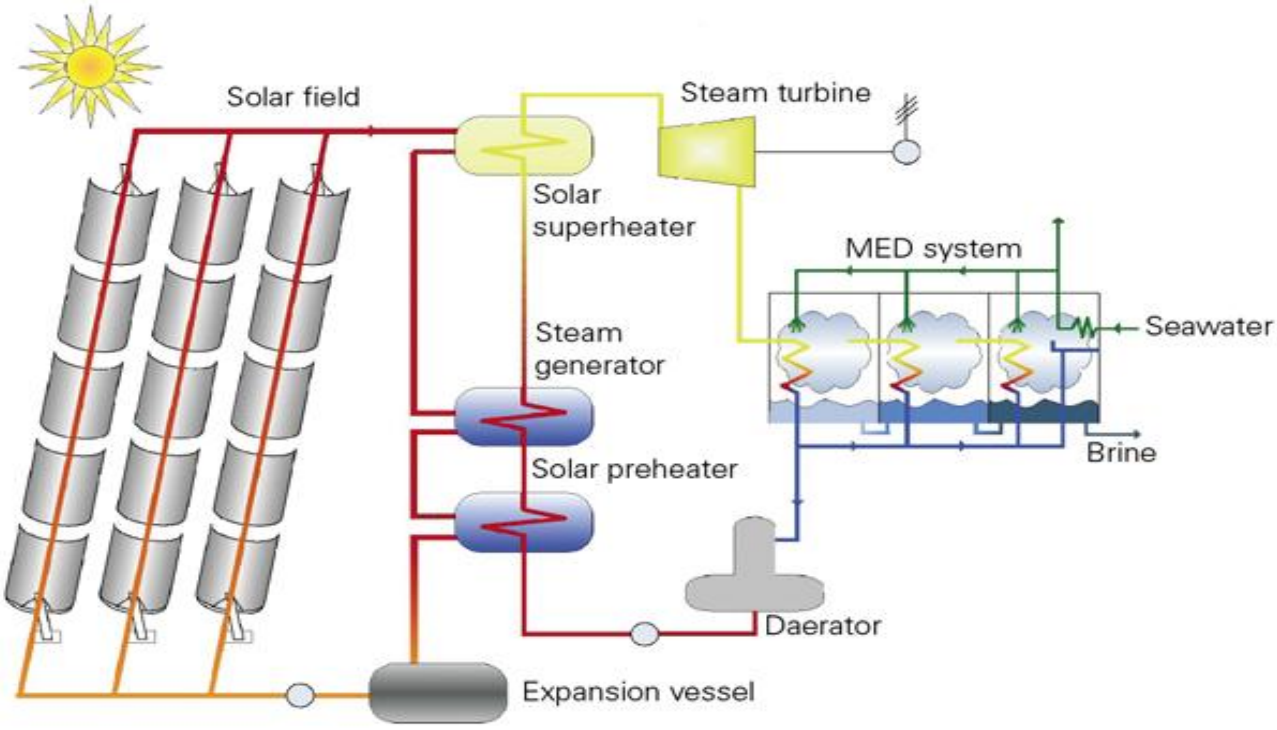
شكل (66)

مخطط تشغيل محطة التحلية بالطاقة الشمسية Schematic of a Solar Powered MED Desalination Plant With Thermo-Compression (MED-TVC)



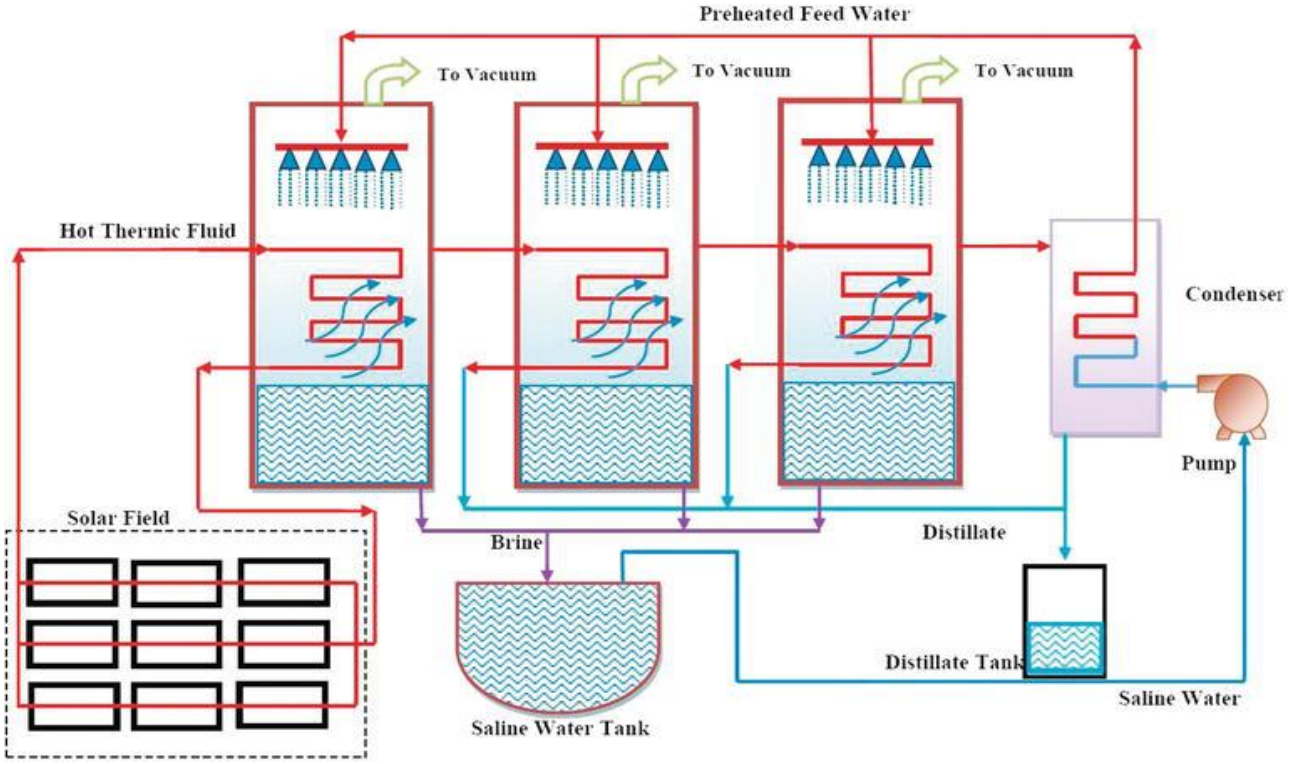
شكل (66)

مخطط تشغيل محطة التحلية بالطاقة الشمسية Schematic of a Solar Powered MED Desalination Plant



شكل (66)

محطة طاقة شمسية مهجنة مع محطة تحلية بنظام التبخير/ التقطير متعدد التأثير Adding Desalination plant to Solar Hybrid



شكل (66)

محطة طاقة شمسية مهجنة مع محطة تحلية بنظام التبخير/ التقطير متعدد التأثير

MED Distillation Process Powered By Concentrated Solar Energy

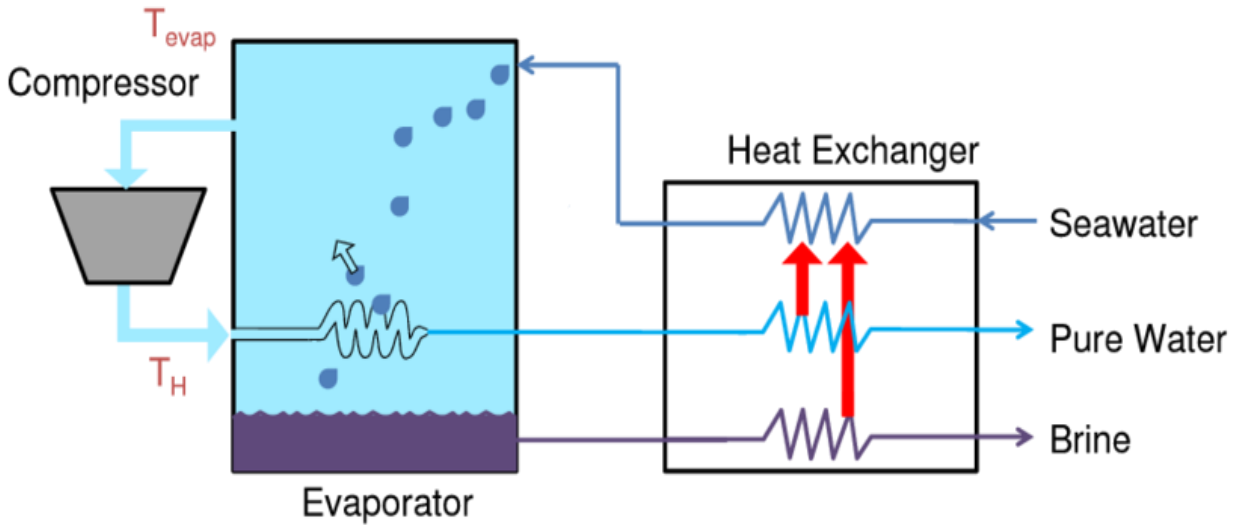
ثالثا : تحلية المياه بضغط البخار الميكانيكي
Mechanical Vapor Compression (MVC)

في ضغط البخار الميكانيكي (MVC) يتم نقل حرارة المبخر Evaporator Heat إلى التيار المتداول Circulating Stream عن طريق تكثيف البخار من الضاغط (الضواغط). ... يؤدي ضغط البخار إلى رفع ضغطه (ومن ثم درجة حرارة تشبعه) إلى النقطة التي ينتج عنها انتقال الحرارة المطلوب في المبادل الحراري الرئيسي Main Heat Exchanger.

ونظرًا لأن ضغط البخار يزيد من ضغط ودرجة حرارة البخار ، فمن الممكن استخدام الحرارة الكامنة المرفوضة Latent Rejected Heat أثناء التكثيف لتوليد بخار إضافي. يمكن عمل تأثير ضغط بخار الماء بطريقتين.

تستخدم الطريقة الأولى نظام قاذف Ejector System يحركه Motivated البخار عند ضغط من مصدر خارجي من أجل إعادة تدوير البخار من عملية التحلية. يتم تحديد النموذج للضغط الإخراجي Ejectocompression أو الضغط الحراري Thermo Compression.

باستخدام الطريقة الثانية ، يتم ضغط بخار الماء بواسطة جهاز ميكانيكي ، مدفوع كهربائيًا في معظم الحالات. يُعرف هذا النموذج بضغط البخار الميكانيكي (MVC) – شكل (67) .



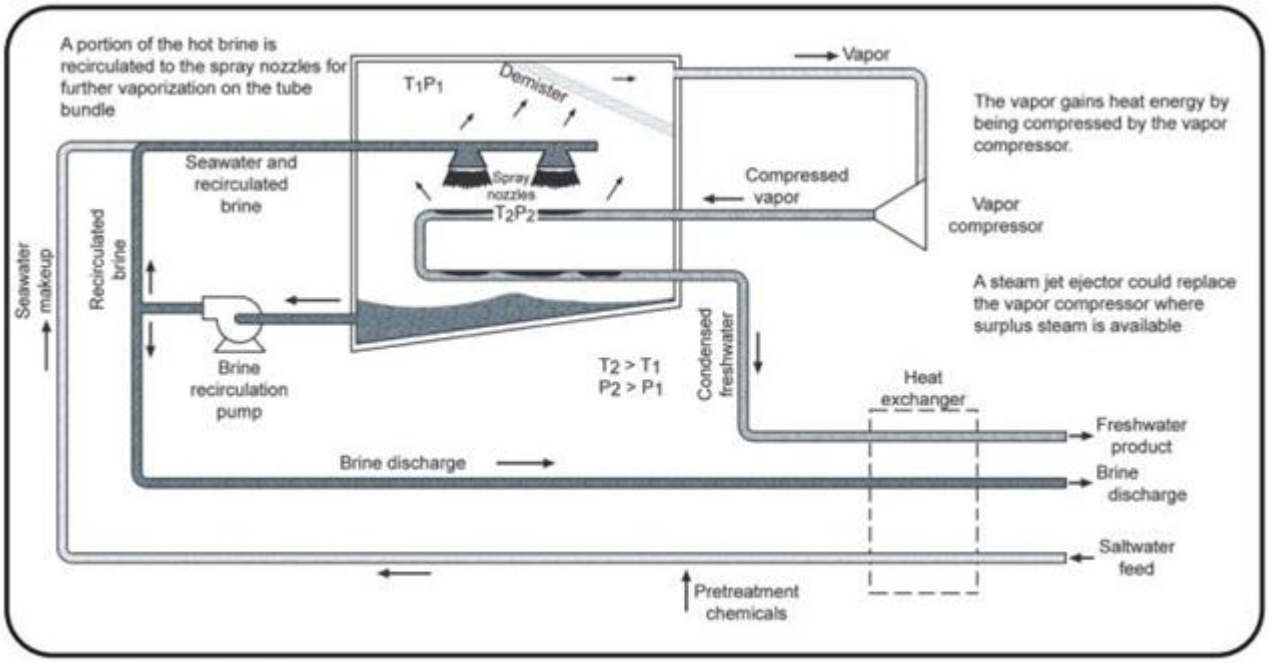
شكل (67)

عملية ضغط بخار ميكانيكي أحادي التأثير (MVC) مع تبخير بالرش.

Single Effect Mechanical Vapor Compression Process (MVC) With Spray Evaporation.

التقطير بضغط البخار :

يمكن أن يعمل التقطير بضغط البخار بشكل مستقل أو يمكن استخدامه مع عملية تقطير حراري أخرى. يستخدم VCD الحرارة الناتجة عن ضغط البخار لتبخير مياه التغذية (الشكل 3). تستخدم وحدات VCD بشكل شائع لإنتاج المياه العذبة للأغراض الصغيرة والمتوسطة الحجم مثل المنتجعات والصناعات ومواقع التنقيب عن البترول – شكل (68) .



Example of a vapor compression distillation (VCD) process

شكل (68)

التقطير بضغط البخار

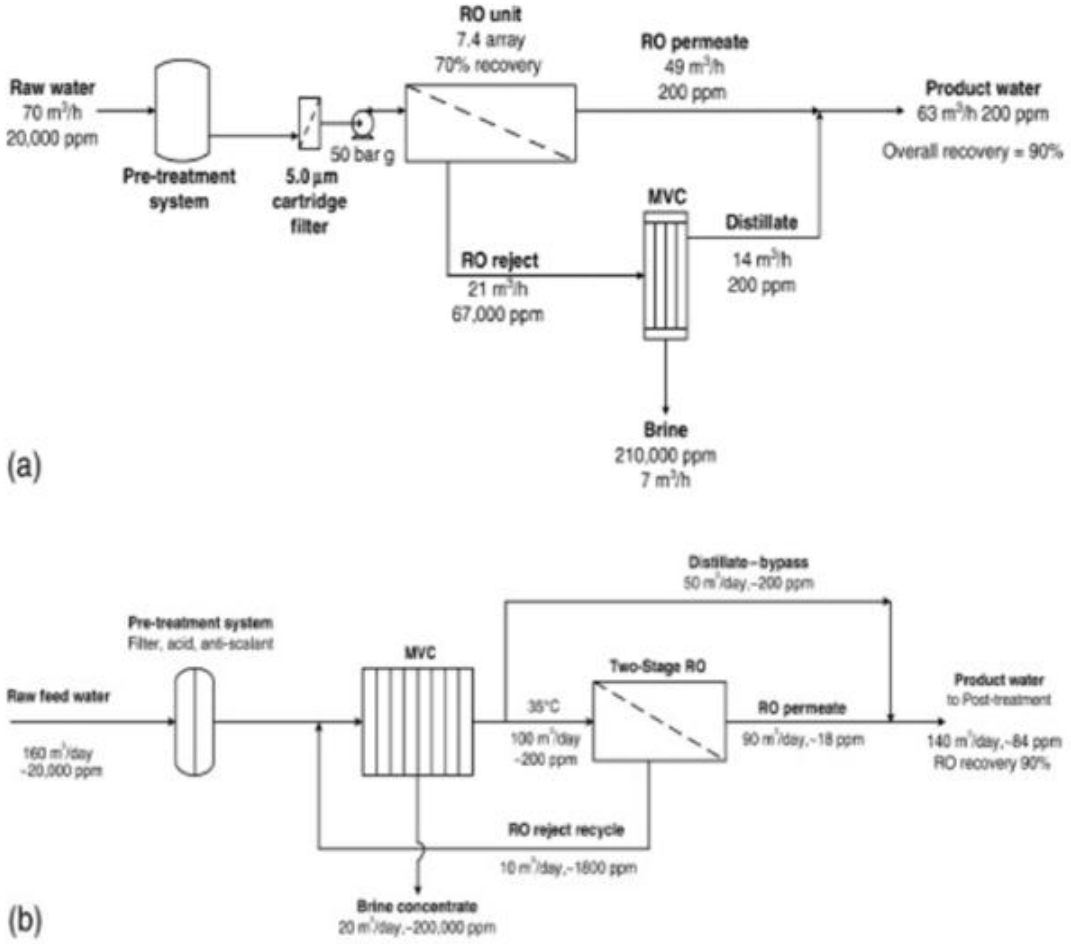
لتحلية المياه بهجين من تقنية ضغط البخار الميكانيكى و التناضح العكسى MVC-RO :

أنظمة ضغط البخار الميكانيكي عبارة عن وحدات تقطير صغيرة بسعة تتراوح بين 250-3000 متر مكعب / يوم . على الرغم من أنها وحدات صغيرة ومكلفة وكثيفة الاستهلاك للطاقة ، إلا أنها تستخدم غالبًا لتحلية المياه عالية الملوحة ، مثل مياه البحر ومياه مصب الأنهار في المناطق النائية. من أجل تقليل تكلفة رأس المال واستهلاك الطاقة ، توفر أنظمة RO-MVC الهجينة خيارًا أقل تكلفة :

- **نظام RO-MVC الشكل (أ) : مبخر MVC يعالج تركيز محلول ملحي RO عالي الملوحة (TDS ~ 67000 مجم / لتر). الاسترداد الكلي هو 90٪ ، ومياه التغذية 30 ~ MVR٪ من معدل تدفق التيار الخام الأصلي – شكل (5).**
- **نظام MVC-RO الشكل (ب) : تلميع التناضح العكسي حوالي 60٪ من نواتج التقطير 200 ملجم / لتر MVC "منخفضة الجودة" ، و ~ 40٪ من ناتج التقطير يتم تجاوزه للمزج مع تتخلل التناضح العكسي لزيادة ماء المنتج المواد الصلبة الذائبة – شكل (69).**

تتكون عملية MVC من نسختين مختلفتين :

- **ضغط البخار (VC) .**
- **ضغط بخار بالتفريغ (VVC).**



شكل (69)

أنظمة ضغط البخار الميكانيكي

(A) Process Flow Diagram of A RO-MVC System. (B) Process Flow Diagram of A MVC-RO System. Activated Carbon and Calcite Filtration Post-Treatment Not Shown.

أولا : تحلية المياه بضغط البخار (VC) :

هي عملية ميكانيكية و حرارية .

تشير تحلية ضغط البخار (VC) إلى عملية التقطير حيث يتم الحصول على تبخر مياه البحر أو المياه المالحة من خلال تطبيق الحرارة التي يتم توصيلها بواسطة البخار المضغوط.

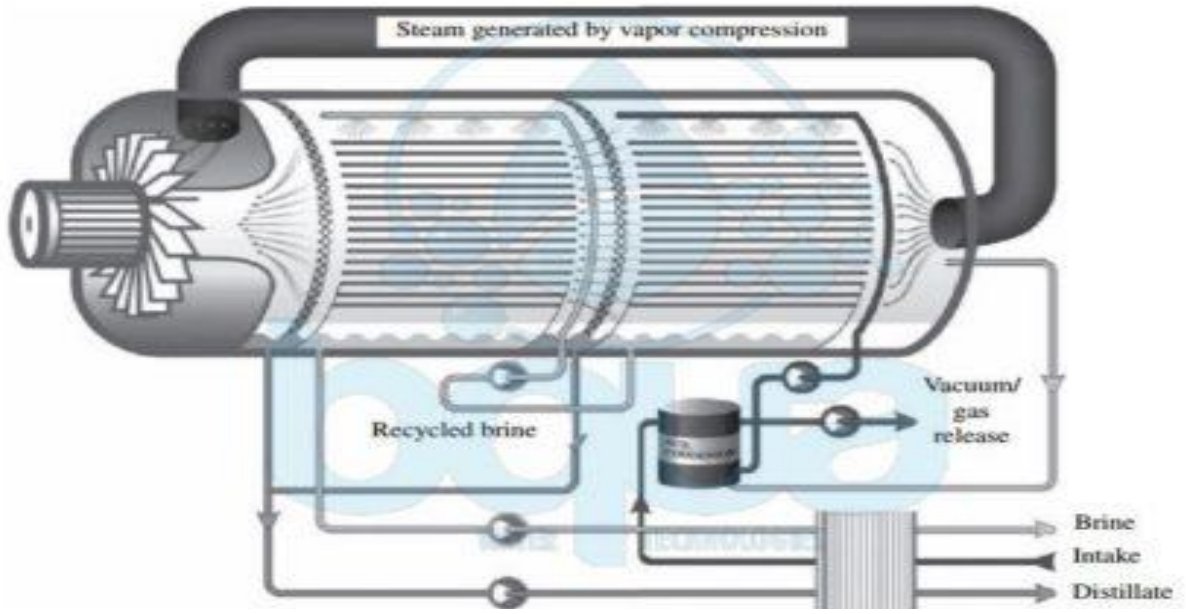
يعين VC تلك الأنظمة التي يحدث فيها تأثير التبخر عند ضغط مانومتر Monomeric Pressure ، و VVC هي الأنظمة التي يحدث فيها التبخر تحت ضغوط تحت الغلاف الجوي Sub-Atmospheric Pressures .

يتم تشغيل الضغط ميكانيكيًا بواسطة شيء مثل التوربينات الانضغاطية Compression Turbine . عندما يتولد البخار ، يتم تمريره إلى مكثف التبادل الحراري الذي يعيد البخار إلى الماء. يتم نقل المياه العذبة الناتجة إلى التخزين بينما يتم نقل الحرارة التي تمت إزالتها أثناء التكثيف إلى المواد الأولية المتبقية.Remaining Feedstock .

عملية VVC هي عملية التقطير الأكثر كفاءة المتوفرة في السوق اليوم من حيث استهلاك الطاقة ونسبة استرداد المياه. نظرًا لأن النظام مدفوع كهربائيًا Electrically Driven ، فإنه يعتبر عملية "نظيفة" ، ويمكن الاعتماد عليها بدرجة كبيرة وسهلة التشغيل والصيانة.

ما هو ضغط البخار VC ؟ What is Vapor Compression VC

ضغط البخار VC هو نوع واحد من تقنيات تحلية المياه الحرارية والتي تتضمن أيضًا Multi Stage Flash Distillation MSF و Multi Effect Distillation MED. في ضغط البخار VC ، مصدر الحرارة لأنظمة ضغط البخار (VC) هو بخار مضغوط ينتج عن ضاغط ميكانيكي أو قاذف نفاث بخاري Steam Jet Ejector بدلاً من التبادل المباشر للحرارة من البخار – شكل (70).



شكل (70)

تحلية المياه بضغط البخار VC Vapor Compression Technology Thermal Desalination Process

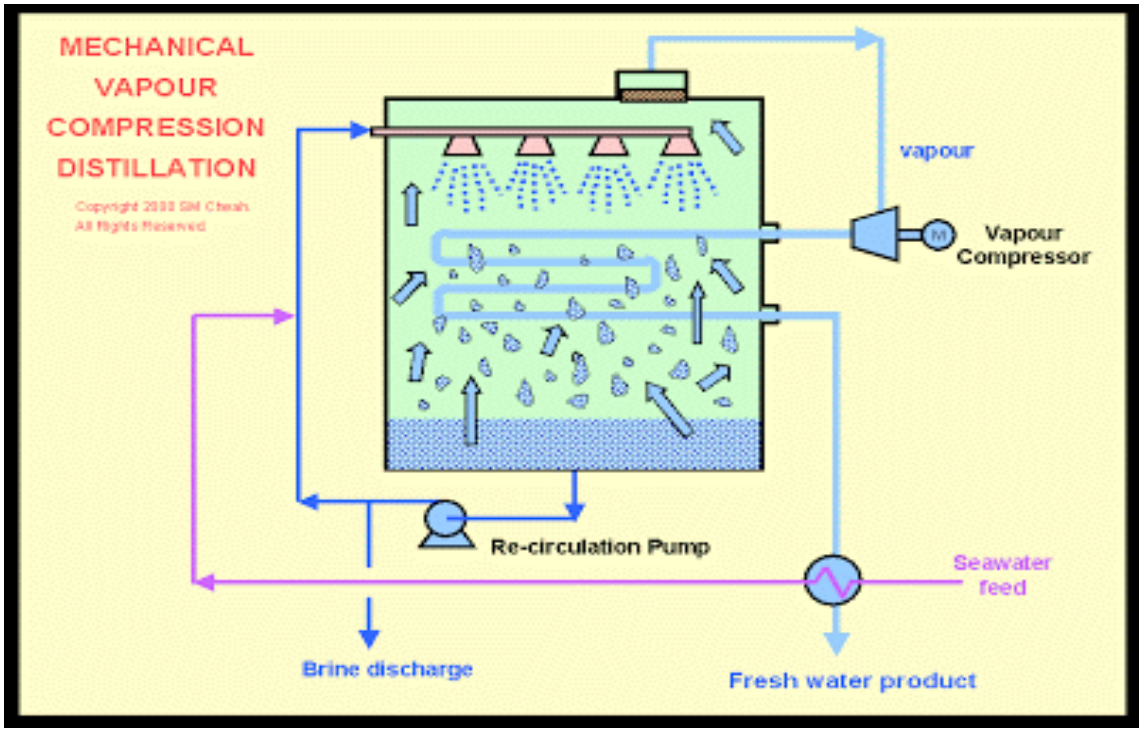
في أنظمة ضغط البخار VC ، يتبخر مصدر الماء وينقل البخار إلى ضاغط .Compressor. يتم بعد ذلك ضغط البخار لزيادة درجة حرارته إلى نقطة كافية لتبخير مصدر الماء الذي يتم رشه على حزم الأنابيب التي يتم من خلالها نقل البخار. عندما يتبادل البخار المضغوط حرارته مع رش مصدر المياه الجديد على أنابيب التبخر ، يتم تكثيفه في ماء نقي. يتم استخدام التسخين المسبق لمياه التغذية (التبادل الحراري من نوع اللوحة) لبدء العملية والوصول إلى درجة حرارة التبخر. يعمل ضغط البخار VC و التقطير متعدد التأثير MED على أساس مبادئ مماثلة.

نظام عملية التحلية الحرارية بضغط البخار :

في التقطير متعدد التأثير ، يتم إدخال بخار MED الناتج عن تبخر مياه المصدر وتكثيفه في مكثف منفصل. يقع المكثف في تأثير التيار المتجه. ثم يتم إدخاله في الجانب الداخلي لنفس أنابيب التبادل الحراري التي يتكثف فيها لتشكيل نواتج التقطير. وجدت تحلية المياه بضغط بخار VC تطبيقات في الغالب في أنظمة الإمداد بالمياه البلدية والمنتجعات الصغيرة. بالإضافة إلى التطبيقات الصناعية. يبلغ إجمالي كمية الطاقة المطلوبة لتشغيل أنظمة VC لضغط البخار الميكانيكي عادةً من 8 إلى 12 كيلو وات / ساعة / م 3 (30 إلى 45 كيلو وات / 1000 جالون) من ماء المنتج.

عملية التنقية بطريقة تضاغط البخار بالـتفريغ VC:

شكل (71) .



شكل (71)

عملية الفصل بطريقة تضاغط البخار بالتفريغ Separation Processes Vapor Compression

ثانيا : تحلية مياه البحر بطريقة ضغط البخار بالتفريغ Vacuum Vapor Compression (VVC)

ضاغط بخار ميكانيكي :

تعمل معدات Alfa Laval للتقطير على تحويل مياه البحر والمياه قليلة الملوحة إلى مياه عالية النقاء لاستخدامها في صناعات مثل محطات توليد الطاقة ، ومنصات النفط والغاز البحرية ، والمصافي ، وإنتاج الأغذية ، والتعدين ، وكذلك في مواقع شاطئية نائية.

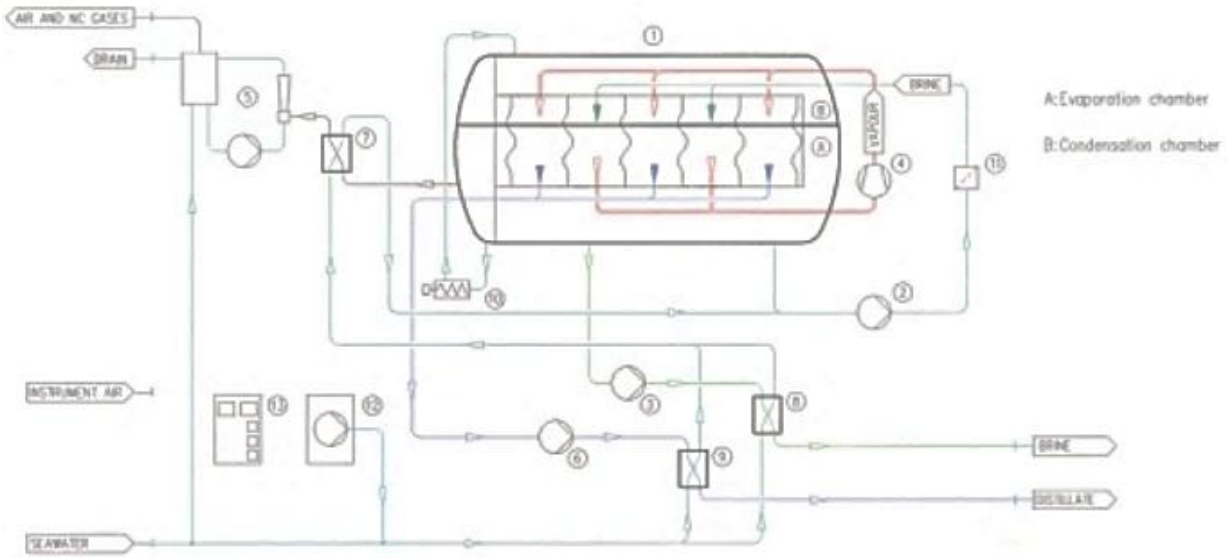
يتم الحصول على تأثير ضغط بخار الماء عن طريق ضاغط طرد مركزي ميكانيكي يعمل بالكهرباء, Electrically Driven, Mechanical Centrifugal Compressor. يتم تبخير المياه المالحة عند الضغط الجوي الفرعي على جانب واحد من سطح نقل الحرارة ، وعلى الجانب الآخر يتم تكثيفها في الماء العذب الذي يتم جمعه واستخراجه كمياه منتج.

تعمل عملية VVC في ظل فراغ وهي أكثر عمليات التقطير المتاحة كفاءة في السوق اليوم من حيث استهلاك الطاقة ونسبة استرداد المياه. وباعتبارها عملية مدفوعة كهربائيًا ، فإنها تعتبر نظامًا "نظيفًا". نظرًا لكفاءته العالية ، فإن جهاز تقطير بخار ضغط البخار هو الخيار الواضح لغرض واحد قائم بذاته لسعات أصغر – شكل (72).

Alfa Laval

شكل (72)

جهاز تقطير البخار بضغط التفريغ



1. Evaporator/Condenser	**6.Distilate Pump**	**10.Electric Heater**
2.Brine Circulation Pump	**7. Vent Condenser/DE aerator**	**11.Automatic Self-cleaning Filter**
3. Brine Blow Down Pump	**8.Brine/Sea Water Preheater**	**0.5mm**
4 .Vapor Compressor	**9.Distilate/Sea Water Preheater**	**12.Antiscalent Dosing Unit**
5. Vacuum System		**13.MCC/Control Panel**

شكل (72)

Mechanical vapor compressor VVC ضاغط البخار الميكانيكي

يوفر تصميم VVC المزيد من الميزات والفوائد ، على سبيل المثال :

- **مبخرات من نوع لوحة التيتانيوم لعمر طويل بدون تآكل .**
- **الوصول الكامل إلى أسطح نقل الحرارة للمبخر .**
- **استعادة الأداء بنسبة 100٪ بعد التنظيف .**
- **أقل التكاليف الإجمالية لإنتاج المياه مع ضاغط بخار الفراغ الميكانيكي .**
- **أعلى توافر .**
- **تشغيل آلي بسيط وكامل وسهولة الصيانة .**
- **نواتج تقطير عالية الجودة لتغذية الغلايات ومياه المعالجة ومياه الشرب .**

الميزات والفوائد :

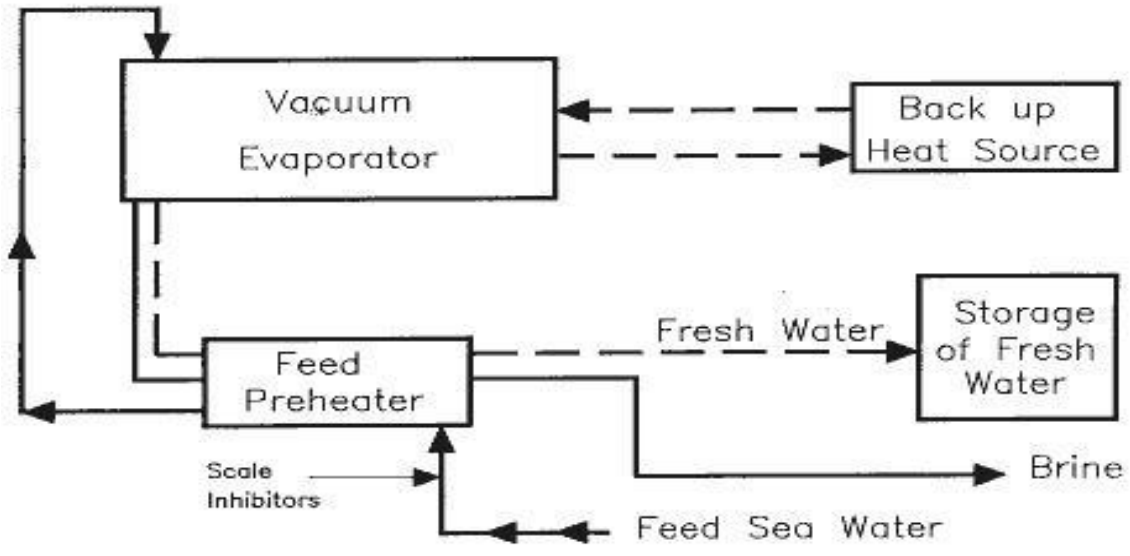
يوفر VVC سعة عالية من المياه العذبة مع مساحة تركيب صغيرة ووزن منخفض وهو أمر ذو أهمية كبيرة لسهولة التركيب وعندما تكون المساحة محدودة.

حلول تحلية ذكية من ألفا لافال :

تستخدم حلول تحلية ألفا لافال الطاقة من حرارة معالجة النفايات ومصادر أخرى لتوليد كميات ضخمة من المياه العذبة عالية النقاء ، اقتصاديًا وموثوقًا ومستدامًا. توفر تقنيات تحلية المياه مناسبة للاستخدام على السفن ومنصات الإنتاج البحرية وكذلك الطاقة الشمسية وتركيبات الطاقة الحرارية الأرضية.

وصف عملية التنقية :

تدخل مياه البحر(التغذية) عن طريق الطلمبات من أعلى وعاء به مجموعة من الأنابيب الأفقية التي يمر بها البخار تحت تفريغ الهواء بحيث تكون درجة الحرارة التبخير = 70 درجة مئوية – شكل (73).



شكل (73)

مخطط عملية التنقية بطريقة تضاغط البخار بالتفريغ

Block Diagram of the Vacuum Vapor Compression (VVC) Process

ونتيجة لتلامس المياه مع المواسير ، يتبخر جزء من المياه ، ثم يقوم ضاغط هوائي بسحبه وضغطه داخل المواسير الأفقية حيث يحدث تبادل حراري ينتج عنه تكثف المياه العذبة. تتجمع المياه العذبة الناتجة في مواسير للخارج ثم إلى خزانات المياه الأرضية . من مميزات هذا النظام أنه يمكن الحصول على 40 % مياه نقية من مياه البحر ، وحوالي 70 - 80% مياه نقية من مياه الآبار . تنتج هذه المحطات مياه محلاه من 20 – 2000 م3 / يوم .

البخار تحت تفريغ بحيث تكون درجة الحرارة 70 درجة مئوية :

1 - نتيجة تلامس المياه مع المواسير ، يتبخر جزء من المياه التي بقوم ضاغط هوائي بسحب هذا البخار وضغطه داخل المواسير الأفقية حيث يحدث تبادل حراري .

2 - تتكثف المياه العذبة و يتحول البخار إلى الحالة السائلة ويخرج عن طريق ماسورة خاصة إلي الخزانات بينما تخرج المياه المالحة عن طريق ماسورة أخرى يتم صرفها إلي البحر .

أمثلة لمحطات التحلية بنظام تضاغط البخار بالتفريغ (VVC) :

محطة تحلية المياه - رأس الخيمة - شكل (74) :

SASAKURA

شكل (74)

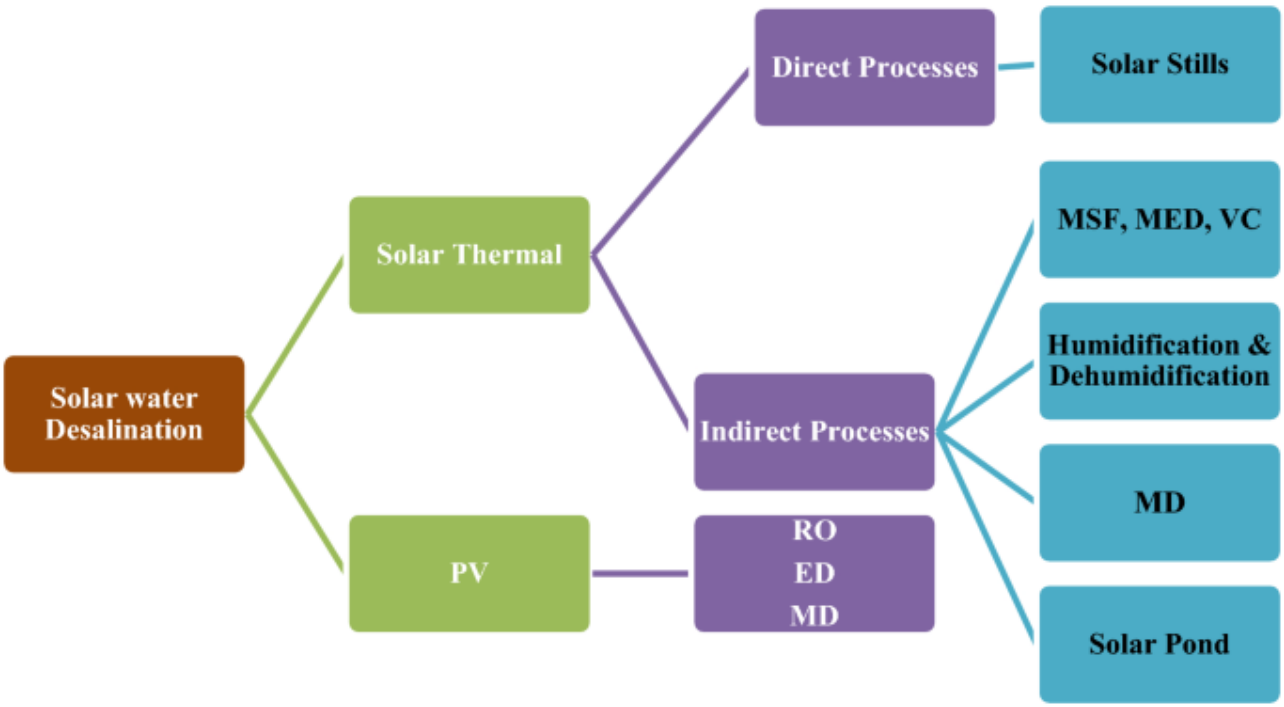
محطة تحلية المياه - رأس الخيمة – 1442 م3 / يوم Vacuum Vapor Compression Distiller (VVC)

يساهم المنفاخ المجهز Equipped Blower في زيادة درجة حرارة البخار الناتج ويمكن أن يخدم وسط التسخين Heating Medium الخاص بتبخر مياه البحر. بهذه الطريقة ، يتم إعادة تدوير معظم الحرارة بشكل فعال في عملية التبخر / التكثيف Evaporation/Condensation المستمرة.

التحلية باستخدام الطاقة الشمسية
Sea Water Distillation with Solar Energy

رابعا : التحلية باستخدام الطاقة الشمسية Solar Distillation :

التكنولوجيات المعتمدة علي الطاقة الشمسية – شكل (75) :



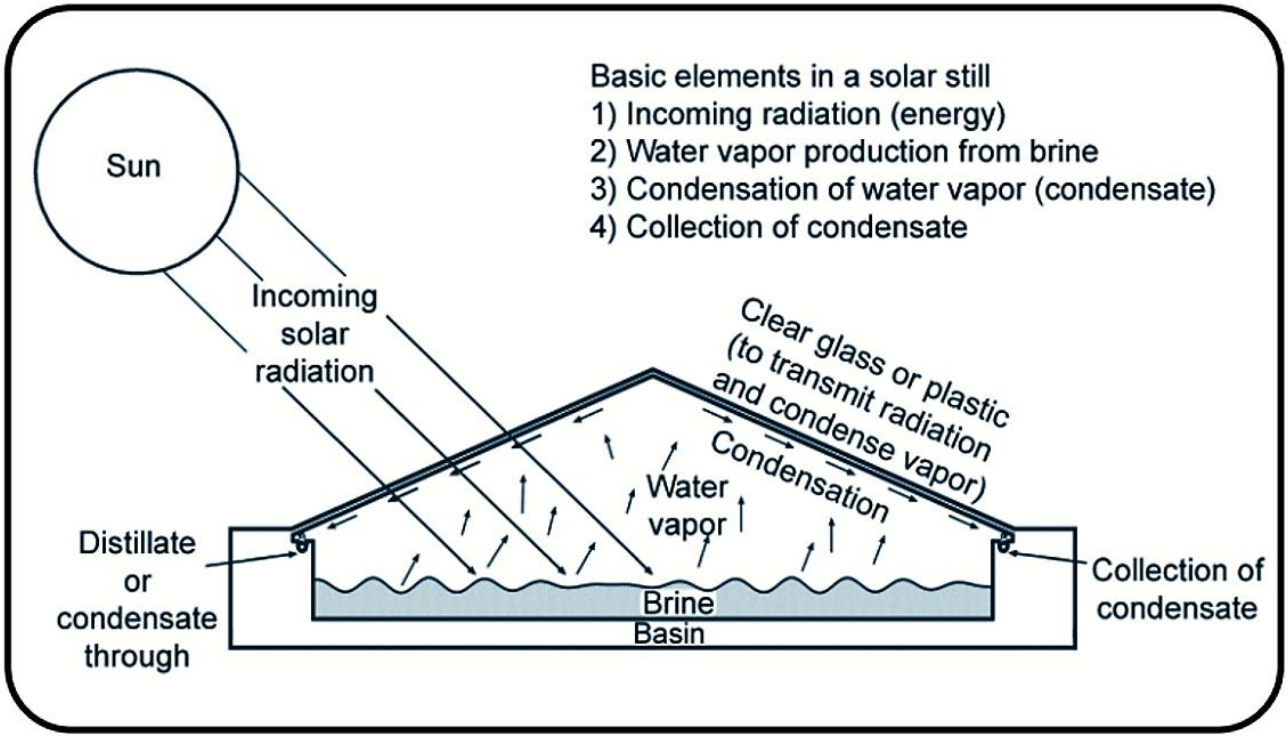
شكل (75)

التكنولوجيات المعتمدة علي الطاقة الشمسية

Different Strategies for Using Solar Energy in Desalination Process

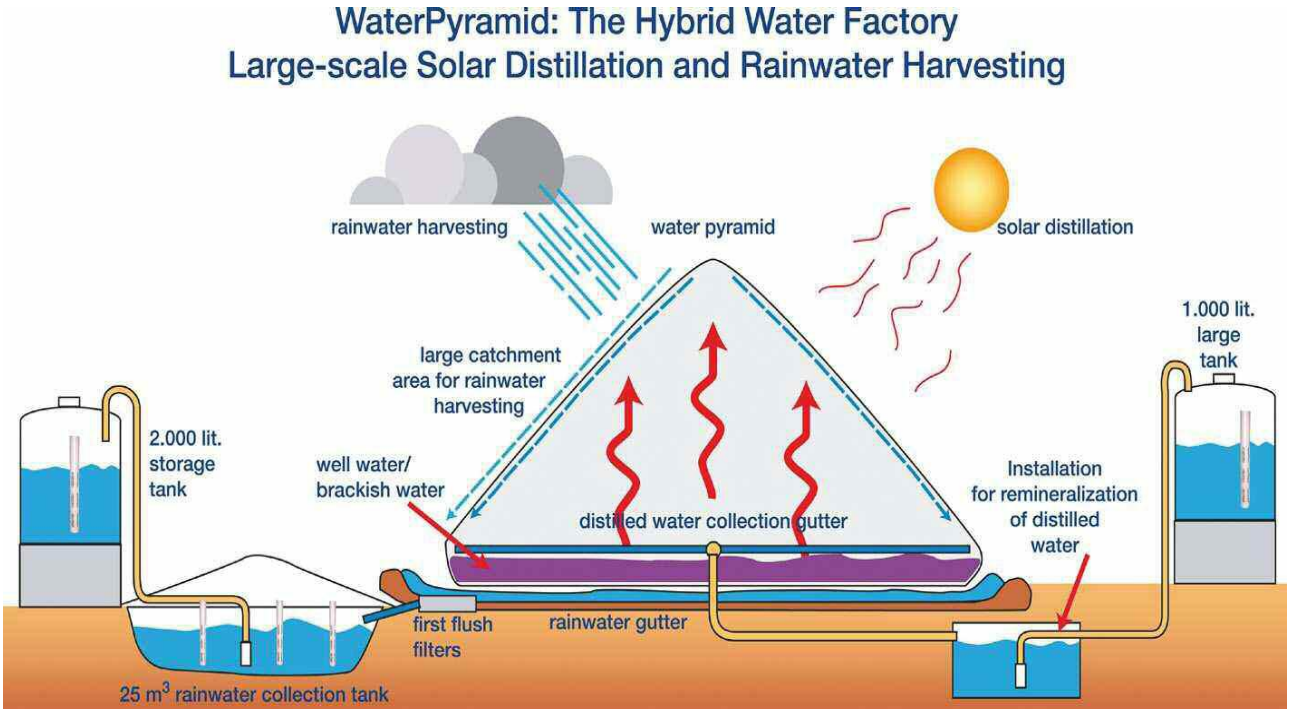
تمتاز مصر بوجود الطاقة الشمسية طوال العام ولا تتكلف أي أعباء للحصول على وقود أو تشغيل أو صيانة ، فهي تنتج الطاقة ولا تلوث البيئة ولا ينتج عنها أي عوادم . سقوط الشمس على الألواح الزجاجية المائلة ، فأنها تعمل على تسخين الماء الموجود أسفلها ، يتبخر جزء من المياه ويتكثف على السطح الزجاجي المائل لتتكون قطرات من المياه من الداخل ، وتتجمع في مجارى على الجانبين ثم إلى الخارج للاستعمال – شكل (76).

يمكن إنتاج 3 - 5 لتر مياه / متر مربع من الجهاز / اليوم . تعتبر هذه الإنتاجية مناسبة لاستهلاك أسرة صغيرة . يشترط لتشغيل هذا النظام ، أن تكون المنطقة ذات جو مشمس طوال العام وأن تتوافر الأرض إلى سيقام عليها المشروع . وقد وجد أن مشروعا لاستخراج المياه النقية بالطاقة الشمسية يكون اقتصاديا إذا كانت قدرة المحطة 200 متر مكعب / اليوم .



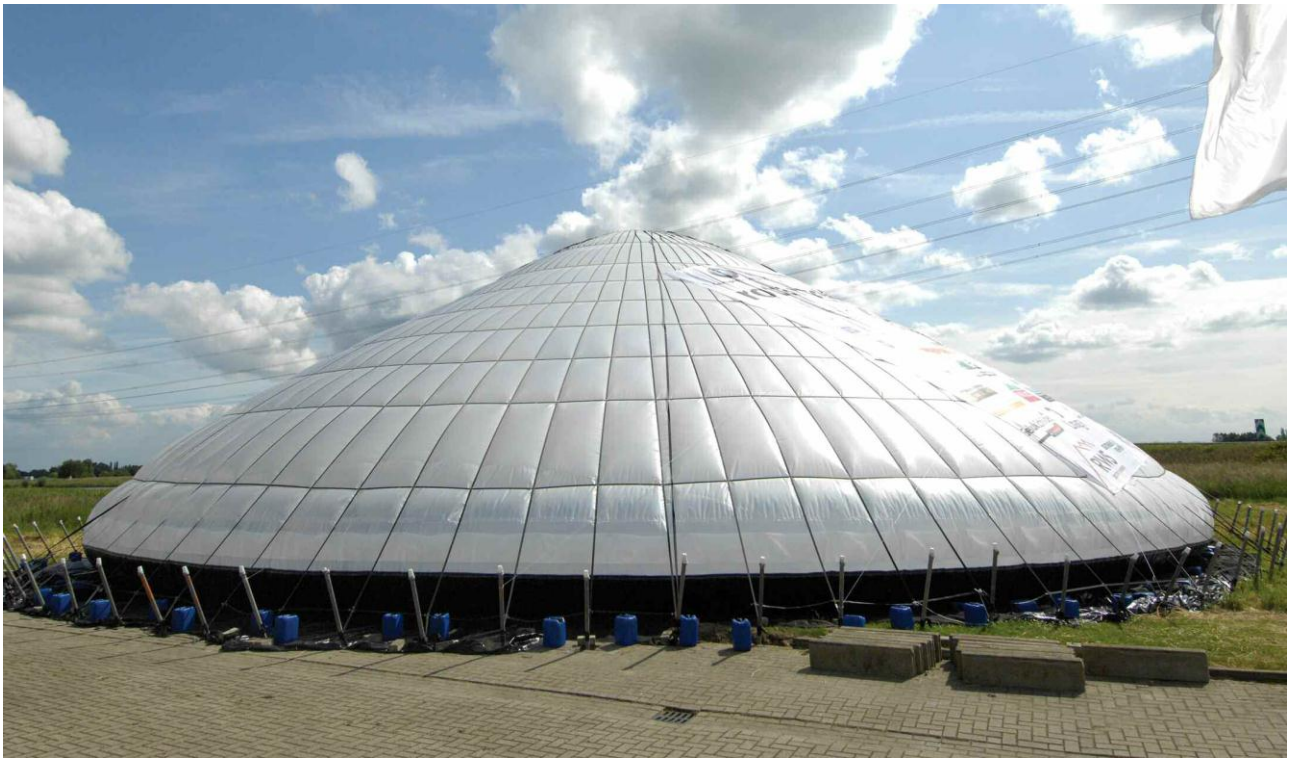
شكل (76)

مخطط لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسية ـ الخزان الهرمي لتحلية مياه الآبار Brackish Water



شكل (76)

مخطط لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسية ـ الخزان الهرمي لتحلية مياه الآبار Brackish Water



شكل (76)

مشروع منفذ لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسية - الخزان الهرمي لتحلية مياه الآبار Brackish Water قطر 30 متر – الهند

كان الخزان يستعمل أيضا في تجميع مياه الأمطار الساقطة للوفاء بمتطلبات السكان – تكلفة اللتر = 30 قرشا مصريا

مثال توضيحي لأنتاج التحلية بالطاقة الشمسية :

حساب تكلفة تحلية المياه لمحطة كبري تعمل بالطاقة الشمسية Large Scale Solar Desalination

خزان لتحلية المياه :

1 – قطر الخزان = 1 كم وعمق = 10 متر (مثلا) ، قبة الخزان (السقف) مكونة من طبقتين من الزجاج Sealed Double Glazed Dome - شكل (77) .

2 - يعمل تحت ضغط 0.1 ض . ج وحرارة تشغيل = 50 درجة مئوية .

3 - كفاءة النفاذية للطاقة الشمسية = 80 % .

حوائط الخزان من الخرسانة المسلحة الغير منفذه للماء ولها عزل خارجي جيد .

يتم امتصاص أشعة الشمس بواسطة طبقة رقيقة من زجاج خاص أو بولي إثيلين موضوع علي سطح الماء ومدهون باللون الأسود و مواجه لسطح المياه بالخزان ماص لأشعة الشمس وهو مثقب ويغطي كافة المساحة .

ينتج عن تسخين المياه تصاعد البخار الذي يتكثف بفعل الحرارة علي سطح الطبقة الموجودة علي سطح الماء ويهبط إلي أسفل ليتجمع في مجري خاصة إلي خزان المياه المنقاة .

وفي البلدان المشمسة ، يمكن أنتاج مياه حتي 100000 م3 / يوم بتكلفة = 0.28 دولار / م3 .

بافتراض أن المنشأ سيحصل علي طاقة = 95 % و أن الطاقة المستعادة الخارجة = 20% .

مثال توضيحي لأنتاج التحلية بالطاقة الشمسية :

باعتبار الخزان - شكل (77) :

المساحة السطحية = 3.14 × 0.5 × 0.5 = 0,785 كيلومتر2 .

في البلاد المشمسة ، متوسط العزل السنوي = 6 كيلووات ساعة / يوم .

بفرض أن 80 % من الأشعة تخترق الزجاج ، 90 % كفاءة الامتصاص الشمسي .

تكون الطاقة الشمسية الممتصة = 0,8 × 0,9 × 10 6 × 0,785 × 6000 × 60 × 60 = 12 × 10 12 جول / يوم .

الطاقة اللازمة لـ 1 جم من الماء حتي يتبخر = 30 + 540 كالوري - أي تساوي 2,4 جول .

وفي حالة الطاقة المستعادة الخارجة بنسبة 20 % .

الطاقة الفعلية اللازمة لتنقية 1 جم من الماء محلاة = 120 جول .

كمية المياه المحلاة في اليوم = 12 × 10 12 ÷ 120 = 100 مليون لتر أي 100000 م3 / يوم .

وتقدر المياه المطلوبة للفرد في المملكة المتحدة بمقدار 150 لتر / يوم . أي تمد 600000 فرد / يوم .

المياه المطلوبة للفرد في الدول النامية = 100 لتر / يوم . أي تمد 1 مليون نسمة / يوم .

ملحوظة :

1 - وصلت كفاءة امتصاص الطاقة الشمسية 90 % .

2 - عند تخفيض الضغط إلي 0.1 ض . ج ، تكون درجة الغليان للماء أقل من 50 درجة مئوية .

3 – يجب غسل القبة العليا المستقبلة للشمس باستمرار منعا لوجود أتربة علي القبة تقلل من كفاءة الخزان .

تضخ مياه البحر بالطلمبات إلي خزان الترسيب . ترسب الجزيئات العالقة والشوائب . تكون كافة الخزانات مفتوحة علي الضغط العادي (خزان الترسيب والتغذية وخزان المياه المنقاة) و لها نفس منسوب المياه . يجهز خزان التحلية لأن يكون الضغط به = 0.1 ض . ج ليصبح منسوب المياه مرتفعا 8 متر فوق منسوب الخزانات الأخري .

يتم المحافظة علي هذا المنسوب بواسطة طلمبة التفريغ . يكون خزان التحلية المذكور وبقطر 1 كيلو متر وارتفاع = 10 متر ، محتويا علي :

حجم المياه = 3,14 × 500 × 500 × 10 = 8 مليون متر مكعب .

ولو أن الإنتاج = 100000 م3 / يوم .

تكون عملية ملء الخزان كل 80 يوم .

المعالجة المسبقة :

ترد مياه البحر الي المحطة من المأخذ المحتوي علي مصافي لتنقية المياه من الشوائب بواسطة ضخ الطلمبات و تتجمع في خزان المياه الخام ثم الي أحواض الترسيب . تحقن المياه بكيماويات أزالة القشور ثم الي خزان التغذية . قد يتطلب الأمر أضافة وحدات أخري لتحسين جودة المياه .

عملية التحلية :

سقوط الشمس على الألواح الزجاجية المائلة ، فأنها تعمل على تسخين الماء الموجود أسفلها ، يتبخر جزء من المياه ويتكثف على السطح الزجاجي المائل من الداخل لتتكون قطرات من المياه من الداخل ، تنزلق وتتجمع في مجارى على الجانبين ثم إلى الخارج للاستعمال . هذه التقنية تنتج الطاقة ولا تلوث البيئة ولا ينتج عنها أي عوادم .

المعالجة اللاحقة :

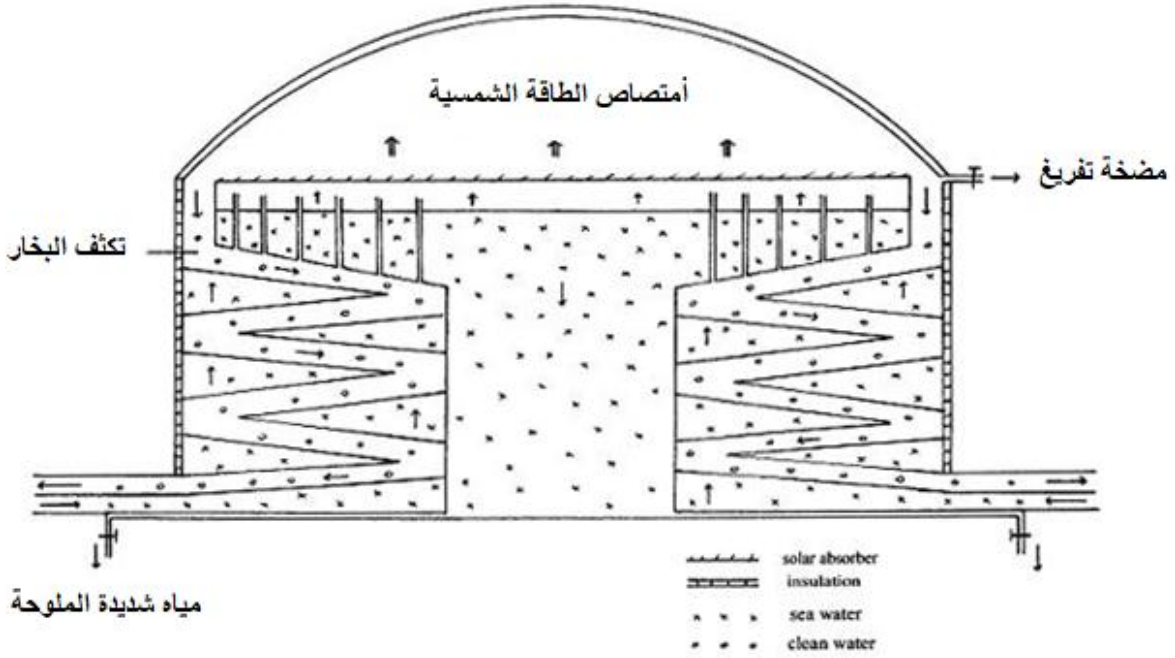
ضبط الأس الهيدروجيني pH

التعقيم بالكلور .

أعادة التمعدن Remineralization الي المياه .

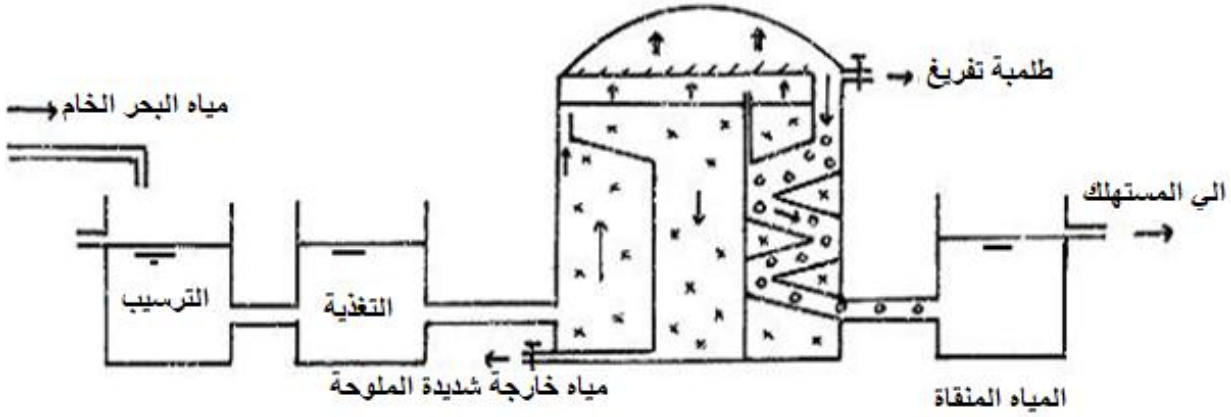
توصي منظمة الصحة العالمية 10 ملغم / لتر من المغنيسيوم و 30 ملغم / لتر من الكالسيوم لمياه الشرب.

يراجع الباب العاشر الخاص بالمعالجة اللاحقة للمياه .



شكل (77)

مخطط خزان مياه يستخدم الطاقة الشمسية



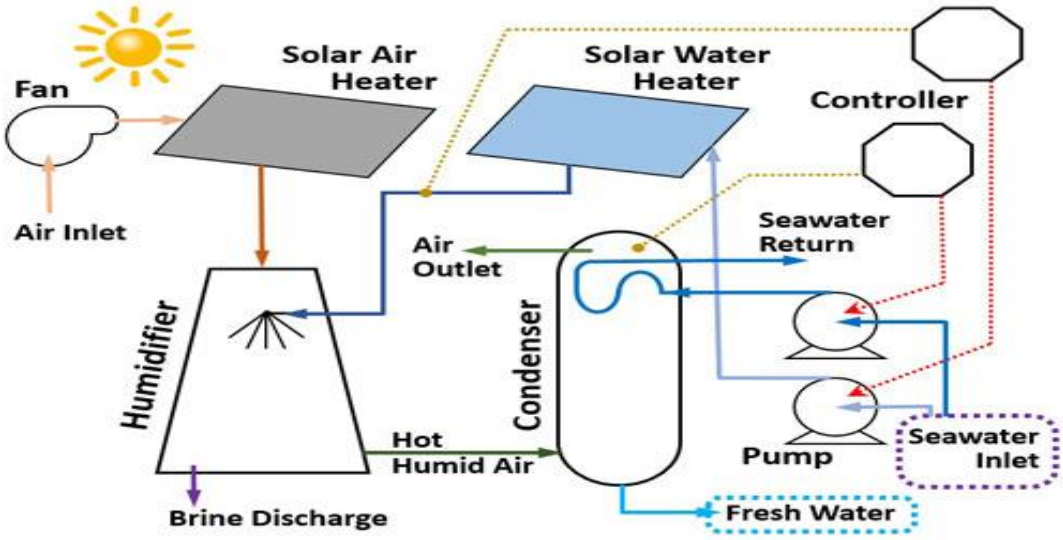
شكل (77)

مخطط المعالجة باستخدام الطاقة الشمسية

أمثلة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية :

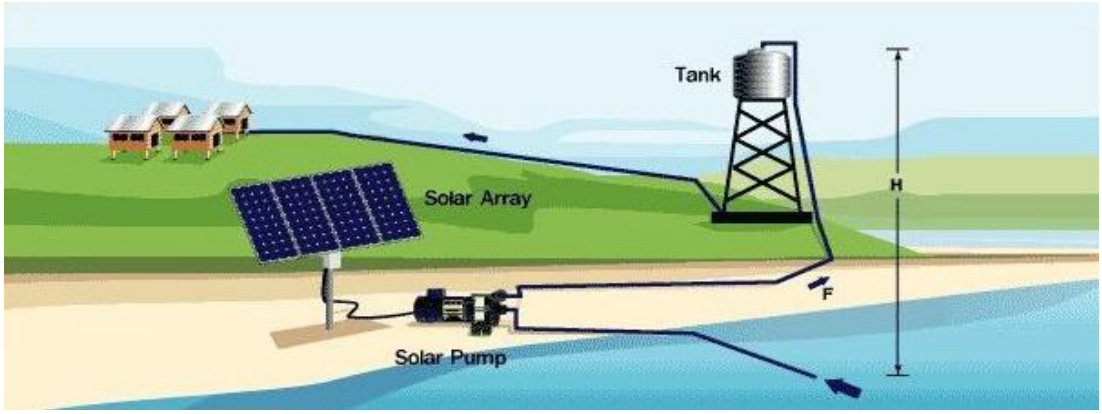
1 - محطة تحلية مياه بالطاقة الشمسية:

شكل (78) :

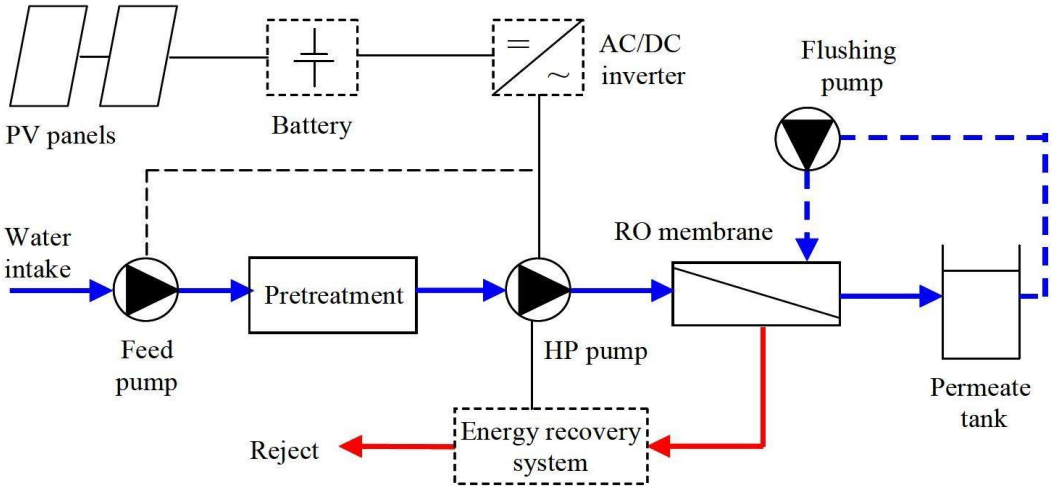


شكل (78)

محطة تحلية مياه بالطاقة الشمسية



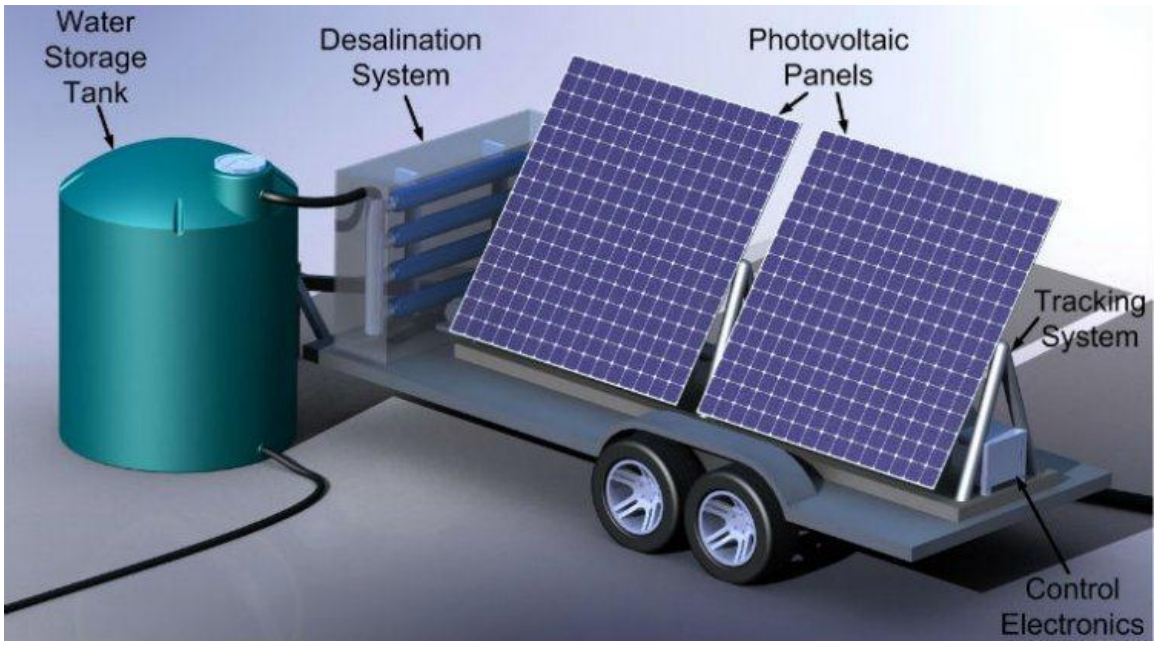
طلمبات مأخذ المياه لمحطة تحلية صغيرة – تعمل بالطاقة الشمسية



شكل (78)

2 - محطات تحلية مدمجة تعمل بالطاقة الشمسية:

محطات مدمجة لتحلية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية ليست جديدة، إلا أن هذه التكنولوجيا مكلفة للغاية. وهذا بالطبع يجعل من الصعب على البلدان النامية أن تعتمد عليها - شكل (79) :



شكل (79)

محطات مدمجة لتحلية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية

شكل (79)

محطات مدمجة لتحلية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية Prefabricated Solar Photovoltaic Desalination Systems Cuba

شكل (79)

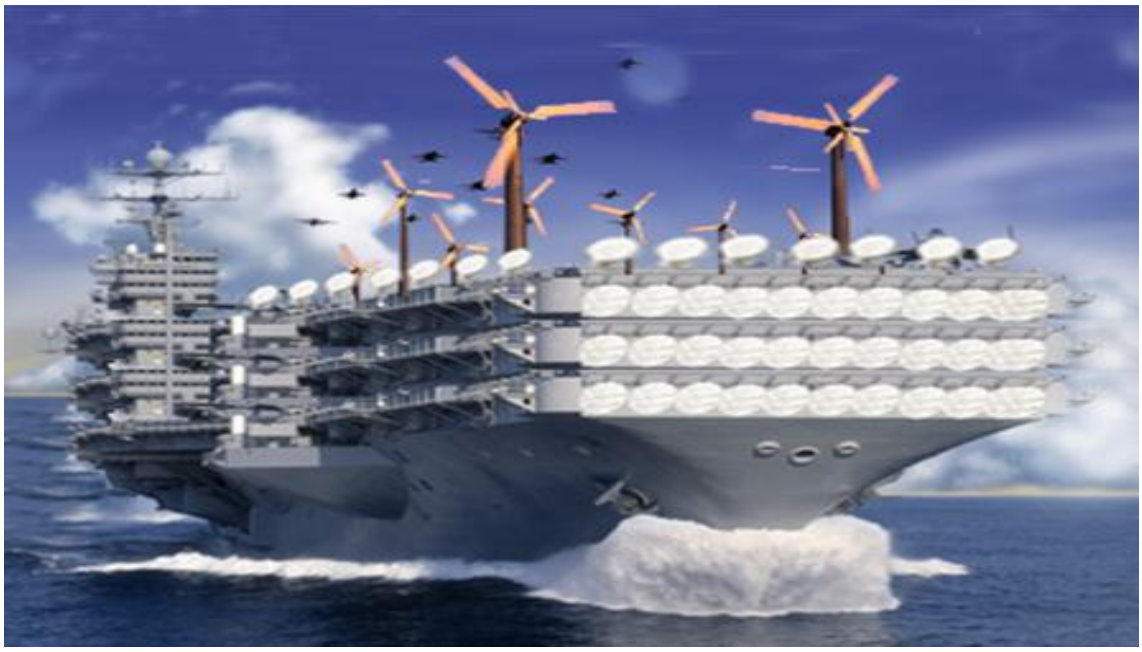
محطات مدمجة لتحلية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية Solar Powered Water Desalination Plant TSS 100

شكل (79)

محطات مدمجة لتحلية المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية Desalination Solar Reverse Osmosis

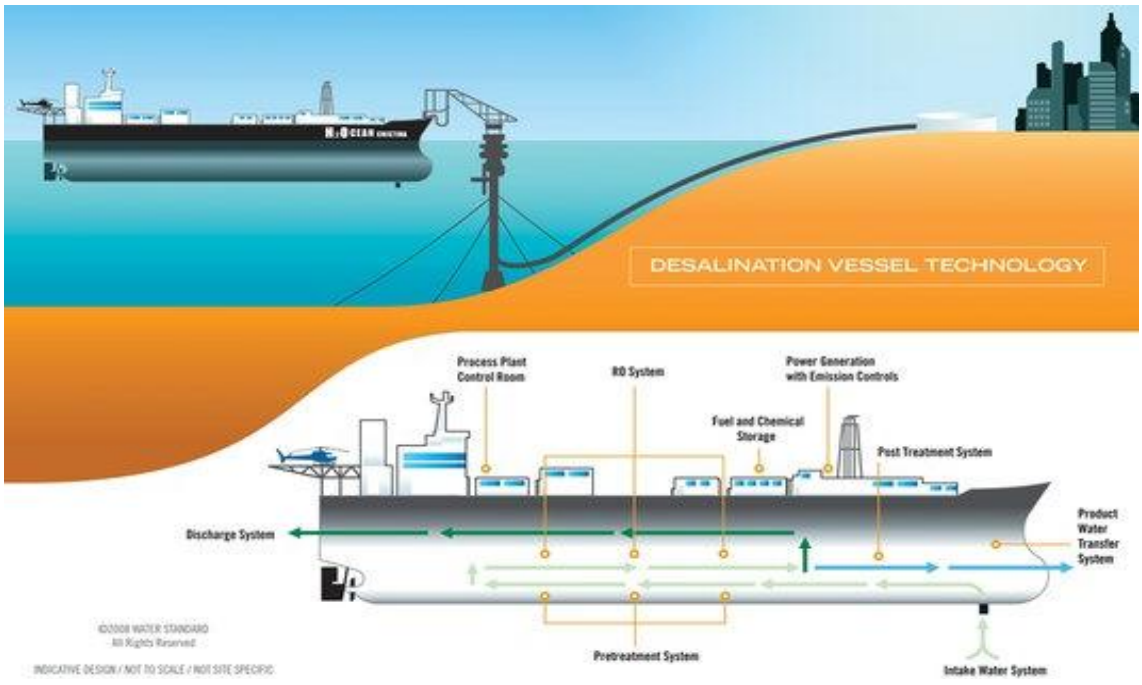
3 ـ سفينة حاملة لمحطة تحلية المياه المالحة و تخزينها :

تطوف لأمداد المناطق الساحلية القاحلة بالمياه العذبة ، تستثمر الطاقة الشمسية و طاقة الرياح معا لأمداد محطة التحلية بالطاقة – أستراليا – شكل (80) .



شكل (80)

سفينة حاملة لمحطة تحلية المياه المالحة ، تطوف لأمداد المناطق القاحلة بالمياه العذبة ـ تستثمر الطاقة الشمسية و طاقة الرياح معا – أستراليا



Water Stander

شكل (80)

سفينة حاملة لمحطة تحلية المياه المالحة ، تطوف لأمداد المناطق القاحلة بالمياه العذبة

4 - أمداد المياه العذبة لمناطق منعزلة بواسطة السفن – المملكة العربية السعودية :

شركة بوارج الدولية : مناطق مختلفة 2008 ، طاقة التحلية 50,000 م3 / يوم ، ة الشركة تملك بارجتان للتحلية بقدرة 25000 م3 / يوم لكل بارجة، وتعمل البارجتان بالمملكة السعودية في كل من الشعيبة و الشقيق و ينبع – شكل (81) .

إن استعمال مياه البحار و المحيطات بتحويلها من مياه مالحة إلى مياه نقية عذبة للشرب في المدن الساحلية وما يليها من المدن والمناطق الرئيسية اصبح موضوعا ليس منه مفر ولابد من الاهتمام به ، واصبحت مياه البحر من المصادر الاساسية لمياه الشرب بعد تزايد استهلاك مياه الابار والعيون التي نضب معظمها للكثيرمن العوامل البيئية والمناخية المتغيرة لاسيما ان تعويض مثل هذه المياه من الامور المستحيلة نظرا لعدم وجود الانهار وقلة مياه الامطار في المنطقة ، وقد الدول العربية على عاتقها توفير المياه من مصادر متعددة وخاصة من تحلية مياه البحر ولها السبق العالمي في عدد محطات التحلية المنتشرة والمزروعة على طول سواحل مياه الخليج العربي وسواحل البحر الأحمر وسواء منها المحطات البخارية أو المحطات مزدوجة الفلترة أو ذات التناضح العكسي والابحاث مستمرة لتوفير المياه من كل مصدر ممكن ، وقد أثبتت مشاريع تحلية مياه البحر جدواها في توفير المياه الضرورية والصالحة للشرب في العديد من المدن الساحلية ، وقد تمكنت العديد من الدول العربية ايضا في ايصال المياه المحلاة للمدن البعيدة عن السواحل .

المياه القادمة عن طريق محطات التحلية المثبتة على السفينة المتحركة وما يتبعها من الحفاظ على البيئة البحرية سواء في اثناء عمليات التحلية ومايتج عنها من رجيع مياه التحلية والتي يتم التخلص منها في اعماق البحر قبل الوصول إلى الشواطئ ودون اي تاثير على الاحياء البحرية وثرواتها ، هذا بالاضافة ان هذه المحطات على السفن يمكن تكون رافدا اضافيا وقويا للمحطات الأرضية الحالية في حالات الصيانة او الطوارئ اوالكوارث الطبيعية لاسمح الله وايضا تكاثر الاسماك الميتة او بقع الزيت المتحركة او تكاثرالطحالب الساحلية التي تحصل كثيرا مع تغيرات المناخ ، مع العلم ان عمليات التحلية على السفينة تكون اقتصادية وعملية اكثر من المحطات الارضية وهي قليلة التكلفة في التشغيل والصيانة وتوفير المياه في حالة جيدة وجاهزة للشرب الى مراكز التوزيع هذا بالاضافة الى عناصر اخري يمكن انتاجها اثناء تحلية المياه من استخراج الملح وتعبئته في اوعية خاصة في داخل السفينة او تعبئة المياه في قوارير وعبوات اخري وانتاج الاكسجين في انابيب للاستخدامات الطبية وماشابهها من خلال نفس السفينة ذاتها. محطة ألتحليه هذه مثبتة على سفينة نقل مياه عملاقة تنتج يوميا من خمسة وأربعون ألفا إلى ستون ألف متر مكعب من المياه العذبة للشرب مسحوبة من أعماق البحار والمحيطات ، ولا تحتاج إلى الكثير من الافراد للعمل على ظهرها بما فيهم المهندسين الخاصين بالتحلية وكباتنة بحريين وفنيين للصيانة والتشغيل وعمال لثلاث دوريات عمل في الأربعة وعشرين ساعة ، لتعود محملة بالمياه المحلاة وصبها إلى الخزانات المتصلة بشبكة المياه المغذية للمدينة المعنية بتلك المياه .

هذا المشروع له مميزاته الجيدة والتي لا تقارن مع مشاريع ألتحليه الثابتة الاعتيادية الحالية وقد قدمت في ذلك أبحاث ودراسات عديدة ومعمقة من مصادر ذات خبرة عالمية ومتخصصة في مجال تحلية مياه البحر واخري في ابحاث مياه الشرب وفي تصنيع السفن .

شكل (81)

أحد بوارج الشركة لتحلية المياه و توصيلها للأماكن المحرومة

5 – محطة تحلية مياه عائمة Floating Desalination Plants For Japan :

ستقوم شركة IDE Technologies الأسرائيلية بأنشاء محطة تحلية علي سفينة عائمة بدولة اليابان عام 2014 لمواجهة نقص المياه - شكل (82) .

IDE Technologies

شكل (82)

محطة تحلية مياه عائمة Floating Desalination Plants For Japan

تعمل شركة IDE Technologies الإسرائيلية - التي تخطط بالفعل لإنشاء أكبر محطة لتحلية المياه في الولايات المتحدة - على دفع الحدود في هذا المجال أقرب قليلاً إلى الاستدامة في اليابان ، حيث تعمل على إنشاء محطات تحلية عائمة.

النهج الجديد المحطات العائمة سوف يبث حياة جديدة في أعمال بناء السفن الراكدة في اليابان ، ويساعد اليابانيين على تلبية احتياجات المياه العذبة على المدى القصير .

أن المحطات العائمة لن تحل محل المحطات المنشأة على الأرض ، لكن المحطات العائمة يمكن أن تصبح بديلاً لا يثقل كاهل بلد بعبء الصيانة . قد تكون هذه أخبارًا سارة في المناطق الجافة في أمريكا مثل كاليفورنيا ، التي تعاني من جفاف تاريخي.

فكرة التكنولوجيا العائمة على السفن الكبيرة أو المراكب ليست جديدة تمامًا حيث تقوم تركيا بتعويم سبع محطات طاقة حرارية حول شواطئها على سفن نقل ، وتتطلع شركة روسية إلى تطوير محطة تحلية تعمل بالطاقة النووية عائمة.

تُظهر مسودة الرسومات لأول سفينة أطلقتها اليابان عملية يمكن أن تنتج ما يصل إلى 120 ألف متر مكعب من المياه العذبة يوميًا.

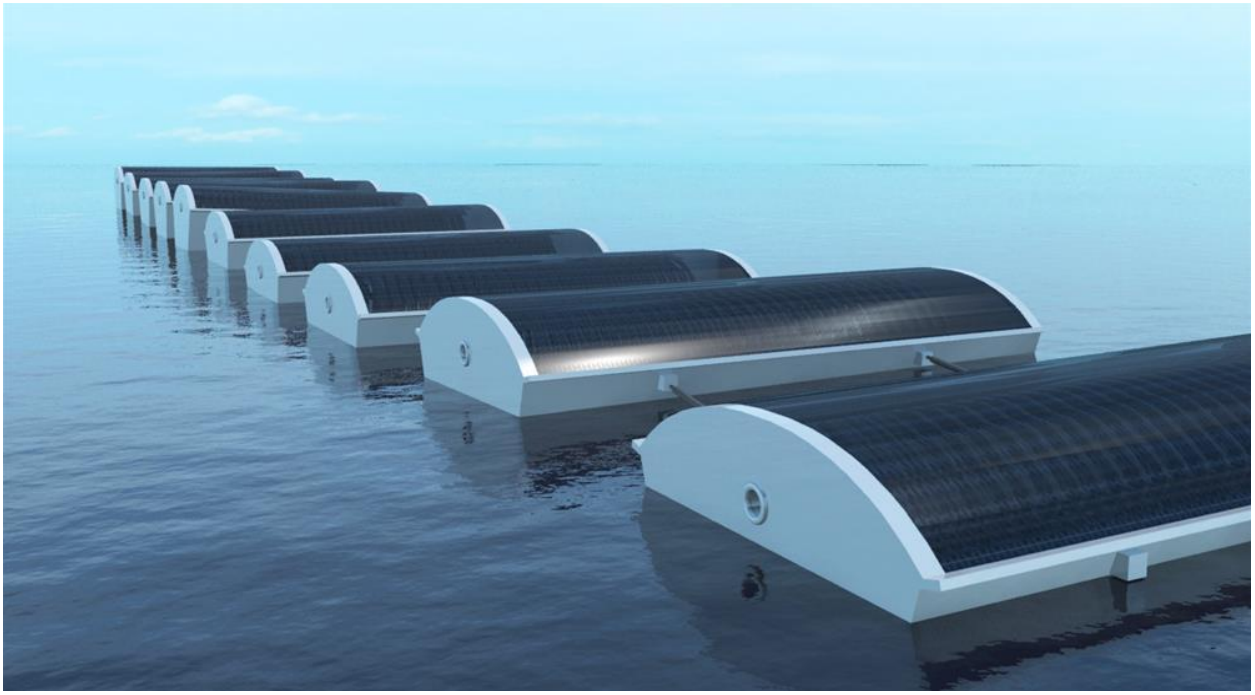
تخطط IDE لتسليم أول سفينة منتجة للمياه ، من البحر ، في غضون السنوات الثلاث المقبلة. وهذا من شأنه أن يوفر ما يكفي من المياه لمدينة يبلغ عدد سكانها حوالي 850 ألف نسمة.

6 - نشاء محطات التحلية العاملة بالطاقة الشمسية داخل البحر :

نظام الألواح الشمسية شكل الخيار Solar Cucumber :

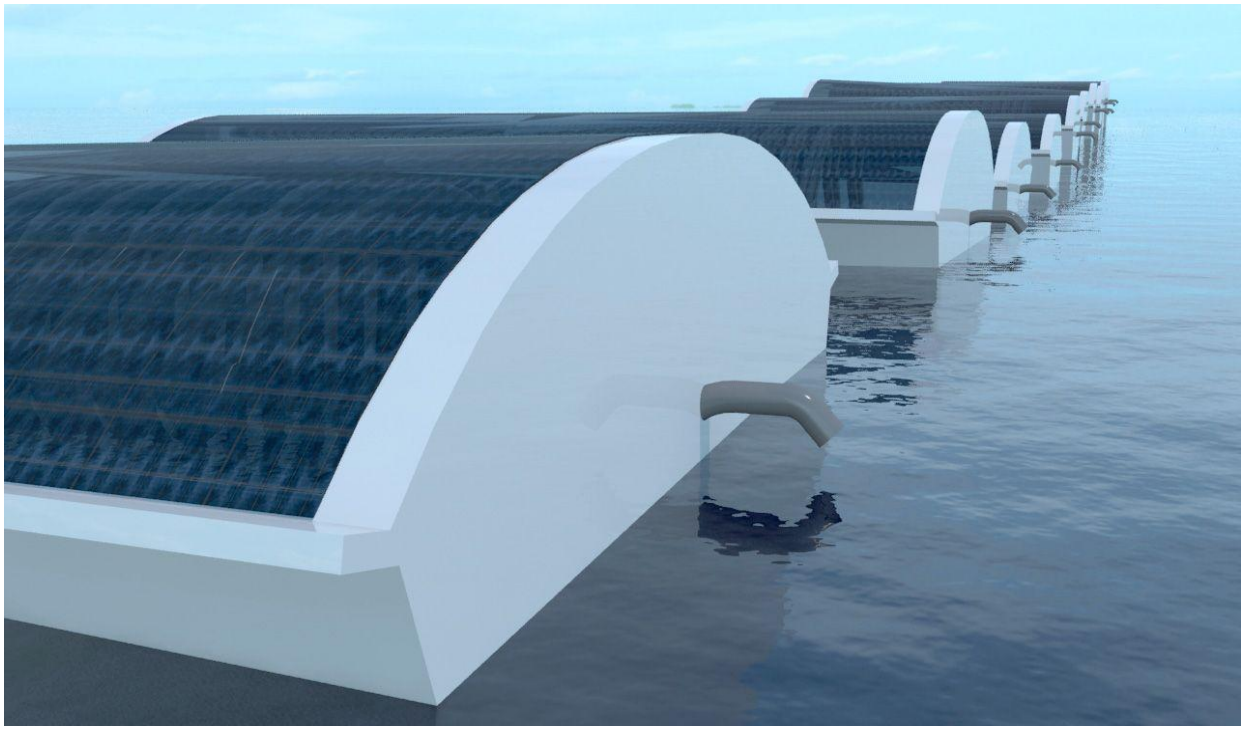
النموذج الأول :

شكل (83) :



شكل (83)

استخدام الطاقة الشمسية في تحلية مياه البحارSolar Cucumber



شكل (83)

استخدام الطاقة الشمسية في تحلية مياه البحارSolar Cucumber

المبدأ الأساسي لهذه التقنية هي التحلية البسيطة حيث تسخِّن طاقة الشمس المياه لدرجة التبخير، فيتصاعد بخار الماء، ويتكثَّف على سطح بارد ليتم تجميعه. تقوم تلك العملية بإزالة الملوثات ، مثل الأملاح والمعادن الثقيلة، وتقلل من الكائنات الدقيقة. والمنتج النهائي هو مياه أكثر نقاءً من مياه المطر النظيفة.

يتناسب إنتاج المياه بالطريقة المباشرة لتقطيرها بالطاقة الشمسية مع مساحة السطح المشمس وزاوية السقوط، ومتوسط الإنتاج يقدر بثلاثة أرباع لتر/ متر مكعب/ يوم. ونظرًا لهذا التناسب والقيمة العالية نسبيًّا لإقامتها، فإن طريقة التقطير المباشر تفضل استخدام المحطات ذات قدرات الإنتاج أقل من 300 متر مكعب/ اليوم.

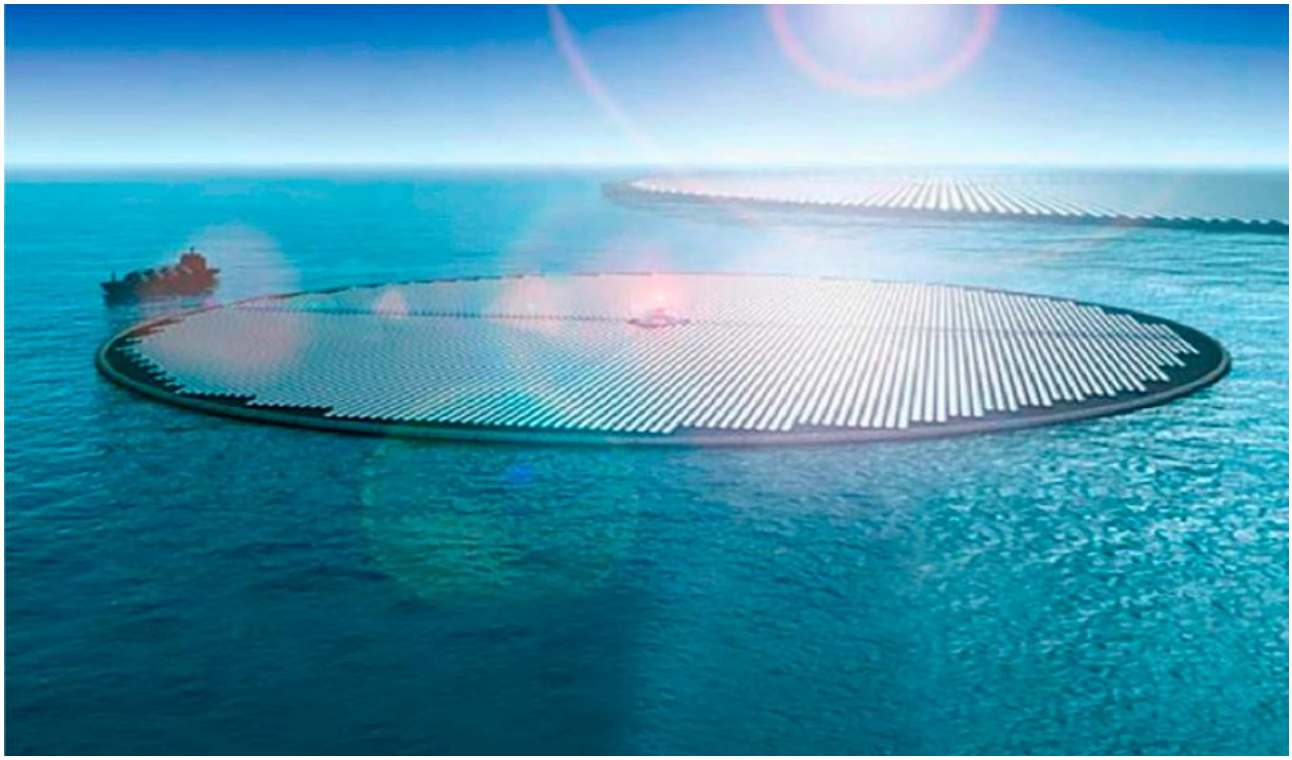
النظام الأكثر تعقيدًا لتحلية مياه البحر بالطاقة الشمسية يعتمد على نظامين منفصلين؛ نظام لتجميع الطاقة الشمسية يتكون من مجمِّعات كهربائية ضوئية وأخرى حرارية، ومحطة تحلية تقليدية منفصلة مثل تلك المستخدمة في المستقطرات الشمسية. وقد طرحت هذه التقنية تجاريًّا ودخلت حيز الاستخدام منذ عام 2009 بقدرة 1.600 لتر في الساعة، بما يعادل 200 لتر في اليوم للمتر المربع من لوحة الخلايا الشمسية.

النموذج الثاني :

شكل (84) :

جهاز عائم يعمل على تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية :

تستخدم هذه التقنية قرصًا صغيرًا يحتوي على طبقات من الأنابيب النانوية الكربونية لامتصاص الضوء، وهي تعمل على الطريقة التقليدية لتحلية المياه؛ تسخن الماء حتى يتبخر ثم تعيده فاصلة الماء عن الملح والشوائب الأخرى. لتحويل الماء إلى بخار تحتاج هذه التقنية للطاقة الشمسية، من خلال استخدام بعض المواد لتحويل هذه الطاقة إلى طاقة حرارية بكفاءة عالية، لكن إذا تغطت هذه الأقراص ببلورات ملحية فسيُحجب عنها ضوء الشمس وتتوقف عن العمل.



شكل (84)

جهاز عائم يعمل على تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية

تعالج التقنية الجديدة هذه المشكلة بنجاح عن طريق الحفاظ على معدل ثابت من تبخر الماء؛ من خلال حصاد الأملاح وإزالتها من القرص؛ لمنعها من تقليل الكفاءة؛ لذلك يمكننا القول أنّا وجدنا طريقة رخيصة وفعالة لتحلية المياه. من الممكن أن تكون الأجهزة التي تستخدم هذه التقنية مفيدة بشكل خاص في الأماكن التي لا تتوفر فيها الكهرباء نظرًا لأنها تعتمد على الطاقة الشمسية.

ففي العام الماضي أنتج فريق من الولايات المتحدة تقنية لتحلية مياه البحر، تعتمد على الهيدروجيل وتعمل أيضًا بالطاقة الشمسية، وهي فعالة بما يكفي لتحلية مياه البحر الميت.

ويتمثل التحدي في زيادة هذه التقنيات وجعلها عملية سواء من خلال تشغيلها عمليًا أو من مقدار المياه التي يمكن معالجتها.

ويعتبر استخدام الطاقة الشمسية من أجل تحلية مياه البحر على نطاق واسع أحد الحلول المستدامة نحو معالجة ندرة المياه النظيفة في بعض المجتمعات، دون التضحية ببيئتنا أو مواردنا.«

تستخدم هذه التقنية قرصًا صغيرًا يحتوي على طبقات من الأنابيب النانوية الكربونية لامتصاص الضوء، وهي تعمل على الطريقة التقليدية لتحلية المياه؛ تسخن الماء حتى يتبخر ثم تعيده فاصلة الماء عن الملح والشوائب الأخرى. لتحويل الماء إلى بخار تحتاج هذه التقنية للطاقة الشمسية، من خلال استخدام بعض المواد لتحويل هذه الطاقة إلى طاقة حرارية بكفاءة عالية، لكن إذا تغطت هذه الأقراص ببلورات ملحية فسيُحجب عنها ضوء الشمس وتتوقف عن العمل . تعالج التقنية الجديدة هذه المشكلة بنجاح عن طريق الحفاظ على معدل ثابت من تبخر الماء؛ من خلال حصاد الأملاح وإزالتها من القرص؛ لمنعها من تقليل الكفاءة؛ لذلك يمكننا القول أنّا وجدنا طريقة رخيصة وفعالة لتحلية المياه. من الممكن أن تكون الأجهزة التي تستخدم هذه التقنية مفيدة بشكل خاص في الأماكن التي لا تتوفر فيها الكهرباء نظرًا لأنها تعتمد على الطاقة الشمسية.

تتقدم نتائج الدراسات خطوة أخرى نحو الاستخدام العملي لتكنولوجيا الطاقة الشمسية لتبخير الماء، ما يدل على إمكانيات كبيرة في تحلية مياه البحر التي توفر المياه النظيفة والآمنة لملايين الأشخاص، خاصة أولئك الذين لا تتوفر لديهم الطاقة اللازمة، وإلقاء الضوء على الأثر البيئي للمياه الآسنة واستعادة الموارد منها .

يستخدم النظام الجديد خيطًا قطنيًا بقطر 1 ملم لنقل المياه المالحة إلى قرص التبخر، حيث يتم احتجاز المياه النقية وتندفع الأملاح جانبًا باستخدام طاقة أشعة الشمس. يمتص هذا القرص أكثر من 94% من ترددات الطيف الشمسي بأكمله لذلك فهو يعمل مهما كانت خصائص الضوء الشمسي المتوفر.

أن الجهاز الجديد المبتكر قادر حاليًا على إنتاج 6-8 لترات من المياه المحلاة لكل متر مربع من المساحة السطحية كل يوم . إنها ليست التقنية الوحيدة للتحلية التي استحوذت اهتمام الباحثين مؤخرًا؛ ففي العام الماضي أنتج فريق من الولايات المتحدة تقنية لتحلية مياه البحر، تعتمد على الهيدروجيل وتعمل أيضًا بالطاقة الشمسية، وهي فعالة بما يكفي لتحلية مياه البحر الميت.

يعتبر استخدام الطاقة الشمسية من أجل تحلية مياه البحر على نطاق واسع أحد الحلول المستدامة نحو معالجة ندرة المياه النظيفة في بعض المجتمعات، دون التضحية ببيئتنا أو مواردنا.

النموذج الثالث :

الألواح الشمسية تطفو فوق سطح البحيرات والخزانات ، وقد طور الباحثون الآن في النمسا بارجة نموذجية محملة بخلايا شمسية قادرة على التعامل مع موجات المحيط المتقلبة بشكل خطير - شكل (85) . تعتمد المنصات التي يبلغ ارتفاعها 100 متر (328 قدمًا) على نظام تعويم جديد يسمى Heliofloat ، والذي يمكّن الألواح الشمسية من الانزلاق مع تضخم البحر والاستمرار في إنتاج الكهرباء. يمكن لهذه التقنية أن تمكّن الشركات من إنشاء محطات شمسية بحرية ضخمة للمساعدة في توفير احتياجاتنا المتزايدة من الطاقة.

شكل (85)

بارجة الألواح الشمسية الضخمة مستقبل الطاقة المتجددة المعتمدة على المحيط

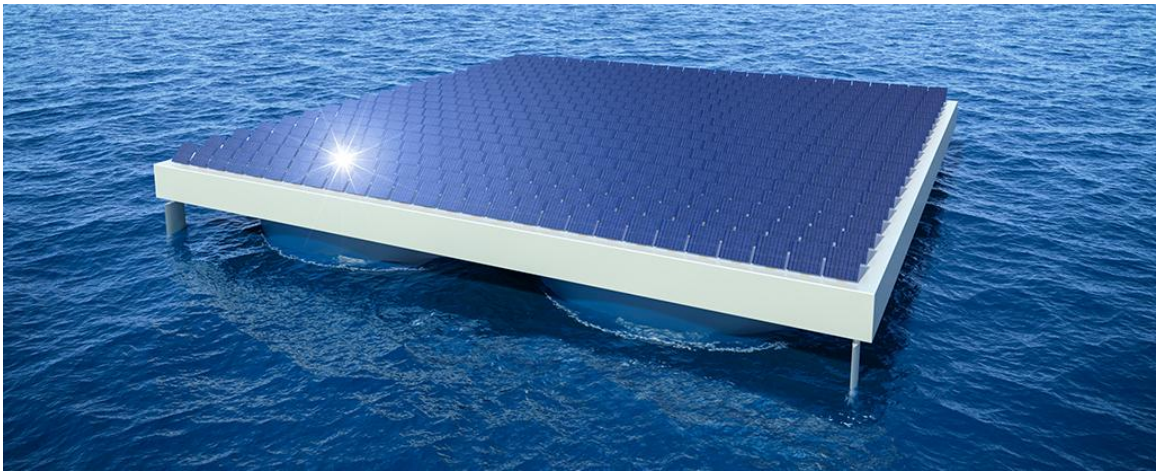
Huge Solar Panel Barge Could Be the Future of Ocean-Based Renewable Energy

النموذج الرابع :

أن تقنية (هيليوفلوت) مدعومة بأجهزة طفو مفتوحة . إذا تم تركيب منصة ببساطة على عوامات مغلقة مملوءة بالهواء ، فإن تصميم المبنى يجب أن يكون ثقيلًا وقويًا حتى يتمكن من تحمل الأمواج الثقيلة - شكل (86).

وحدات طفو هيليوفلوت تصنع من مادة ناعمة ومرنة مع هواء محاصر في الجزء العلوي من هذه البراميل .

لأن الهواء لديه اتصال مباشر بالماء أدناه ، فإنه ينشئ عمودًا هوائيًا يعمل كممتص للصدمات. يُسمح للأمواج بالارتفاع والسقوط بينما تظل منصة الألواح الشمسية نفسها مستقرة نسبيًا.

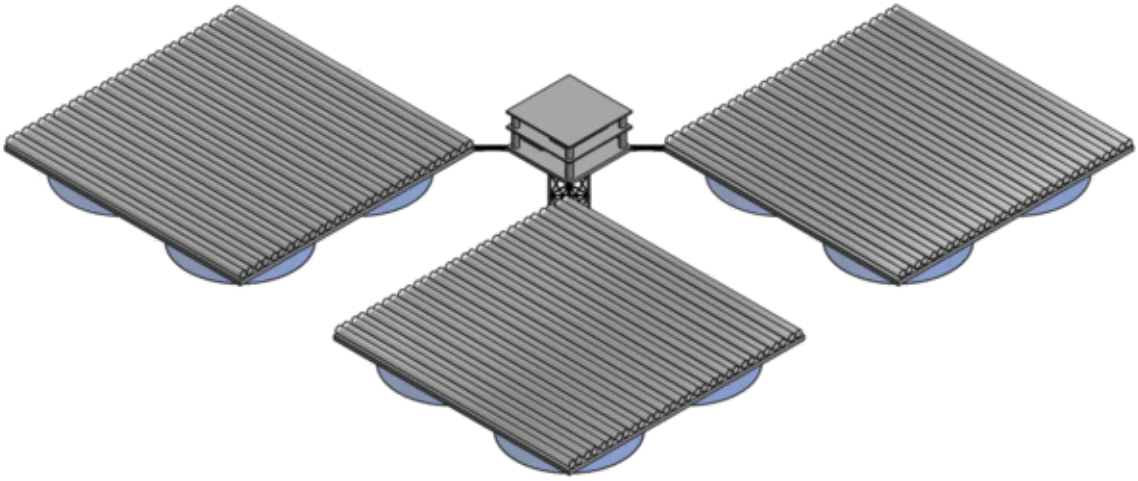


شكل (86)

تقنية (هيليوفلوت) مدعومة بأجهزة طفو مفتوحة -عوامات مغلقة مملوءة بالهواء

النموذج الخامس :

تطفو المنصات بطول 100 متر (330 قدمًا) ومغطاة بألواح شمسية حتى في البحار الشديدة بفضل نظام تعويم جديد يسمى Heliofloat. ، تستخدم عوامات مرنة مفتوحة القاع قادرة على الوقوف في أعماق البحار ، حيث أن البحار ليست دائمًا مكانًا هادئًا . حتى المناطق الهادئة نسبيًا يمكن أن تصبح فجأة عواصف مع موجات يمكن أن تهدم منصة عائمة - شكل (87) :



شكل (87)

ألواح شمسية مركبة علي رصيف كبير هليوفلوت مصمم للبقاء ثابتا و متوازنا

HELIOFLOAT Platforms . The Solar Panels Use a Giant Platform That Remains Steady in Rough Seas

أن فريقا من الخبراء يدعي أن نظام Heliofloat يمكنه دعم منصات خفيفة الوزن بحجم ملاعب كرة القدم المستقرة حتى في البحار الشديدة يمكن أن تكون موطنا لتركيب الألواح الكهروضوئية أو أحواض مرآة مكافئة. وهي تقوم بذلك عن طريق تبديل العوامات التقليدية بأسطوانات مرنة مفتوحة القاع تخمد بدلاً من امتصاص طاقة الأمواج.

النموذج السادس :

أن الهليوفولوت مدعوما بأجهزة طفو مفتوحة . إذا تم تركيب منصة ببساطة على حاويات مغلقة مملوءة بالهواء ومغلقة ، فيجب أن يكون تصميم المبنى ثقيلًا وقويًا بشكل غير فعال حتى يتمكن من تحمل الموجات الثقيلة - شكل (88) .

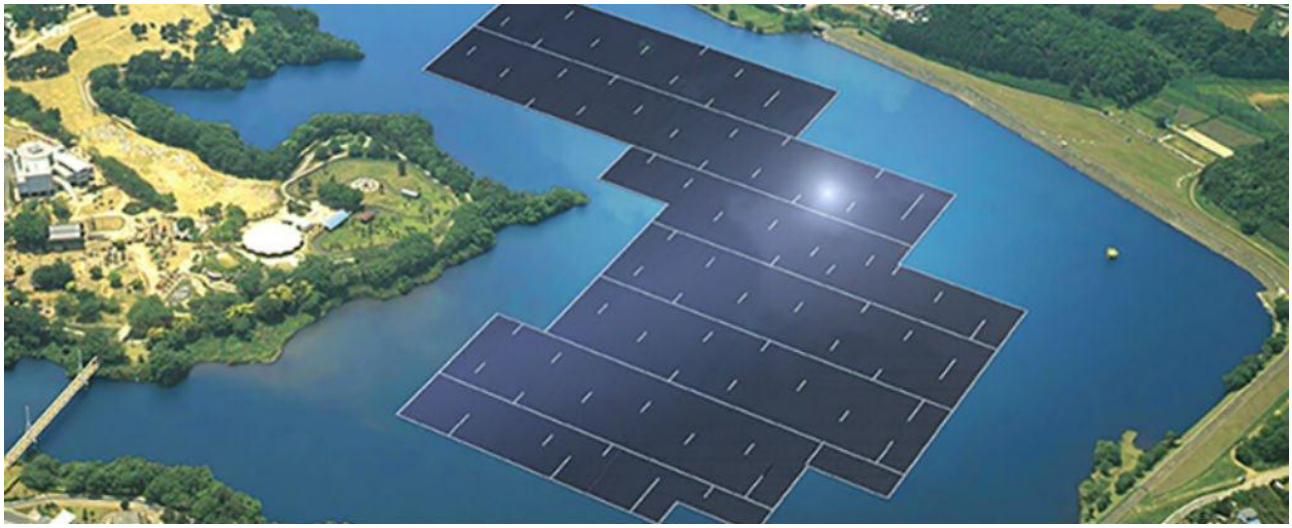
شكل (88)

يمكن استخدام التكنولوجيا الجديدة لبناء مزارع شمسية في البحر

من الناحية العملية ، ترتكز منصة **Heliofloat** على سلسلة من البراميل المصنوعة من مادة ناعمة ومرنة مفتوحة على البحر في الأسفل . يتم حبس الهواء داخل العوامات وضغطه بواسطة ضغط الماء ليكون بمثابة امتصاص الصدمات. في هذه الأثناء ، تنحني جوانب البرميل عندما تضربها الأمواج ، لذلك تمتص طاقة أقل من العوامات الصلبة. تم تصميمها معًا للسماح للمنصة بركوب البحار الهائجة مع الحفاظ على استقرارها.

النموذج السابع :

نظرًا لأن الطاقة الشمسية تصبح جزءًا أكبر وأكبر من المشهد العام للطاقة ، فإن المهندسين في جميع أنحاء العالم مشغولون بالعمل على كيفية بناء محطات كبيرة وفعالة بما يكفي لمواكبة الطلب . الآن بدأت شركة الإلكترونيات اليابانية العملاقة **Kyocera** في بناء ما تقول أنه سيكون أكبر محطة طاقة شمسية عائمة (من حيث السعة الإجمالية) في العالم - شكل (89) .
سيتم بناء المنشأة على خزان سد ياماكورا إلى جنوب شرق طوكيو في اليابان ، وسيتم أنتاج 13.7 ميجاوات (MW) من الطاقة وسيتم تركيب حوالي 51000 لوح كهروضوئي معًا لتغطية مساحة تبلغ حوالي 180،000 متر مربع (حوالي 44.5 فدان) من المساحة (مثل 18 ملعب كرة قدم) .

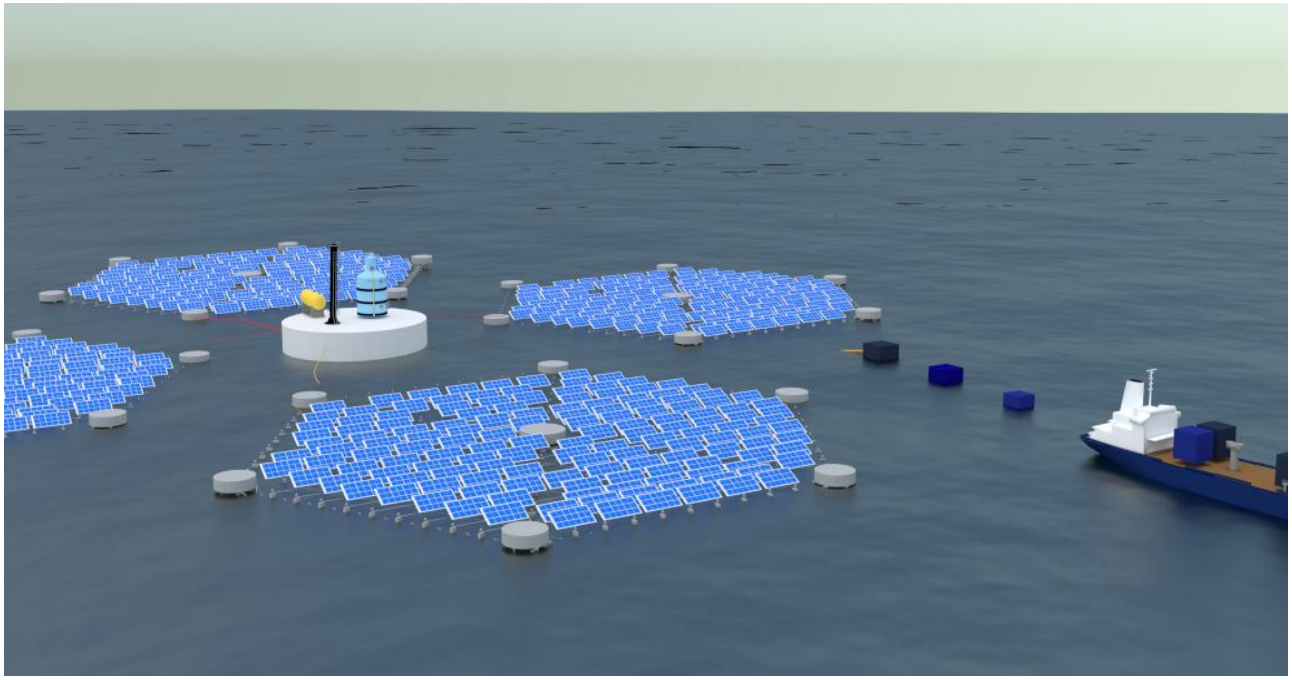


شكل (89)

يتم بناء أكبر محطة للطاقة الشمسية العائمة في العالم في اليابان

النموذج الثامن :

شكل (90) :



شكل (90)

بناء محطة للطاقة الشمسية العائمة الأكبر في العالم في اليابان

تحلية المياه بطريقة التجميد
Freeze Desalination

المبدأ :

في هذة التقنية يتم خفض حرارة المياه الى درجات متدنية مما يؤدي الى ترسب الاملاح من المياه الموجودة بها ، واغلب الدول التي تستعمل تلك التقنية هي الدول ذات الطقس البارد .

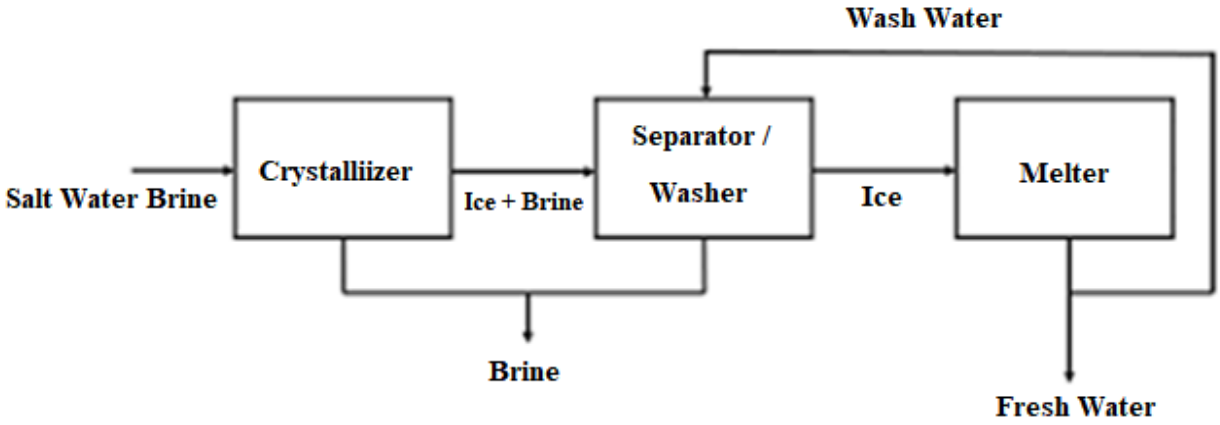
تعتمد التحلية بالتجميد على خاصية ان الماء العذب يتجمد ويتحول من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة عند درجة حرارة اعلى من تلك التي يتجمد عندها المحلول الملحي . لذلك فانه عند تعريض الماء المالح الى درجات حرارة منخفضة عند مستوى تجمد الماء، فان بلورات الثلج تبدأ في التكون تاركة الأملاح ذائبة في المحلول الملحي الذي يظل تحت التحكم الدقيق في حالة سيولة، ثم يتم فصل بلورات الثلج عن المحلول الملحي وغسلها بالماء لفصل الاملاح العالقة بها. وباعادة تذويب البلورات الثلجية يمكن الحصول على الماء العذب (أن بلورات الثلج المتكونة بتبريد ماء مالح تكون خالية من الملح) ، مما يجعل هناك تشابها بين هذه العملية وعملية التقطير التي تنتج بخارا خاليا من الأملاح من محلول من الماء الملح .هذا التشابه يظهر فقط من ناحية خلو الناتج في كلتا العمليتين من الأملاح ولكنهما بالطبع يختلفان من الناحية العملية حيث تتم عملية التقطير عند درجة حرارة أعلى من الدرجة المحيطة بينما تتم عملية التجميد عند درجة حرارة أقل من الدرجة المحيطة . هذا الاختلاف في درجة حرارة التشغيل ، في كلتا العمليتين ، يؤثرعلى تصميم الأجهزة والمعدات الخاصة بكل عملية، إذ يراعي في تصميم عملية التقطيرتقليل كمية الحرارة المفقودة من وحدة التقطير الى الجو المحيط ، بينما يراعي في تصميم عملية إزالة الملوحة بالتجميد التقليل من كمية الحرارة المكتسبة بوحدةالتجميد من الجو المحيط . وأهم عيوب إزالة ملوحة المياه بالتجميد هي المشاكل الناجمة عن نقل وتنقية الثلج ، وأهم مميزاتها التقليل من الترسب والتآكل إذ يتم التشغيل عند درجات حرارة منخفضة نسبيا .

وتعتمد عملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد – وتصميم معداتها – على القواعد الأساسية المعروفة والأجهزة الخاصة بتنقية التبريد ، ولكن بعد تعديلها لتناسب إزالة ملوحة المياه بالتجميد .

الفكرة الأساسية :

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

وتعتمد عملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد – وتصميم معداتها – على القواعد الأساسية المعروفة والأجهزة الخاصة بتنقية التبريد ، ولكن بعد تعديلها لتناسب إزالة ملوحة المياه بالتجميد . مخطط تحلية المياه – شكل (91) .



شكل (91)

مخطط تحلية المياه

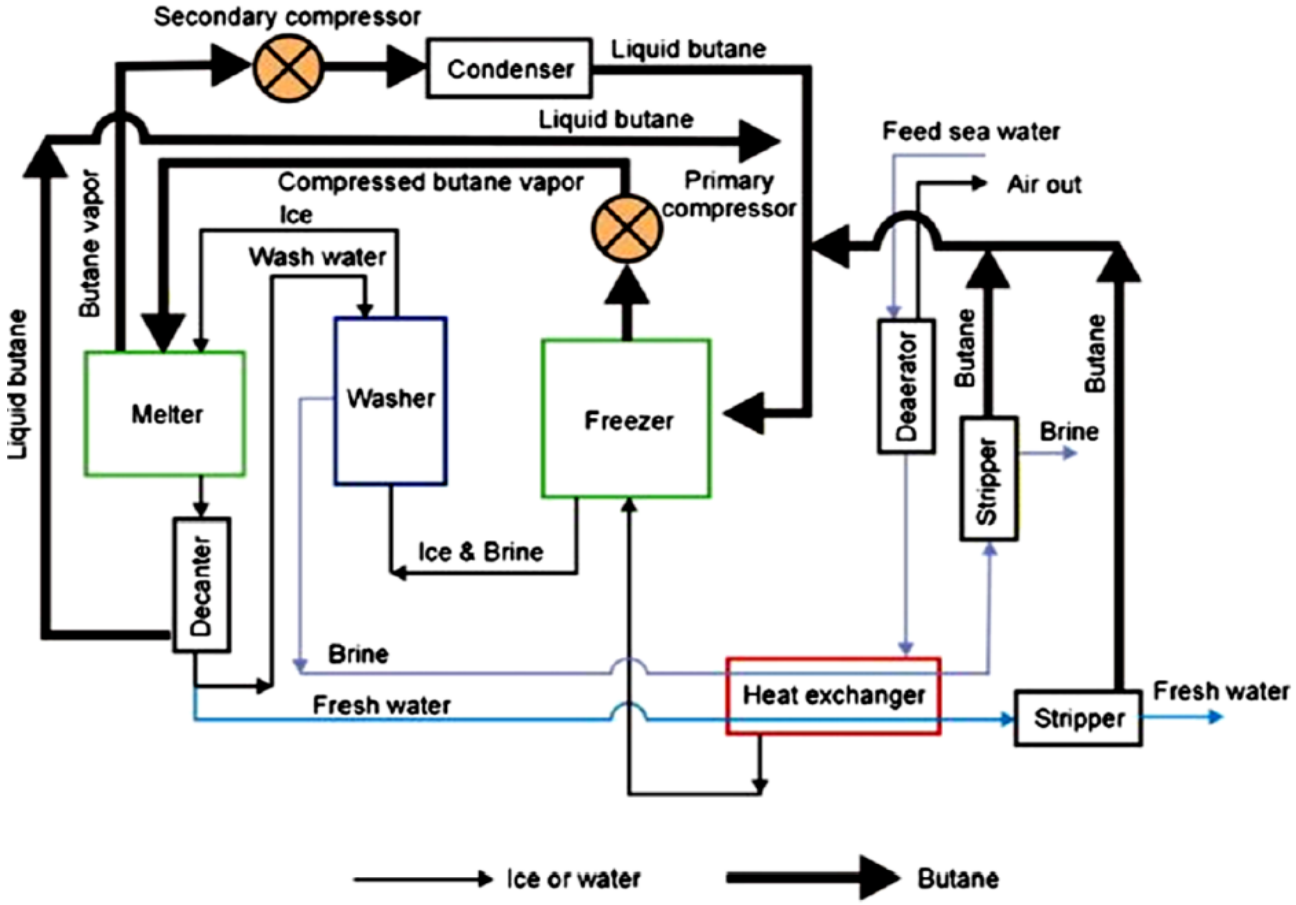
وتنقسم عملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد الى طريقتين : التجميد المباشر والتجميد غير المباشر .

التجميد المباشر :

عملية التجميد المباشر والذي يعرف بعملية زارشين Zarchin Process (أيضا يعرف بعملية التفريغ والتبخير الفجائي Vacuum-Flash Process . ولقد تم إجراء الكثير من التعديلات على هذه الطريقة بشركة كولت إندستريز Colt Industries بمدينة بلويت بولاية ويسكونسون الأمريكية. وفي هذه العملية ، يدخل ماء البحر بعد تبريده في المبادل الحراري الى برج التجميد (المبلور Crystallizer) حيث يكون الضغط داخل البرج ما بين 3 و4 مم زئبق (حوالي 0.005 ضغط جوي) مما يسبب التبخير الفجائي لجزء من ماء البحر . وتسحب الحرارة اللازمة للتبخير من الجزء المتبقي من ماء البحر ، مما يسبب هذا الجزء (درجة التجميد حوالي – 1,9 درجة مئوية لماء البحر النقي وحوالي 3,8 درجة مئوية لماء البحر ذي التركيز ضعف التركيز العادي) . وتعطى المجمدات الحديثة معدلات بلورة في حدود من 1 الى 1,5 طن من الثلج لكل ساعة ولكل متر مكعب من حجم المبلور .

ومن دراسة احتياجات الطاقة الحرارية ، يتضح أن إزالة ملوحة المياه بالتجميد تحتاج الى حوالي 80 سعرا حراريا لإنتاج كيلو جرام واحد من الثلج ، بينما تحتاج إزالة ملوحة المياه بالتبخير الى حوالي 600 سعر حراري لإنتاج كيلو جرام واحد من البخار . وعليه ، فإن الحرارة المستخدمة لإنتاج كيلو جرام واحد من البخار تكفي لإنتاج 7,5 كيلو جرام من الثلج . ولكن يراعى في حالة الإعذاب بالتجميد ضرورة غسل الثلج الناتج للتخلص من الأملاح الدقيقة المصحوبة مع البلورات ، والتي قد تمثل 50% من وزن البلورات . مخطط التجميد المباشر Schematic Diagram of Direct Freezing Process – شكل (92)

وتعتبر طريقة غسل الثلج بتمريرة عكس تيار من ماء الغسيل يسري الى اسفل ، من أكفأ الطرق لغسل البلورات من الملح إذ تفقد كمية محدودة جدا من المياه العذبة أثناء عملية الغسيل . ويوجد حاليا أعمدة غسيل ذات كفاءه عالية وحجم صغير ، حيث تتم عملية الغسيل في عمود ذي ضغط عال نسبيا ومغمور كليا بالسائل . ويتم سريان كل من الماء الملح المركز والماء العذب خلال مبادل حراري لتبريد ماء البحر مبدئيا .



شكل (92)

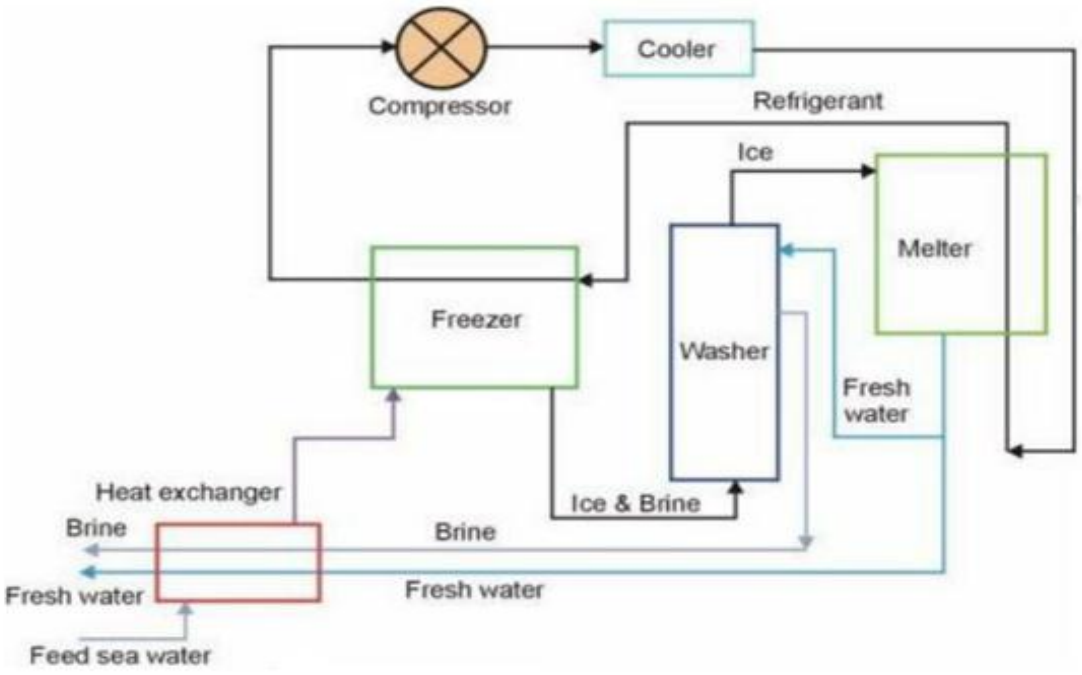
مخطط التجميد المباشر Schematic Diagram of Direct Freezing Process

التجميد غير المباشر :

تستخدم هذه الطريقة مبردا ذا ضغط جزئي أعلى بكثير من الضغط الجزئي للماء ، حتى يمكن التغلب على العيوب الناتجة من انخفاض الضغط الجزئي للماء عند درجة التجمد ، مما يسبب انخفاض كثافة بخار الماء ، وبالتالي يزداد حجم البخار الذي يلزم إزاحته ، هذا بالإضافة الى الحاجة الى جهاز محكم للتفريغ . وبالطبع ، يجب أن يختار المبرد بحيث لا يكون ذوابا في الماء حتى تسهل عملية الفصل . وتتوافر هذه الصفات في مبردات مختلفة تستعمل في هذا المجال مثل البيوتان والمواد العضوية المفلورة Fluorinated Organics ، مثل فريون 114 . ويبين شكل (93) رسما توضيحيا لعملية التجميد غير المباشر باستخدام البيوتان . وتبلغ درجة حرارة غليان البيوتان عند الضغط الجوي –0.5 م مما يجعلها قريبة جدا من درجة حرارة تجمد الماء . ويدخل كل من سائل البيوتان وماء التغذية الى المجمد ، حيث الضغط أقل بقليل من الضغط الجوي ، مما يسبب غليان البيوتان بعد أن يأخذ الحرارة اللازمة للتبخير من الماء بتحويلة الى ثلج . ويتكون 1.15 طن من الثلج بتبخير طن واحد من البيوتان (الحرارة اللازمة لتبخير البيوتان عند درجة –3م حوالي 91 سعر / كجم) . ويتم غسل مزيج الثلج والماء الملح بكمية صغيرة من تيار معاكس من الماء العذب ، بينما يذهب معظم بخار البيوتان الى الضاغط رقم 1 حيث يضغط الى ضغط أعلى من الضغط الجوي بقليل .

نموذج محطة التحلية المياه المتجمدة - كلير ووتر ، فلوريدا :

شكل (94) :



شكل (93)

مخطط التجميد غير المباشر An Indirect Freezing Process

شكل (94)

محطة التحلية المياه المتجمدة ـ كلير ووتر ، فلوريدا The Freezing Desalination Plant at Clear Water, Florida

تحلية المياه باستغلال الحرارة الأرضية
Geothermal Desalination

نظرة تاريخية :

في عام 1931 قام نيكولا تسلا بوضع مبدأ اول محطة كبيرة من هذا النوع ولكن رغم حماسه لهذه الفكرة توصل إلى استنتاج أن التقنيات الهندسية المطلوبة لانشاء مثل هذه المحطة لم تكن متوافرة وجعلت تنفيذ المشروع غير عملي من الناحية الاقتصادية.

في عام 1935 قام كلاود بإنشاء محطة أخرى ولكن هذه المرة على سطح سفينة عملاقة "ذات حمولة 10000 طن" ترسو بالقرب من شواطئ البرازيل ولكن الطقس والأمواج دمرا المحطتين قبل أن يتم الانتهاء من انشاؤهما.

أن اول من استفاد من طاقة باطن الارض كانت الحيوانات التي تحفر لنفسها انفاقا في باطن الارض وتمكث بها طيلة فترة السبات الشتوي مستفيدة من النظام البيئي الطبيعي اي اختلاف درجات الحرارة على عمق اكثر من متر واحد . ان الاستفادة من الطاقة المتجمعة تحت سطح الارض ليست بالفكرة الجديدة فقد قام الرومانيون بتدفئة المنازل من عيون الماء الساخنة وكذلك قام سكان نيوزلندا باستعمال حرارة المياه القريبة من سطح الارض لطهي الطعام . وفي ايسلندا ، تعتبر العاصمة ريكافيك انظف مدينة بالعالم لانها ومنذ سنوات عديدة تستخدم حرارة باطن الارض لاغراض التدفئة حتى وصلت النسبة الى 90 % من المنازل والمحلات والبنايات التي تستخدم انظمة تدفئة تعتمد علي طاقة باطن الارض لتدفئة المنازل . وفي نيوزيلندا وامريكا تم استخدام طاقة باطن الارض ولكن فقط في المناطق ذات الفعالية البركانية لسهولة الحصول على البخار من مصدر اقرب الى سطح الارض ومثل هذه المواقع غير متوفرة في كل مكان.

في عام 1956 بدء علماء فرنسيون بانشاء محطة باستطاعة 3 ميجا واط لاحدى مدن ساحل العاج ولم يتم اكمال هذه المحطة ابداً وذلك بسبب انخفاض أسعار الوقود الأحفوري التي حصلت في الخمسينات والتي جعلت من محطات الطاقة التقليدية الاستثمار الأمثل. في عام 1962 قام جيمس هلبيرت اندرسون وولده بالبدء بتصميم دورة يمكنها أن تكمل مالم يحققه كلاود . حيث ركزا على أجزاء ذات تصاميم أكثر اقتصادية، وبعد أن عملا على حل بعض المشاكل التي واجهت تصميم كلاود قام باطلاق تصميمهما " وهو عبارة عن الدارة المغلقة " في عام 1967. في عام 1974 بدأت الولايات المتحدة الأمريكية بالابحاث في هذا المجال وذلك عندما تأسس مخبر الطاقة الطبيعية في هاواي على شواطئ كونا. لقد أصبح هذا المختبر من المنشاءات القائدة في مجال أبحاث طاقة البحار والمحيطات وتعتبر هاواي من الموقع ذو المخزون الأكبر في الولايات المتحدة الأمريكية من هذه الطاقة وذلك بسبب مياه المحيطات السطحية الحارة وامكانية الوصول إلى أعماق ذات مياه باردة بالاضافة إلى ارتفاع أسعار الكهرباء فيها. ومع أن اليابان لا تملك أي مخزون من هذه الطاقة كانت من المساهمين الأساسين في تطوير هذه الطاقة وتصديرها إلى بلدان لها مخزون من هذه الطاقة.وفي عام 1970 انتهت شركة كهرباء طوكيو من انشاء محطة تستخدم الدورة المغلقة وذلك على جزيرة ناورو. هذه المحطة والتي أصبحت جاهزة على العمل في 14-10-1981 انتجت استطاعة بقيمة 120 كيلو واط حيث كان يصرف 90 كيلو واط من أجل تشغيل المحطة وباقي الطاقة المنتجة كان يصرف على مدرسة مجاورة وبعض المنازل حيث كان هذا الرقم القياسي من الاستطاعة المولدة من محطة طاقة حرارة البحار والمحيطات في العالم وهي المحطة الوحيدة التي وصلت بالشبكة العامة وقامت بتغذيتها بالكهرباء في وقتها.

مؤخراً قامت الهند بانشاء محطة طافية "بعيدة عن الشاطئ" باستطاعة 1 ميغا وات بالقرب من تامي نادو وتستمر الحكومة الهندية برعاية ابحاث مختلفة في مجال تطوير منشئات طاقة البحار والمحيطات البعيدة عن الشاطئ .

حرارة باطن الارض :

حرارة باطن الأرض أحد أنواع الطاقة المتجددة - نوع من الطاقة المخزنة في السطح الخارجي للارض الصلبة وتحتوي على طاقة تعادل الطاقة التي تستخدمها البشرية الآن لمدة 30 مليون سنة اي انها شمس تحت الارض ، فحرارة باطن الارض ستصبح في المستقبل القريب العمود الفقري لاقتصاد الطاقة الغير مستنفذة في العالم . يقول العلماء ان واحدا في المائة فقط من الطاقة المستخرجة من حرارة باطن الارض في استراليا، يمكن أن تنتج ما يوازي 26 ألف عام من الكهرباء النظيفة لطاقة الحرارية الجوفية (Geothermal Energy) هي مصدر طاقة بديل ونظيف ومتجدد، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي مختزنة في الصهارة في باطن الأرض .حيث يقدر أن أكثر من 99% من كتلة الكرة الأرضية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها 1000 درجة مئوية . وترتفع درجة الحرارة بزيادة تعمقنا في جوف الأرض بمعدل نحو 2 و 7 درجة مئوية لكل 100 متر في العمق، أي أنها تصل إلى معدل 27 درجة مئوية على عمق 1 كيلومتر أو 55 على عمق 2 كيلومتر وهكذا. ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية بشكل أساسي في توليد الكهرباء، ويتطلب ذلك حفر أنابيب كثيرة إلى أعماق سحيقة قد تصل إلى نحو 5 كيلومترات. وفي بعض الأحيان تستخدم المياه الساخنة للتدفئة عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض، ونجدها على عمق 150 متر أو أحيانا في مناطق معينة على صورة ينابيع حارة تصل إلى سطح الأرض.

تقسم مصادر الحصول على الطاقة الحرارية الأرضية إلى قسمين :

** المياه الحارة الجوفية .

** الصخور الحارة التي توجد في المناطق النشطة بركانيا أو في الأعماق البعيدة تحت سطح الأرض .

ويمكن الاستفادة من المياه الجوفية الحارة والصخورالحارة في توليد الطاقة الكهربائية وتسخين المياه التي تستخدم في التدفئة، بالإضافة إلى استعمالها في الكثير من ميادين الصناعة والزراعة الأخرى . تحلية المياه باستغلال الحرارة الأرضية لأنتاج المياه النقية ، وهو مصدر منخفض الأثر البيئي للطاقة. مميزات هذه الطريقة في التحلية هي أنها تتطلب صيانة أقل من أغشية التناضح العكسي.

أهم إيجابيات هذه الطاقة :

1. كونها طاقة متجددة، فهي من مصادر الطاقة التي لاتنفد على الأقل للأجيال القادمة.
2. كونها طاقة نظيفة غير مضرة بالبيئة، ولا تسبب أي تلوث سواء في استخراجها أو في تحويلها أو استعمالها.
3. توفرها بكميات كبيرة جدا وفي مساحات شاسعة لأغلب بلدان العالم.
4. قلة تكاليف إنتاج الطاقة بعد التكاليف الأولية لإنتاج المحطة (والتي يمكن أن تكون باهظة).
5. المردود العالي للطاقة المستخرجة.
6. تحلية المياه بالطاقة الأرضية الحرارية تمتاز ببساطة و قلة الصيانة عن تقنية لتحلية بالتناضح العكسي .

التأثير على البيئة :

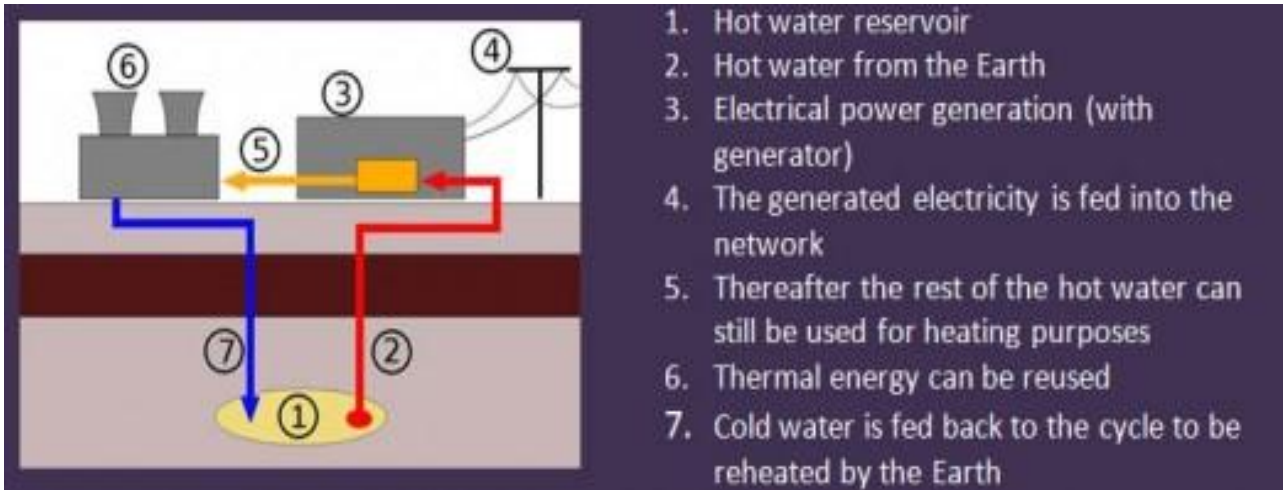
تحتوي السوائل المستخرجة من باطن الأرض على مخلوط غازات، منها ثاني أكسيد الكربون وسلفيد الكبريت (H2S)، والميثان والأمونيا. وتشارك تلك الغازات في مشكلة الانحباس الحراري والمطر الحمضي. وتبلغ مقدار ما ينطلق من محطات الحرارة الأرضية من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 122 كيلوجرام لكل 1 ميجاوات ساعة من الكهرباء، وهي نسبة صغيرة بالمقارنة بما تنتجه محطات الوقود الأحفوري. تحتوي السوائل المستخرجة من باطن الأرض على مخلوط غازات، منها ثاني أكسيد الكربون وسلفيد الكبريت H2S والميثان والأمونيا. وتشارك تلك الغازات في مشكلة الانحباس الحراري والمطر الحمضي. وتبلغ مقدار ما ينطلق من محطات الحرارة الأرضية من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 122 كيلوجرام لكل 1 ميجاوات ساعة من الكهرباء، وهي

نسبة صغيرة بالمقارنة بما تنتجه محطات الوقود الأحفوري، لهذا تزود محطات القوى التي تتسم بغصدار كميات كبيرة من تلك الغازات التي تسبب المطر الحمضي بوحدات لضبط وفصل تلك الغازات لخفض تأثيراتها السلبية على البيئة.و بالإضافة إلى الغازات الذائبة فقد يحتوي الماء الساخن المستخرج من أعماق الأرض على أملاح ذائبة ومواد سامة مثل الزئبق والزرنيخ والأنتيمون.

وتترسب تلك الكيماويات عند تبريد الماء وقد تتسبب في أضرار بالبيئة إذا أطلقت على الأرض. وتعمل سياسة إعادة استخدام الماء الساخن المستخرج وضخه إلى أعماق الأرض ثانيا من العوامل التي تقلل من التاثير السيئ على البيئة عند استغلال تلك الطاقة . ومن المؤكد أن طاقة حرارة باطن الأرض هي الأكثر أماناً بيئياً على الاطلاق، فهي تتميز بأنها لا تنتج ملوثات غازية أو صلبة، فيما عدا ترسيب أملاح الكبريتيدات في المواسير، الأمر الذي يحتاج إلى أعمال صيانة روتينية ودورية. وحرارة باطن الأرض هي معين لاينضب من الطاقة التي يمكن أن تجعل بيئة الإنسان أكثر نقاءً، وأيضاً لا خوف من نفادها.

نظام أستخراج الطاقة الحرارية الأرضية :

كروكيات يوضح عملية توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية – شكل (95) :



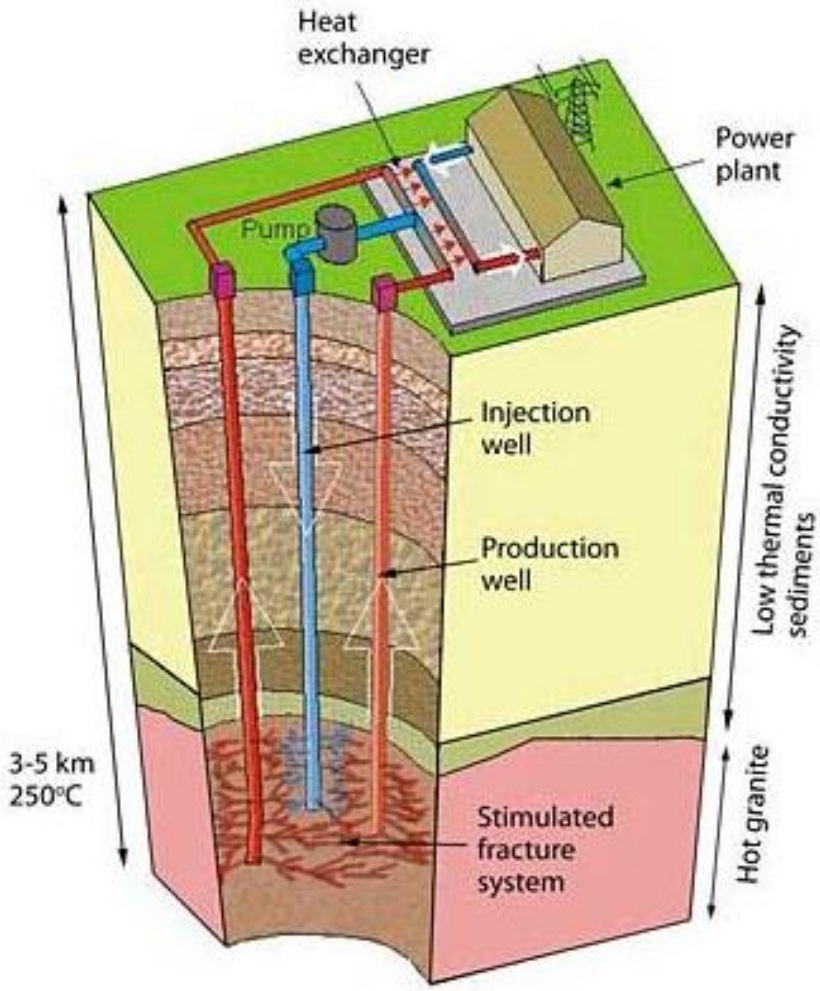
شكل (95)

كروكي يظهر تفاصيل أنتاج الطاقة من الحرارة الأرضية

أنشاء محطة توليد بالحرارة الأرضية :

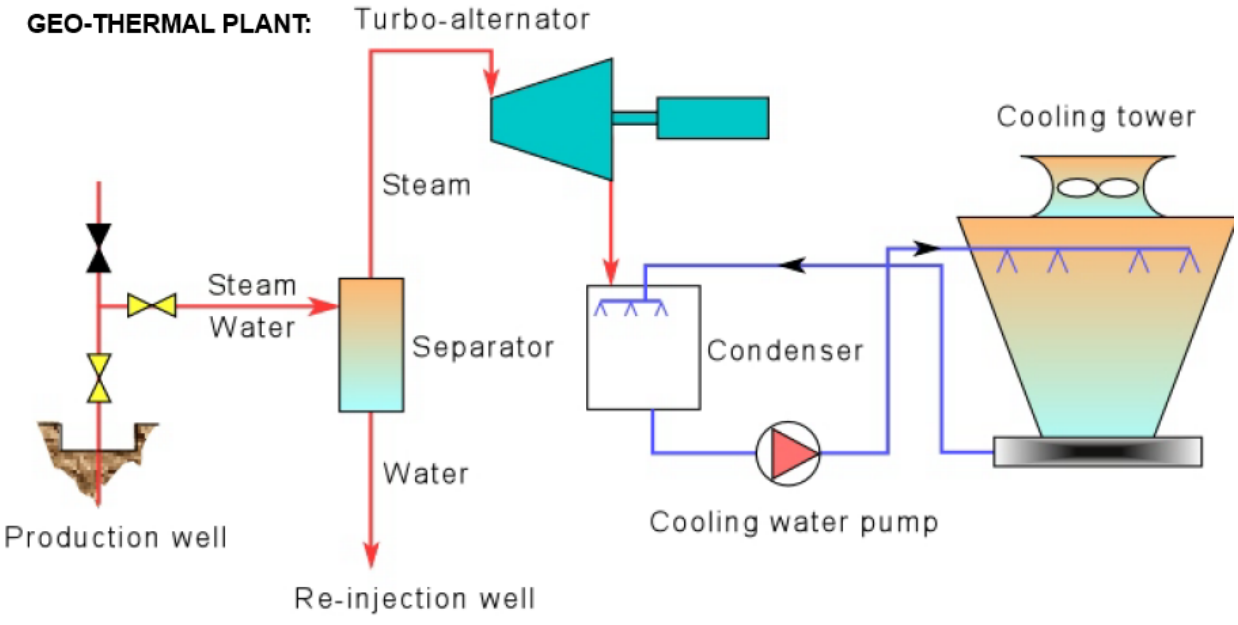
1 - البحث عن حقول البخار والمياه الساخنة :

طرق البحث عن مصادر المياه الساخنة والأبخرة تشبه تلك المستعملة في البحث عن البترول ، إلا أن البحث عن المصادر الجيوحرارية أكثر صعوبة لأن الدلائل التي قد تشير إلى وجود خزانات من البخار والماء الساخن لا تعطي حكما قطعيا إلا بعد القيام بالحفر والتأكد من وجود مثل هذه المصادر وكما أن وجود هذه الدلائل لا يعطي حكما قطعيا عن مدى حجم الخزان الحراري، وتتضمن عمليات البحث الأولية في العادة القيام بحفر عدة أبار على أعماق تصل إلى مئات الأقدام وذلك من أجل إجراء الاختبارات على طبيعة تركيب التربة وتوزيع درجات الحرارة في الأرض والبحث عن الدلائل الأخرى التي قد تشير إلى وجود مصادر حرارية، وتجري عمليات البحث هذه في المناطق التي تتوفر فيها دلائل أولية على إمكان وجود مصادر حرارية كتوفر ينابيع المياه الساخنة أو تصاعد البخار من باطن الأرض، أو في المناطق التي تعطي فيها الدراسات السطحية دلائل على توفر مثل هذه المصادر كالدراسات الجيوكيماوية للمياه الطبيعية والمقاومة الكهربائية للأرض في المنطقة المذكورة ودراسة الهزات الأرضية التي تعرضت أو تتعرض لها تلك المنطقة .



شكل (95)

كروكي يظهر تفاصيل أنتاج الطاقة من الحرارة الأرضية



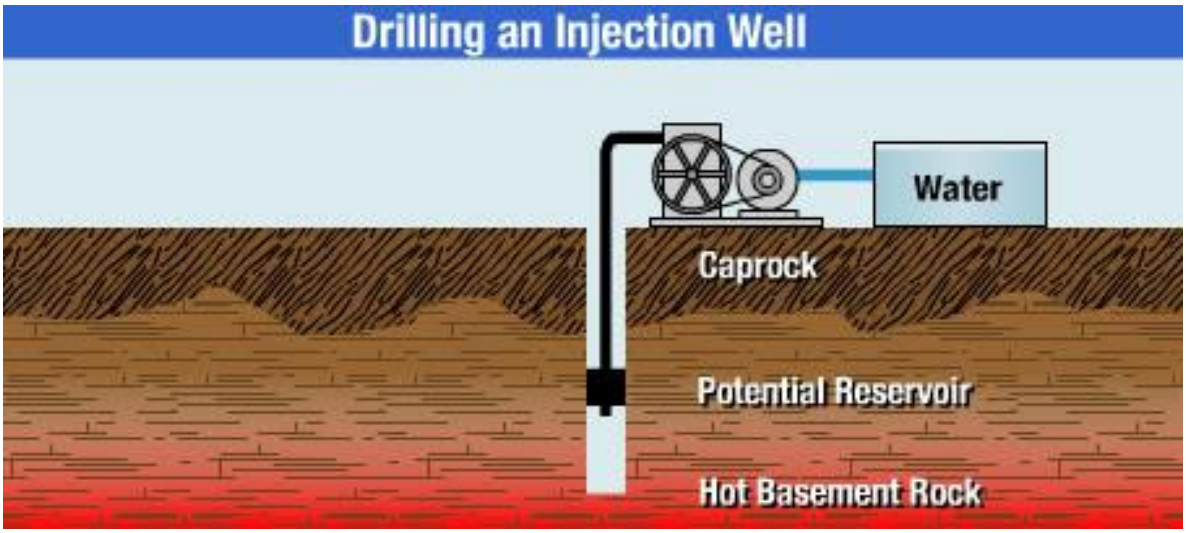
شكل (95)

2 - حفر الآبار :

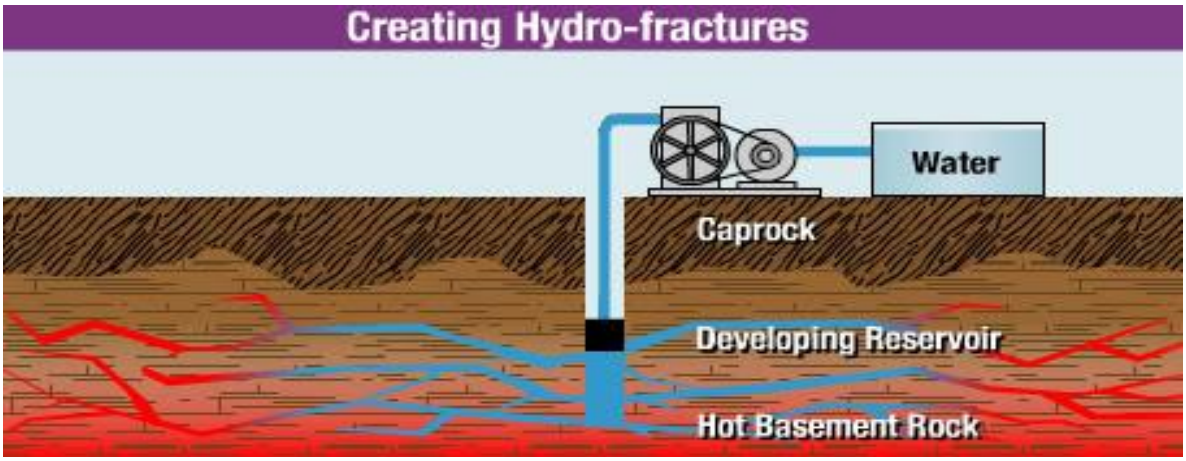
يتم حفر بئر الأنتاج Production Well إلى عمق حوالي 8000 متر في جوف الأرض للوصول الي الماء الساخن ومن المتوقع أن تقوم هذه المياه الساخنة بتشغيل محطة طاقة تصل قدرتها إلى 5 ميجا وات من أجل توليد الطاقة الكهربائية والحرارة في ذات الوقت وذلك على مدار الساعة دون التأثر بالشمس أو الرياح . وعندما نصل إلى الماء، نقوم بحفر بئر آخر Injection Well يبعد بمقدار ستة أمتار يتيح الثقب الآخر عودة المياه "الباردة" إلى جوف الأرض مروراً بالطبقات الصخرية الساخنة . وتنتج محطات الطاقة العاملة بهذا الأسلوب اليوم في مختلف أنحاء العالم من الطاقة الكهربائية ما يعادل إنتاج سبع محطات نووية. ماسورة بئر الأنتاج و بئر الحقن يجب أن تكون من النوع بقطاع علي شكل خابور ملفوف ، و تكون بين الأسلاك فراغات دقيقة تسمح بمرور المياه فقط الي البئر ، يكون في منطقة المياه المطلوب سحبها . السبب في شكل جدار الماسورة هو منع جزيئات التربة من دخول البئر بالأضافة الي كفاءة سحب المياه .

3 - خطوات استخراج المياه الساخنة :

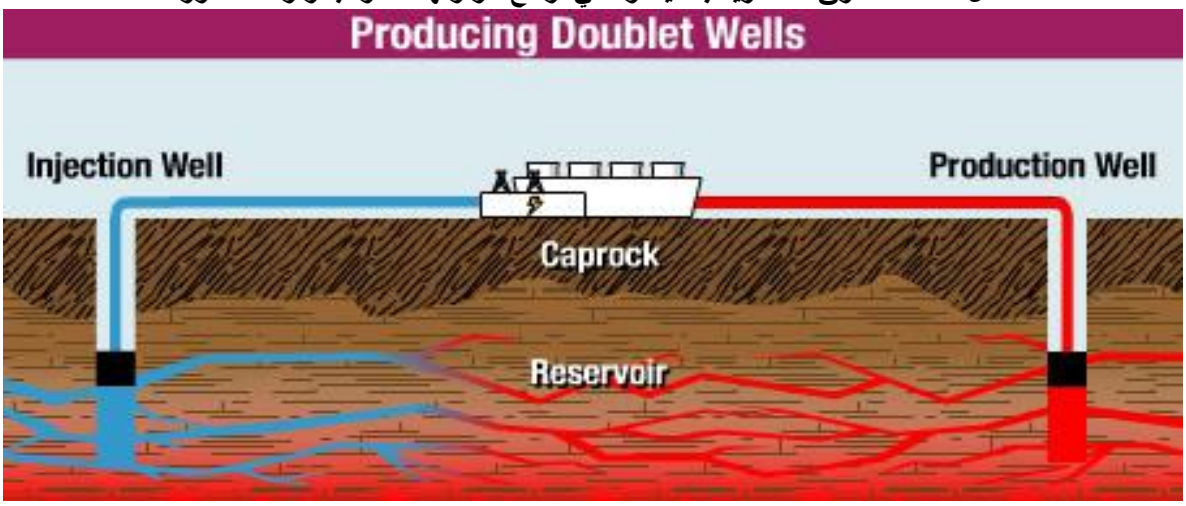
شكل (96) :



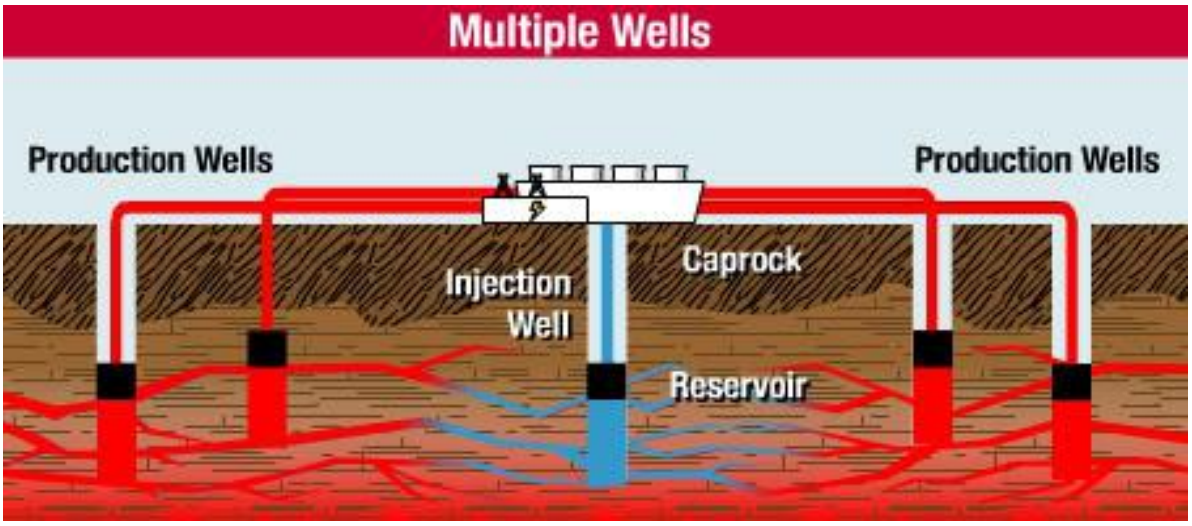
يرتكز التصميم علي حفر وعمل بئر عميق يصل عمقه الي 10 أميال تحت الأرض حيث تكون التربة المحيطة بالبئر صخرية و تكون المياه ساخنة جدا



يتم ضخ و حقن المياه المتخلفة في بئر الحقن تحت ضغط عالي ، يتسبب عن ذلك حدوث بعض التشققات في طبقات الصخر حيث تمتلء هذه الشقوق الصخرية بالمياه و التي ترتفع حرارتها متأثرة بحرارة الصخور



بئر الأنتاج بالقرب من بئر الحقن لاستخراج المياه الساخنة و التي تكون تحت ضغط ، المياه مع البخار ينطلقان الي أعلي لأدارة توربينات عند سطح الأرض لتوليد الكهرباء . يخرج البخار أو يتكثف الي الماء و يعود مرة أخري الي باطن الأرض خلال بئر الحقن لتعاد الدورة مرة أخري .



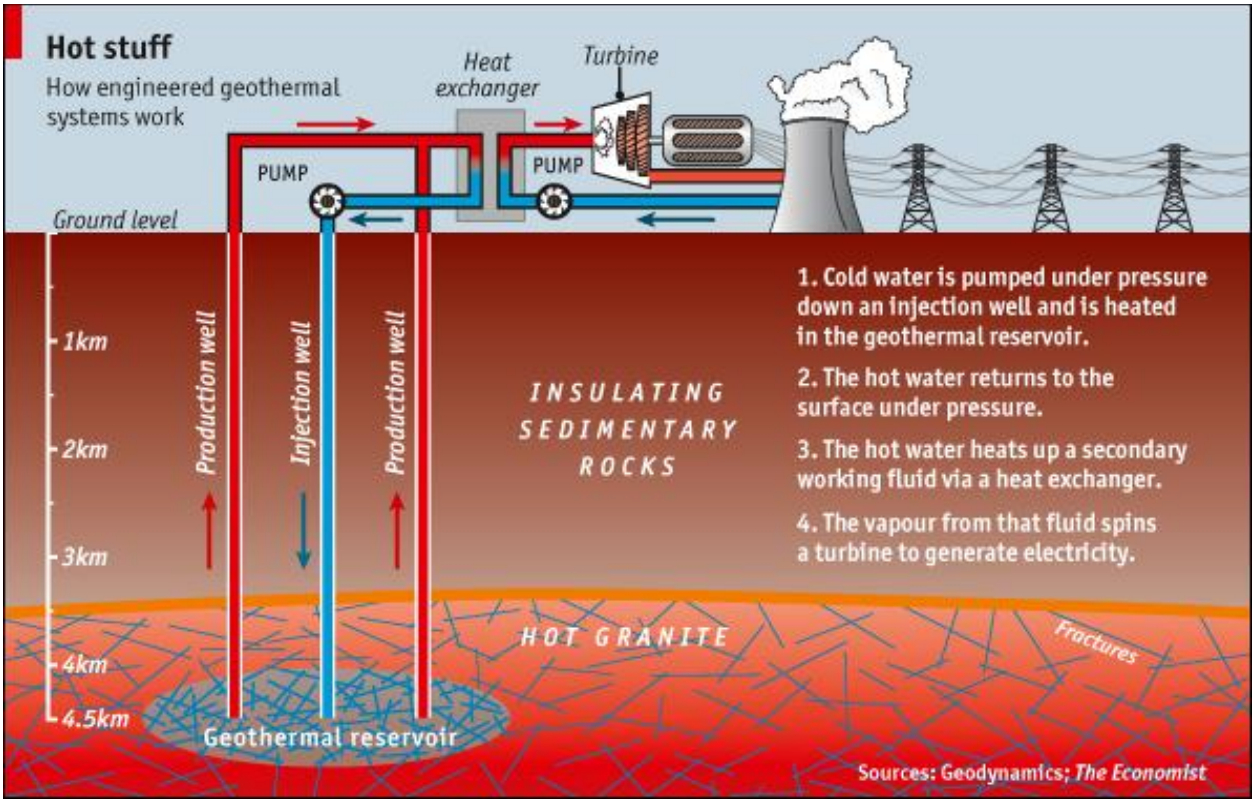
شكل (96)

يمكن حفر و عمل آبار أخري منتجة في نفس المنطقة لزيادة الأنتاج الكهربى

محطة الطاقة الحرارية الأرضية من الطبقات الجيولوجية الساخنة – كاليفورنيا – الولايات المتحدة :

تحلية ماء البحر:

يمكن الحصول على الماء المقطر عن طريق المحطات التي تستخدم الدورة المفتوحة أو الهجينة وذلك عبراستخدام مكثف يوضع على السطح. في المكثفات السطحية يتكاثف البخار بواسطة تماس غير مباشر مع الماء البارد. والماء الناتج يكون خالي من الملوثات وصالح للاستهلاك المباشر سواءً للشرب أو للزراعة في المناطق التي تحتاج إلى المياه العذبة.حيث بينت الدراسات أن محطة باستطاعة 2 ميجا وات يمكنها أن تنتج يومياً 4300 متر مكعب من الماء المقطر.ويعتبر استخدام الدارة الهجينة من أجل الحصول على الماء هو أفضل من الدارة المفتوحة وذلك لأن حجم المكثف المطلوب يكون أصغر . يمكن أن تكون المحطة علي سطح الأرض أو داخل المياه - شكل (97) :



شكل (97)

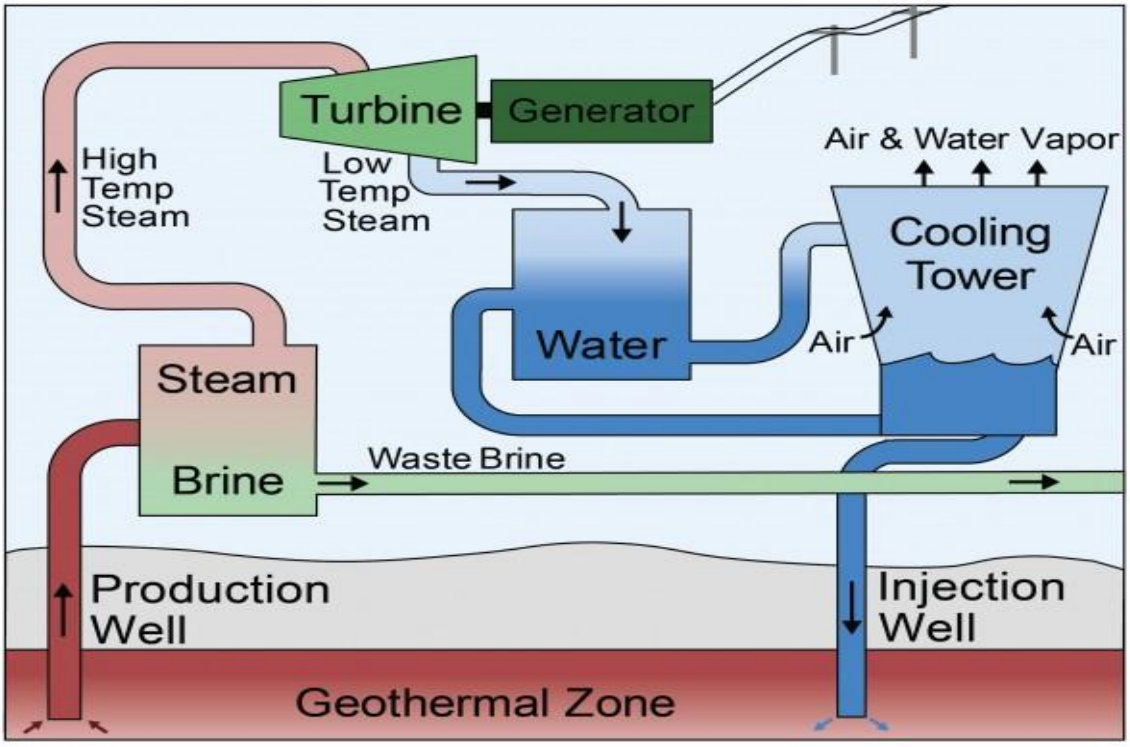
محطة الطاقة الحرارية الأرضية من الطبقات الجيولوجية الساخنة – كاليفورنيا – الولايات المتحدة

استخراج الطاقة الحرارية من قاع البحر :

محطات أنتاج الطاقة الحرارية الأرضية داخل البحر :

إن درجة مياه البحر السطحية تكون مرتفعة نسبياً بسبب أشعة الشمس، بينما تكون الحرارة في أعماقه منخفضة، هذا الفارق في الحرارة يمكن الاستفادة منه لتوليد الطاقة الكهربائية. لقد استفاد من هذه الظاهرة المهندس الفرنسي George Claude حيث صنع وحدة لتوليد الكهرباء استطاعتها 22 كيلو واط وذلك عام 1929 بالاستفادة من فارق درجات الحرارة بين سطح البحر وبين عمق محدد. ويخبرنا الباحثون أن هذه التقنية لا تزال مكلفة جداً، ولذلك هي غير مستخدمة اليوم بشكل عملي. إلا أن الأبحاث مستمرة في هذا المجال ويمكن إحراز تقدم في السنوات القادمة.

مخطط استخراج الطاقة الحرارية من البحر - شكل (98) :



شكل (98)

مخطط استخراج الطاقة الحرارية من البحر

أنشاء بئر سحب المياه الجوفية لتوليد الكهرباء داخل البحر - البئر المنتج Production Well :

شكل (99) :

شكل (99)

عمل بئر سحب للمياه الجوفية لتوليد الكهرباء داخل البحر

يمكن لهذه المحطات أن تتفادى بعض المشاكل والتكاليف عند بنائها بالقرب من الساحل في مناطق ذات مياه بعمق يتراوح

بين 10 إلى 30 متر. هذه المحطات تستخدم أنابيب سحب وطرح أقصر من المطلوب مما يقلل الطول والتكلفة وأيضاً يقلل من أخطار الأمواج ولكن في هذه الحالة سوف تحتاج المحطة بحد ذاتها إلى حماية من الأمواج والرطوبة والصدأ وأيضاً إلى نقل مخرجات هذه المحطات " من مياه محلاة " إلى الشاطئ في حالة الرغبة من الاستفادة منها.

1 – المحطة المنشأة على رفوف :

من أجل تفادي مناطق الأمواج العالية والحصول الأسهل على المياه الباردة يمكن أن تبنى هذه المحطات على جزر صناعية موضوعة في مياه ذات عمق 100 متر تقريباً. حيث يمكن بناء مثل هذه الرفوف في مرافئ السفن القريبة ومن ثم يتم جرها إلى المكان المطلوب وتثبيتها بقاع البحر. هذا النوع من المحطات يستخدم مصافي البترول البحرية كقاعدة له. لكن المشاكل التي تواجه هذا النوع من التصاميم والذي يجعلها أقل رغبةً من التصاميم الموضوعة على اليابسة وأكثر كلفة منها هي التركيب الأعقد الذي يجب تصميمه من أجل تحمل ظروف المياه المفتوحة بالاضافة إلى صعوبة نقل المنتجات من هذه المحطات إلى اليابسة بالاضافة إلى البنية التحتية الأعقد و أيضاً لا بد من تصميمها حتى تتحمل التيارات البحرية والأمواج القوية. علاوةً على ذلك فإن هذه الرفوف تحتاج إلى دعمات قوية كي تبقى ثابتة من أجل صحة عمل هذه المحطات أضف إلى ذلك أن نقل الطاقة سيصبح أكثر تكلفة بسبب الكبلات الطويلة التي يجب تمديدها من قاع البحر لتصل إلى اليابسة. لهذه الأسباب فإن هذا النوع من التصاميم هو أقل رغبةً من التصميم السابق في وقتنا الحالي وفي وضعه الحالي - شكل (100) .

شكل (100)

احدى المحطات المبينة في اليابان

2 - التصميم الطافي :

هذا النوع من التصاميم مصمم كي يمكنه العمل بعيداً عن اليابسة ومع أنه مفضل للاستخدام في استطاعات التوليد الكبيرة فإن هذا التصميم يواجه العديد من الصعوبات.حيث أنه أكثر تعقيداً من ناحية التثبيت في المياه العميقة جداً وبالتالي يواجه صعوبة في نقل الطاقة الكهربائية إلى الشاطئ والجزء من الكبلات القريب من المنصة هو أكثر عرضة للأخطار عند العواصف، أما الجزء

العميق من الكبلات يواجه صعوبات في الصيانة و الجزء المتوسط من الكبلات والموجود بين المنصة وقاع البحر يجب أن يبنى حتى أن يتحمل قوى الفتل والشد المطبقة عليه.

وكما في التصاميم المحمولة فأن الألواح الطافية تحتاج إلى منصة ثابتة من أجل عمل هذه المحطة. و العواصف القوية من الممكن أن تدمر أنابيب المياه الباردة وأن تعيق التدفق من خلال أنابيب المياه الساخنة. من أجل تجنب هذه المشكلات يمكن استخدام أنابيب مرنة من البولي اتيلين والتي يمكن أن تثبت إلى قاع المنصة ويمكن أيضاً عند الحاجة فصل الأنابيب عن المنصة عند العواصف من أجل حمايتها من الضرر وكخيار بديل من تركيب أنابيب خاصة من أجل سحب المياه الساخنة يمكن أن يتم سحب هذه المياه مباشرة إلى المنصة عن طريق وضع خزان خاص ولكن يجب في هذه الحالة تحديد موضع الخزان بحذر كي لا تحدث إعاقة أثناء عملية ملئ الخزان العلوي أثناء العواصف وأثناء اهتزاز المنصة عندها.

في حال الرغبة في وصل المحطة إلى كبلات لنقل القدرة يجب أن تكون هذه المحطة ثابتة بشكل مطلق والتثبيت بواسطة المراسي هو شكل مقبول ولكن التقنيات المستخدمة في هذا المجال حالياً لا يمكنها أن تصل إلى عمق أكثر من 2000 متر علماً أن الأعماق الأقل من ذلك تزيد من تكلفة هذه المحطات وقد تجعل المنفعة الاقتصادية لها معدومة – شكل (101).

شكل (101)

محطة من النوع الطافي

بناءً على الدورة المستخدمة :

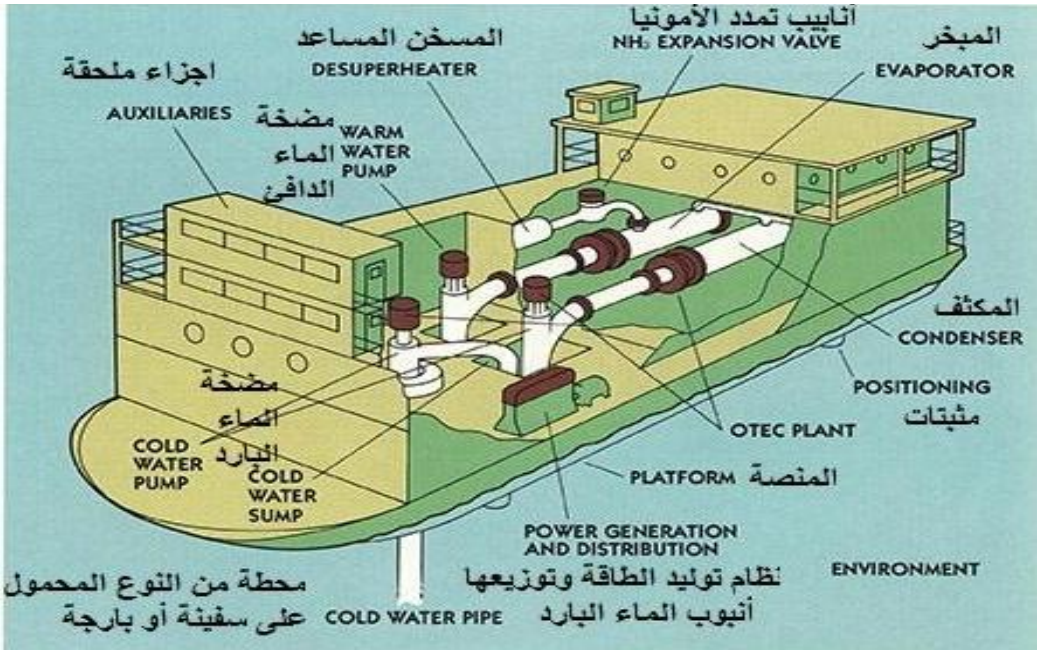
إن ماء البحر البارد هو جزء لا يتجزء من كل نوع من الأنواع السابقة. من أجل العمل فإن الماء البارد يجب أن يسحب إلى السطح ويمكن تحقيق ذلك عن طريق الضخ المباشر أو تحلية المياه القريبة من السطح مما يقلل من كثافتها مما يدفعها إلى السطح عبر الأنابيب. أما الطريقة البديلة فهي عوضاً عن ضخ الماء البارد إلى السطح من أجل تكثيف وسيط التشغيل المتبخر يمكن ضخ وسيط التشغيل المتبخر إلى الأعماق من أجل أن يتكاثف بواسطة الماء البارد مما يقلل من العديد من المشاكل البيئية والتقنية ويخفض التكاليف المادية.

المحطات التي تعتمد على الدورة المغلقة :

الدورة المغلقة تستخدم سوائل بدجة حرارة غليان منخفضة مثل الأمونيا وذلك من أجل تدوير عنفة لتوليد الكهرباء. تضخ مياه البحر السطحية الدافئة من خلال مبادل حراري حيث يتم تبخير الوسيط ويقوم البخار المتمدد بتدوير العنفة وبعدها يضخ ماء البحر العميق البارد إلى مبادل حراري أخر من أجل تكثيف البخار مرة أخرى وتحويله إلى سائل ومن ثم تعاد الدورة من جديد.

مخطط مجسم لتجهيزات أحدي المحطات العائمة بتقنية OTEC :

شكل (102) :

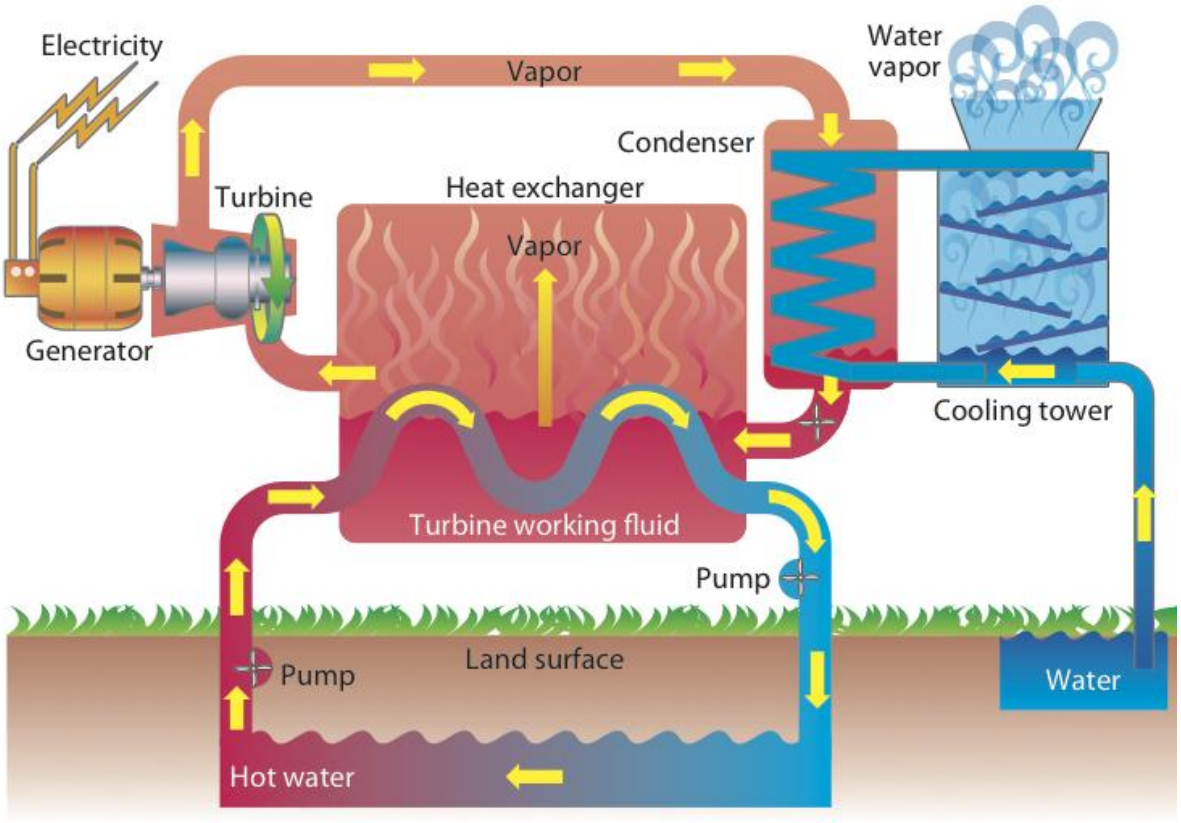


شكل (102)

مخطط مجسم لمحطة بتقنية OTEC الطافية

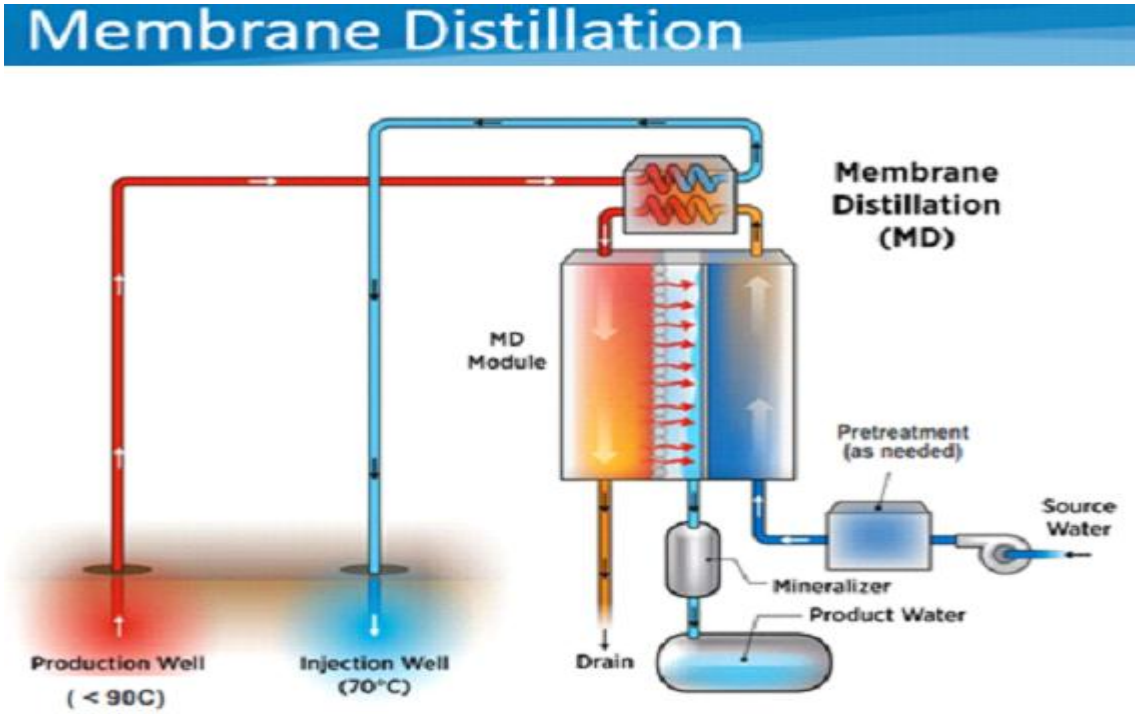
شكل (102)

محطة توليد الطاقة ثابتة داخل البحر



شكل (102)

محطة تحلية مياه من الحرارة الأرضية **Geothermal Desalination Plant**



شكل (102)

أنتاج المياه المحلاة من المحطات العاملة بالحرارة الأرضية باستخدام الأغشية

الباب التاسع

تحلية مياه البحار باستخدام الطاقة النووية
Desalination by Atomic Energy

تنتج المفاعلات الذرية الكهرباء كمنتج أساسي . تستعمل الكهرباء المنتجة من المحطات النووية في أمداد محطات تحلية المياه بالطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيلها . لتحلية المياه بالطاقة النووية ، يتم استخدام طريقتان حراريتان مع المحطة النووية :

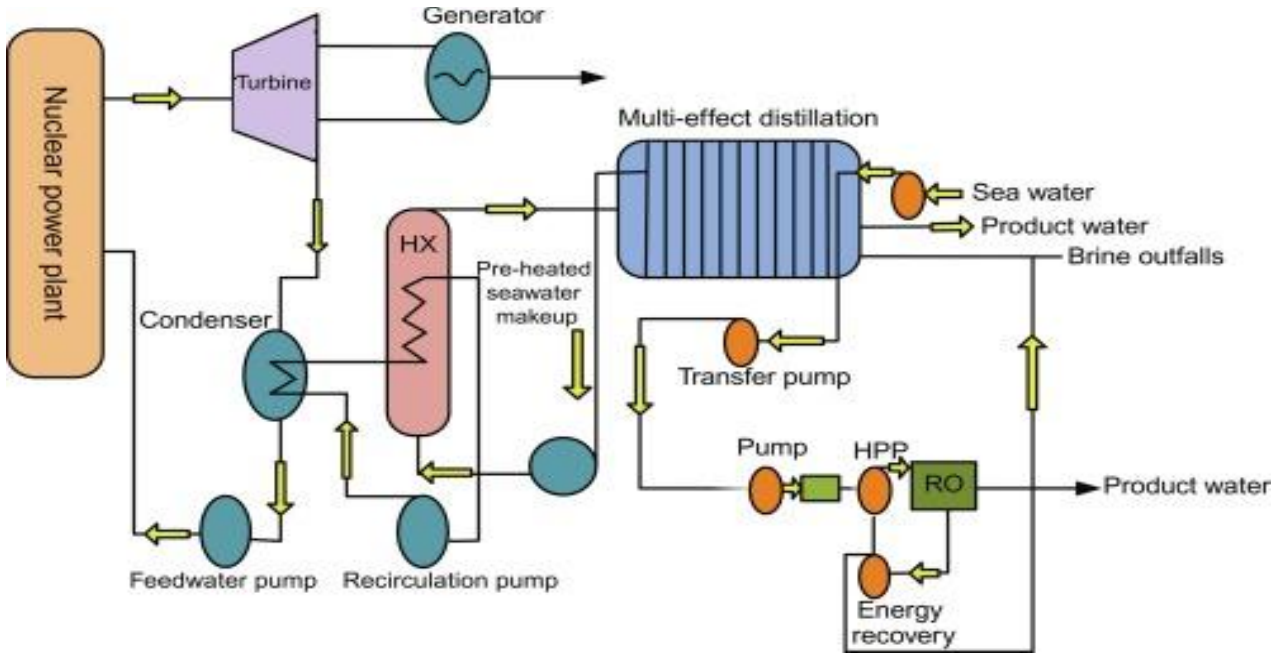
1 - تحلية المياه بطريقة التقطير الحراري الومضى متعدد المراحل (MSF) Multi Stage Flash Distillation .

2 - التحلية بنظام التبخير / التقطير متعدد التأثير (MED) Multiple-Effect Evaporation / Distillation ، وكما نعلم ، فعملية التحلية تحتاج الي طاقة (حرارية أو كهربائية) و التي يمكن أن توفرهما المحطة النووية .

أن تكلفة محطة إنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه باستخدام المفاعلات النووية تصل إلى 7 مليارات دولار . أن الزمن المتوسط لإنشاء محطة الطاقة باستخدام المفاعلات النووية للأغراض السلمية تتراوح بين 8 إلى 15 عاما.

أن الطلب كبير على الطاقة الكهربائية والمياه المحلاة خلال الفترة الحالية والمتوقع أن تتزايد معدلاته مستقبلاً، وهذا ما يجعل من الضرورة البدء سريعاً في إنشاء محطات نووية لتوليد الطاقة والمياه وتساعد المحطات النووية على توفير الطاقة الكهربائية والمياه المحلاة بصفة مستمرة ودون انقطاع بأسعار مناسبة.

مخطط محطة تحلية المياه بالطاقة النووية – شكل (103) .



شكل (103)

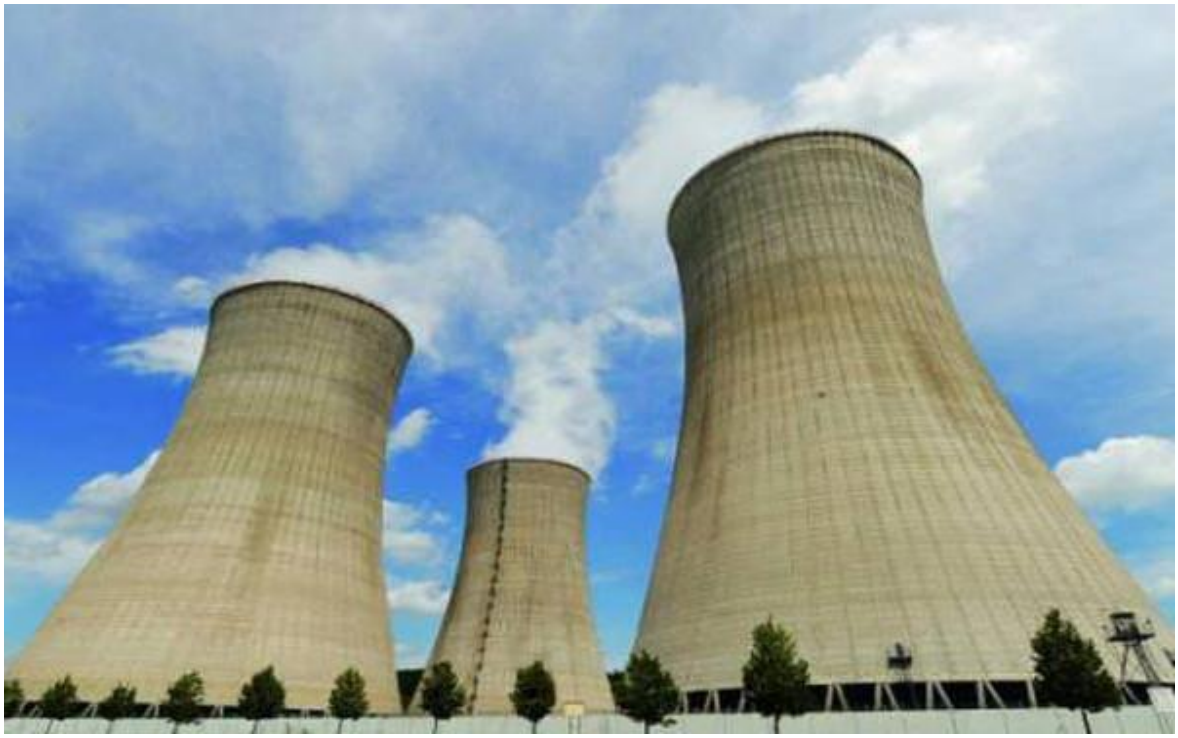
مخطط محطة تحلية المياه بالطاقة النووية Nuclear Energy Powered Seawater Desalination

محطات التوليد المستخدمة للطاقة النووية تنخفض فيها تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية والمياه المحلاة بنسب تتراوح بين 60 الى 70 % مقارنة بالمحطات التقليدية ، كما أن عمر المحطات النووية يصل إلى 60عاما، بينما لا يزيد العمر الافتراضي للمحطة التقليدية عن 30 سنة. أن بناء محطة مفاعلات نووية للأغراض السلمية يستلزم وجود مكان مناسب لبنائها بشروط

منها ثبات المنطقة من الزلازل، مقاومة الحوادث مثل سقوط طائرة وتكون الإحصائيات الجوية جيدة، وعدم وجود فيضانات، ومناسبة لمداخل ومخارج المياه، وسهولة نقل البنية الأساسية، وإمكانية الربط مع الشبكة الكهربائية.

محطة الضبعة النووية – جمهورية مصر العربية :

تزمع جمهورية مصر العربية أنشاء محطات نووية في منطقة الضبعة علي شاطىء البحر المتوسط (4 مفاعلات × 1200 ميجا وات) لتوليد الكهرباء بالأضافة الي محطة تحلية مياه البحر سيكون مفيدا جدا لمصر ، يكون سعر الكليووات الواحد من الكهرباء المولدة من الطاقة النووية بهامش الربح يتراوح بين 65 و70 قرشاً، فى حين أن سعره فى المصادر الأخرى أكثر كثيراً، سواء الطاقة الشمسية التى تبلغ 105 قروش أو طاقة الرياح بـ87 قرشاً، والطاقة التقليدية بين 75 و80 قرشاً. أن البرنامج النووى، قدرت تكلفة تحلية المتر المكعب من المياه فى حدود 0,6 دولار، بما يُعادل 2,5 جنيه، إلا أنها تقدر حالياً بنحو 7 جنيهات.
كما أن دخول مفاعل "الضبعة" حيز التنفيذ يتيح تحلية 170 ألف متر مكعب من مياه البحر المتوسط يوميًا – شكل (104) .

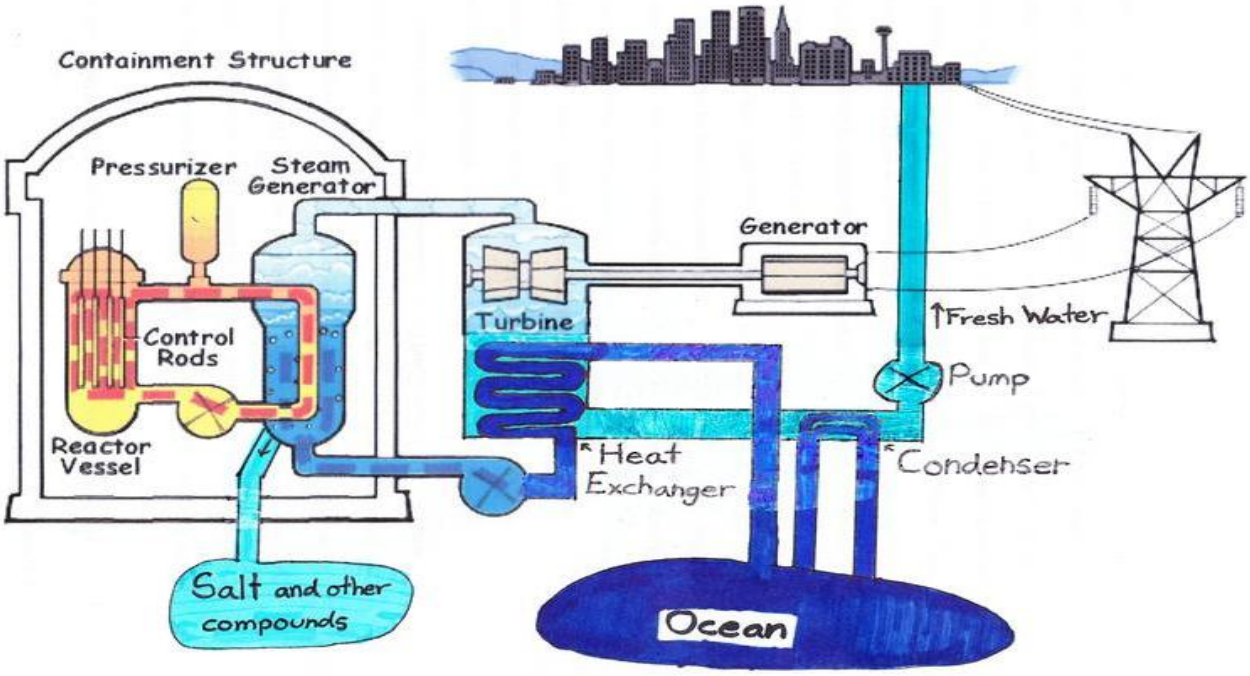


شكل (104)
محطة الضبعة للطاقة النووية – مصر

شكل (104)

أستخدام الطاقة النووية في ازالة ملوحة مياه البحر، ومساهمتها الكبرى فى حل أزمة المياة عالميا

مخطط محطة تحلية المياه بالطاقة النووية – شكل (105) .



مخطط تحلية المياه بالطاقة النووية

شكل (105)

مخطط تحلية المياه بالطاقة النووية

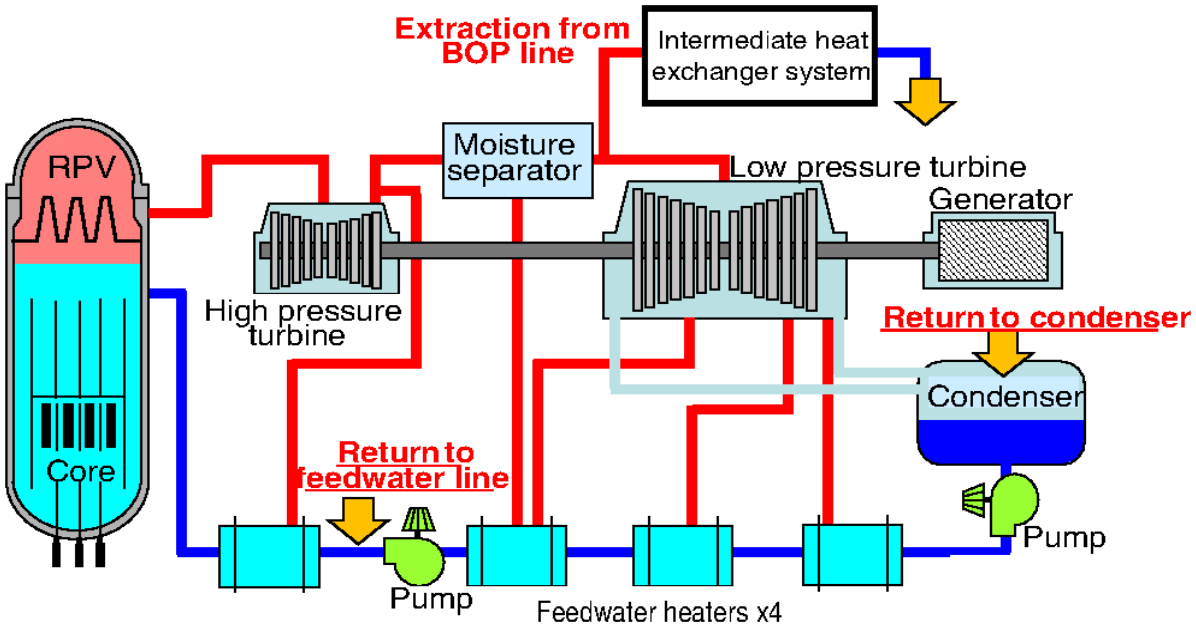
نماذج محطات تحلية بالطاقة النووية :

1 - أحد المحطات النووية في كراتشي العاملة في مجال تحلية المياه - شكل (106) .

شكل (106)

محطة نووية بالأضافة الي تحلية المياه – كراتشي – باكستان Nuclar Desalination Plant- Karachi

2 - الطاقة النووية لتحلية المياه المالحة تستغل الحرارة الزائدة الناتجة من المفاعل النووي لتبخير مياه البحر و نقلة الي محطة التحلية ثم تكثيف البخار الي مياه محلاة . شكل (107) يوضح أحد المحطات النووية لتحلية المياه في مدينة شيفتشنكو - روسيا.



شكل (107)

محطة تحلية مياه تعمل بالطاقة النووية تنتج 120000 م3 مياه محلاه / يوم – مدينة شيفتشنكو - روسيا

إنتاج مياه الشرب من البحر باستخدام المفاعلات النووية كمصدر للطاقة يسمى تحلية المياه. في هذه العملية ، يمكن استخدام الطاقة الحرارية أو الطاقة الكهربائية أو كليهما وقد يتم تخصيص المنشأة بأكملها لإنتاج مياه الشرب وكذلك لتوليد الكهرباء.

- **الطاقة النووية تستخدم بالفعل لتحلية المياه ، ولديها إمكانية لاستخدام أكبر بكثير.**
- **تعد التحلية النووية بشكل عام تنافسية للغاية من حيث التكلفة باستخدام الوقود الأحفوري. "المفاعلات النووية فقط هي القادرة على إيصال كميات وفيرة من الطاقة المطلوبة لمشاريع تحلية المياه واسعة النطاق" في المستقبل**
- **بالإضافة إلى تحلية المياه المالحة أو مياه البحر ، تتم معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية بشكل متزايد.**

تقنيات تحلية المياه :

يمكن تصنيف نوعين رئيسيين من تقنيات تحلية المياه المستخدمة حول العالم على نطاق واسع . العمليات الحرارية الرئيسية هي تقطير المياه الومضي متعدد المراحل (MSF) ، التقطير متعدد التأثير (MED) .
المفاعلات النووية الصغيرة والمتوسطة الحجم مناسبة لتحلية المياه ، وغالبًا مع التوليد المشترك للكهرباء باستخدام بخار منخفض الضغط من التوربين وتغذية مياه البحر الساخنة من نظام التبريد النهائي. تم تحديد الفرص الرئيسية للمحطات النووية على أنها تتراوح بين 80 - 100.000 متر مكعب في اليوم و 200-500.000 متر مكعب في اليوم . تفيد التقارير أن حاملات الطائرات التي تعمل بالطاقة النووية التابعة للبحرية الأمريكية تقوم بتحلية 1500 م 3 / يوم لكل منها للاستخدام على متن الطائرة. في قمة المياه العالمية في أبريل 2010 في باريس ، تم دعم إمكانية إقامة محطات تحلية المياه مع محطات الطاقة النووية من قبل كبار خبراء المياه الدوليين. يعتمد النشر الواسع النطاق لتحلية المياه على أساس تجاري في المقام الأول على العوامل الاقتصادية. تبلغ التكاليف الإرشادية 70-90 سنتًا أمريكيًا للمتر المكعب ، وهي نفس تكلفة النباتات التي تعمل بالوقود الأحفوري في نفس المناطق.
تخطط هيئة توليد الطاقة النووية في مصر لمحطة طاقة نووية AES-2006 مؤلفة من وحدتين مع منشأة لتحلية المياه في الضبعة ، على ساحل البحر الأبيض المتوسط ، ومع ذلك ، مع تحلية مياه البحر (MED + RO) التي تصل إلى 432 ميجاوات من الدائرة الثانوية ، سيكون إجماليها 1050 ميجاوات ، 927 ميجاوات صافي وينتج كل منها 170.000 متر مكعب / اليوم بتكلفة أقل من 1 دولار / متر مكعب.

أنواع تحلية المياه بالطاقة النووية – جدول (9) :

أنواع تحلية المياه بالطاقة النووية

جدول (9)

Various types of nuclear desalination systems

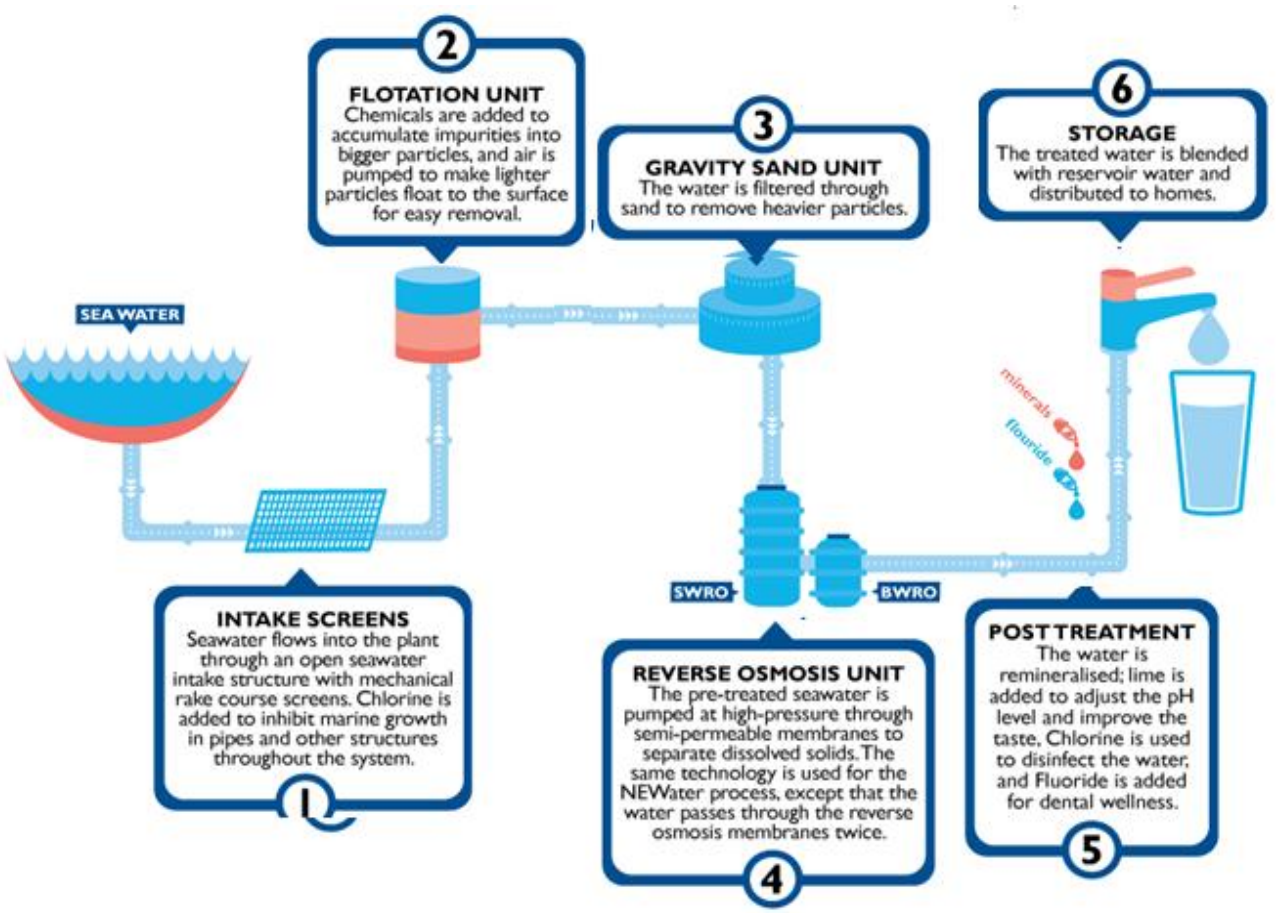
Reactor type	Country	Desalination process	Status
LMFR	Kazakhstan	MED, MSF	Decommissioned (1999) after 26 reactor-years
PWRs	Japan	MED, MSF, RO	Operating more than 150 reactor-years
	Korea, Argentina	MED, RO	Design stage
	Russia	MED, RO	Design stage
PHWR	India	MSF, RO	Operating since (2002+2010)
	Canada	RO	Design stage
	Pakistan	MED	Operating since (2010)
BWR	Japan	MSF	Installed
HTGR	South Africa	MED, MSF, RO	Design stage
NHR	China	MED	Design stage

IAEA

المعالجة اللاحقة لعمليات تحليـــة مياه البحار
Post Treatment for Seawater Desalination

المعالجة اللاحقة Post-Treatment :

يلزم أجراء المعالجة اللاحقة لأي مياه محلاة بأي تكنلوجيا .تعالج المياه المحلاة لتقليل صلابتها وقلويتها. في هذه المرحلة تصحيح للجميع المعلمات لتكون قادرة على تكييفها مع الاستهلاك البشري أو الري أو الاستخدام الصناعي .اعتمادًا على كيفية استخدام الماء . ملخص مراحل التحلية - شكل (108)



شكل (108)

ملخص مراحل التحلية

لماذا المياه المحلاة المنزوعة المعادن غير صالحة للاستهلاك ؟

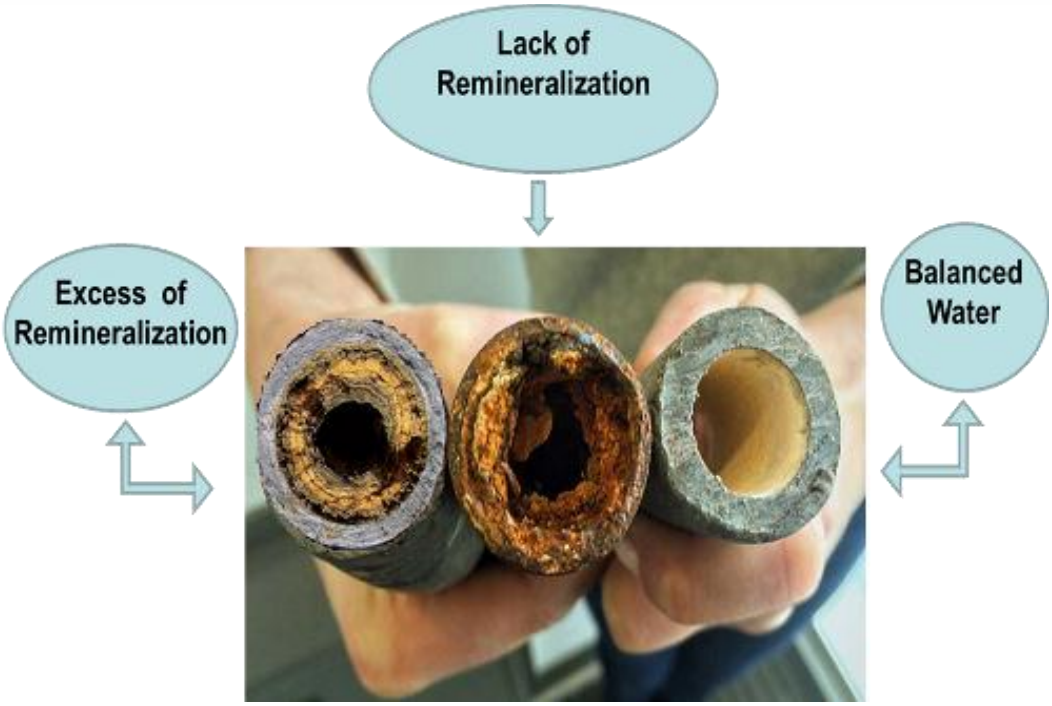
هناك ثلاثة أسباب واضحة :

- المياه المنزوعة المعادن شديدة العدوانية ولا يمكن توزيعها من خلال الأنابيب وخزانات التخزين لأن لها إمكانية تآكل عالية لأن المياه القوية سوف تتسرب من المعادن والمواد الأخرى من الأنابيب ومواد السباكة الأخرى – شكل (109) .

• المياه المنزوعة المعادن لها طعم رديء وخصائص تبريد العطش.Thirst-Quenching Characteristics بسبب نقص المعادن.

• ثبت أن المياه المنزوعة المعادن لها آثار صحية ضارة على الإنسان ، بسبب نقص مكونات معينة. إزالة المعادن من الماء هو إزالة الأملاح غير العضوية بشكل أساسي عن طريق التبادل الأيوني Ion Exchange Process . في هذه العملية ، يقوم راتنج حمض الكاتيون القوي في شكل الهيدروجين بتحويل الأملاح الذائبة إلى الأحماض المقابلة لها ، ويزيل راتنج الأنيون القوي في شكل الهيدروكسيد هذه الأحماض حيث أن النقص الغذائي الذي يسبب مخاطر نقص تروية القلب وأمراض الأوعية الدموية الدماغية (منظمة الصحة العالمية) .

توصي منظمة الصحة العالمية 10 ملغم / لتر من المغنيسيوم و 30 ملغم / لتر من الكالسيوم لمياه الشرب.



شكل (109)

تأثير تمعدن المياه

أعدة تمعدن المياه المحلاة Remineralize Desalinated Water

طرق أعادة التمعدن للمياه المحلاة :

أولا : أضافة مواد كيماوية للمياه المحلاة :

هناك أربعة طرق تستعمل لأعادة تمعدن المياه المحلاة Remineralize Desalinated Water –جدول (10) .

جدول (10)

طرق أعادة تمعدن المياه المحلاة

Four Solutions are Widely Used to Remineralize Desalinated Water

Remin. Process	Description	Minerals

1	Blend With 1% Clarified Seawater + pH Neutralization	15 Mg/L Mg + 5 Mg/L Ca + 125 Mg/L Na + 220 Mg/L Cl + 25mg/L SO4 pH 7-7.5
2	CO_2 Addition + Calcite Limestone ($Caco_3$, Mgo) Percolation + Na_2CO_3	80 Mg/L $Caco_3$ pH 7-7.5
3	CO_2 Addition + Dolomite Limestone ($Caco_3$, $Mgco_3$) Percolation + Na_2CO_3	80 Mg/L Caco3 + Mgco3 pH 7-7.5
4	Addition of $Cacl_2$ + $Nahco_3$	100 Mg/L Caco3 100 Mg/L Na + 50 Mg/L Cl pH 7-7.5

Water Quality for Drinking and Irrigation Water

Remin. Process	TDS After 2-Pass SWRO (Boron Removal Process) for Drinking Water	EC After SWRO +IX (Boron Removal Process) for Irrigation Water	SAR After SWRO +IX (Boron Removal Process) for Irrigation Water
1	350-400 mg/L	0.8-0.9	8
2	50-100 mg/L	0.3-0.4	2.5
3	50-100 mg/L	0.3-0.4	2.5
4	250-300 mg/L	0.6-0.8	6.5

مثال من الطبيعة :

المعالجة اللاحقة ـ محطة تحلية مدينة تامبا – فلوريدا :

بعد عملية RO ، يتم إضافة المواد الكيميائية (الجير) لضبط الرقم الهيدروجيني pH ، يتم نشر محلول حمض الكربونيك Carbonic Acid داخل الغرفة - شكل (110) . يتم تخزين ثاني أكسيد الكربون المستخدم لصنع محلول في خزان آخر في الموقع . إضافة مواد كيميائية لضبط جودة عبرمخارج المواد الكيميائية Chemical Diffusers مثبتة في غرفة الجير قبل

التطهير والتوزيع ، إذا لزم الأمر . كما تفتقر المياه المحلاة الي المعادن المفيدة للصحة ، مما يعني أنها بحاجة إلى مزيد من المعالجة لإضافة هذه المعادن فيها وهي خالية تمامًا تقريبًا من أي أملاح أو كائنات دقيقة مذابة.

يتدفق المنتج النهائي من المياه إلى خزان تخزين بحجم 20.000 متر مكعب ويتم ضخه للمستهلك . تحتاج المياه المحلاه إلى مزيد من المعالجة قبل التوزيع والاستخدام ، مما يتطلب بناء عدد من أوعية تخزين المواد الكيميائية.

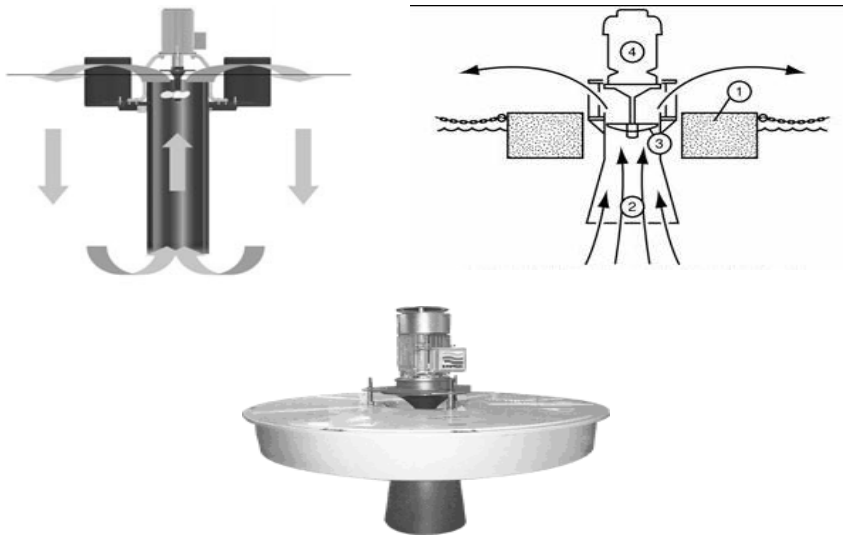
تم بناء خزان بكميات كبيرة تبلغ 22.5 متر مكعب وخزان آخر بحجم 4.5 متر مكعب لتخزين هيبوكلوريت الصوديوم لكلورة الماء في محطة (تامبا) . يوجد هيدروكسيد الكالسيوم المستخدم لإدخال العسر Hardness ، في صومعة سعة 50 طن ويضاف إلى ماء المنتج علي شكل روبة Slurry ، في غرفتي تلامس الجير Lime Contact Chambers المتدفق من أسفل الي أعلي Up Flow Lime بارتفاع حوالي 12 متر.

يتم إضافة مادة الكلور للتعقيم بنسبة تتراوح بين 0,1 و 0,5 جزء بالمليون إلى المياه المتجه إلى التخزين أو التوزيع عبر الشبكات و ذلك تحصينا للمياه من البكتيريا و الكائنات الحية التي قد تصلها خلال فترات التخزين والضخ عبر الشبكة .

وتهدف المرحلة النهائية هذه للمحافظة على خصائص الماء واعداده للتوزيع ، وربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات مثل سلفايد الهايدروجين وتعديل درجة القلوية حسب التصميم . تتم عملية الضبط الكيميائية للرقم الهيدروجيني للمياه pH Adjustment برفعها من حوالي الرقم 5 الى 7,5 .

شكل (110)

مخرج المواد الكيماوية في المياه النهائية عن طريق النفاثات Chemical Diffusers لضبط العسر و الرقم الأيدروجيني pH

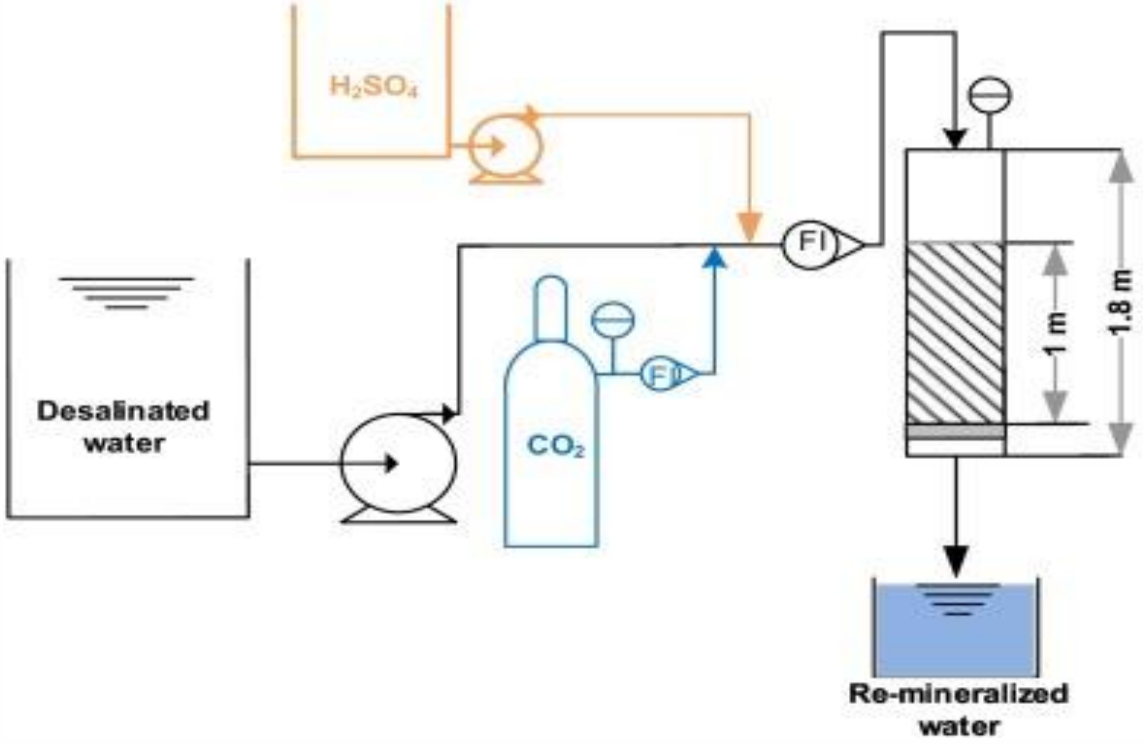


شكل (110)

تفاصيل مخرج المواد الكيماوية في المياه النهائية عن طريق النفاثات Diffusers

ثانيا : استخدام ثاني أكسيد الكربون وحامض الكبريتيك :

مخطط إعادة تمعدن المياه المحلاة باستخدام ثاني أكسيد الكربون وحامض الكبريتيك – شكل (110) ، شكل (111) .



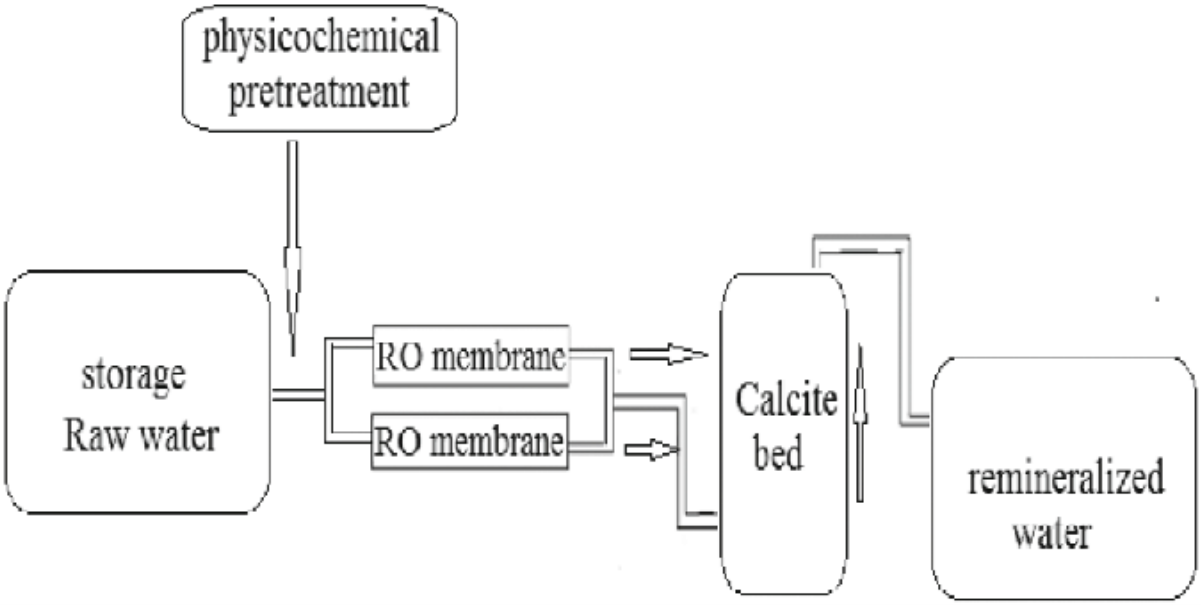
شكل (110)

مخطط إعادة تمعدن المياه المحلاة باستخدام ثاني أكسيد الكربون وحامض الكبريتيك

Re-Mineralization of Desalinated Water Using a Mixture of CO_2 and H_2SO_4

ثالثا : استخدام مادة الكالسيت Calcite bed :

شكل (111) :

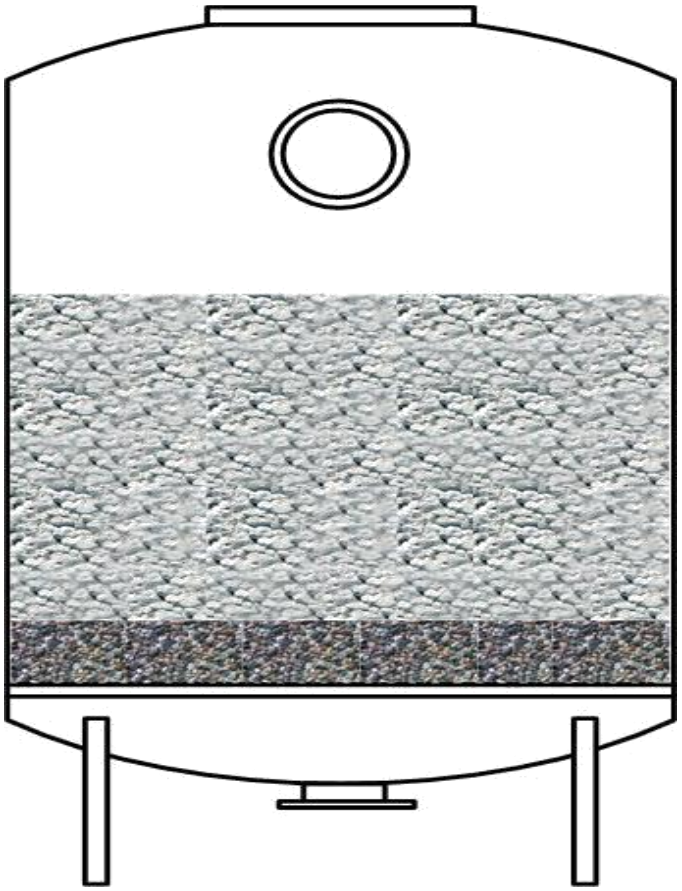


شكل (111)

مخطط إعادة تمعدن المياه المحلاة باستخدام مادة الكالسيت Calcite Bed

رابعا : إعادة التمعدن مرشحات المياه بملامسات الحجر الجيري Remineralisation Filters Limestone Contactors

شكل (112) :



شكل (112)

أعادة تمعدن المياه

تستخدم ملامسات الحجر الجيري لتحييد و ضبط الرقم الهيدروجيني ولإضافة الكالسيوم والبيكربونات إلى المياه الحمضية مثل المياه الجوفية ومياه الأمطار أو التناضح العكسي.

إذا كان الماء لا يحتوي على أي CO2 عدواني ، فيجب حقن غاز ثاني أكسيد الكربون قبل مدخل المرشح.

Filtration velocity	8-30 m3/h.m2	
Diameter	50 cm to 1m	1 to 3m
Filtration area	0,2 to 0,8 m2	0,8 to 7 m2
Flowrates	10L/h to 25 m3/h	6 to 200 m3/h
Pressure ratings	4 to10 bar	
Vessel Materials	Epoxy-coated steel	
	Polyester composite	
	Stainless steel (on request)	
Bed depth	1 meter min.	
Filtration media	Calcite (CaCO3 99%)	
Top manhole	2 1/2 to 6"	DN 400
Accessories	5-ball or butterfly valves	5-butterfly valves
Options	Manometers, degaser, flowmeter	
Control	Automatic or manual backwash, on timer and.or differential pressure	

تختلف تقنيات ما بعد المعالجة عند التطبيق النهائي – جدول (11) :

جدول (11)

تقنيات ما بعد المعالجة عند التطبيق النهائي Post Treatment Technologies Vary Upon Final Application

Process	Drinking water	Irrigation water	Process Water
Sodium chloride	< 450 mg/L	SAR optimized	minimized
Calcium, Magnesium	Hardness 6-10° D		minimized
pH	6,5 – 8,5		
Boron	-	Crop department	-
Disinfection	required	Not required	

Lenntech

مياه الشرب Drinking Water :

يمكن تقليل كلوريد الصوديوم والبورون عن طريق إضافة الممر الثاني 2nd-Pass Ro ، مع أي من أغشية المياه قليلة الملوحة Brackish Water Membranes أو أغشية مياه البحر .Seawater Membranes . عندما يمر الماء من خلال الممر الثاني 2nd-Pass ، يكون تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم المتبقي قريب من الصفر. لذلك يجب إعادة تمعدن مياه التمرير الثاني لتحقيق العسر Hardness المتبقي 100 مجم / لتر $Caco_3$.

يتطابق هذا المحلول مع متطلبات مياه الشرب الجيدة في قيم الصوديوم العالية والكالسيوم العالية.

مياه الري Irrigation Water :

مياه الري أكثر تعقيدًا ، وتعتمد على التوازن بين الصوديوم ،الكالسيوم والمغنيسيوم الذي يضمن التسلل الجيد في التربة. يقاس هذا التوازن بنسبة أدمصاص الصوديوم Sodium Adoprtion Ratio (SAR) والتوصيلية الكهربائية (EC) . يجب أيضًا إزالة البورون ، لأنه يمثل سمًا للنباتات. من أجل الحفاظ على EC بحد أدنى 0.3 dS / cm (~ 200 mg / L TDS) ، وتركيز كاف من الكالسيوم والمغنيسيوم ، يجب تجنب تمرير RO الثاني أو تجاوزه إلى حد كبير. ولذلك فإن الحل المثالي هو استخدام راتنج التبادل الأيوني لإزالة البورون ثم إعادة التمعدن .Remineralize .

المياه المعالجة Process Water :

المياه المعالجة مصطلح عام للغاية يشمل جميع أنواع المياه التي لا تحتاج إلى الامتثال لإرشادات منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب. عادة ما تكون المتطلبات وفقًا لإرشادات الشركات المصنعة للأجهزة التي تستهلك المياه ، مثل المبادل الحراري ، والغلاية ، والمياه المخففة ، وما إلى ذلك. في صناعات التسخين / التبريد ، يجب أن تحتوي مياه المعالجة عادةً على تمعدن منخفض Low Mineralization لتجنب الترسبات في الأنابيب أو تآكل الكلوريد.

ملخص تقنيات ما بعد المعالجة Post Treatment Summary – جدول (12) :

جدول (12)

ملخص تقنيات ما بعد المعالجة Post Treatment Summary

Process	Drinking Water	Irrigation Water	Process Water
Remove Sodium Chloride	2nd Pass Ro (Bw Or Sw)	-	2nd Pass Ro (Bw Or Sw)
Add Calcium, Magnesium	Demineralization		-
Ph +/-7	Naoh / Hcl Injection		
To Remove Boron	Caustic Soda Injection + 2nd Pass RO (BW Or SW)	Specific Boron Removal IX	-
To Disinfection	Required	Not Required	

Lenntech

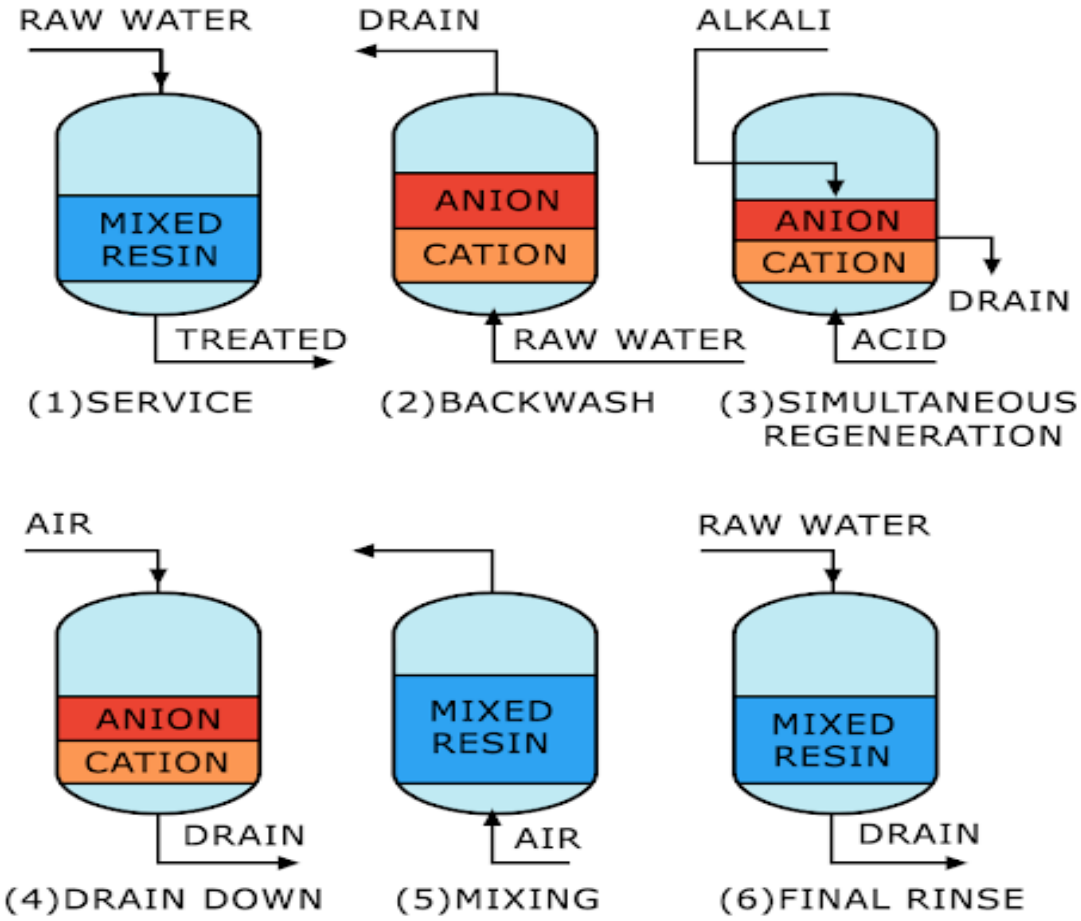
تجديد طبقات الراتنج المختلطة Mixed Bed Regeneration

ما هو الماء منزوع الكربونات؟

تعتبر "إزالة الغازات" و "إزالة الكربون" من أكثر التقنيات فعالية من حيث التكلفة ، لإزالة وإجراء عملية إزالة الغازات في عملية المياه. بغض النظر عما إذا كنت تقوم بإزالة ثاني أكسيد الكربون لرفع درجة الحموضة Ph في الماء عن طريق إزالة غازات ثاني أكسيد الكربون أو إذا كانت إزالة المنغنيز وكبريتيد الهيدروجين مطلوبة .

كيفة إنتاج راتينج معالجة مياه طبقة الراتنج المختلط ؟ How to Generate Mixed Bed Water Treatment Resin?

يحتوي المبادل ذو القاعدة المختلطة على راتينج الكاتيون والأنيون الممزوجين معًا في وعاء واحد ، وعندما يتدفق الماء عبر طبقة الراتينج ، تتكرر عملية التبادل الأيوني عدة مرات. صقل الماء إلى درجة نقاء عالية جدا أثناء. أثناء التجديد الراتنج يتم فصلها إلى كسور الكاتيون وأنيون المنطقة - شكل (113)



Taiyuan Lanlang Technology Industrial Corp.

شكل (113)

خطوات توضح كيفية تجديد راتنج معالجة مياه السرير المختلط How to Regenerate Mixed Bed Water Treatment Resin

Significant Steps in the Regenerate Sequace for Mixed Bed Exchanger

وحدات الأسرّة المختلطة هي طريقة تبادل أيوني تُستخدم عند الحاجة إلى جودة مياه عالية. وهي الخطوة الأخيرة في المعالجة في سلسلة عملية معالجة المياه. يتم وضعها عادةً في اتجاه مجرى المياه إما لوحدات التبادل الأيوني الفردية العاملة بسريرين أو أنظمة التناضح العكسي ، مما يؤدي إلى زيادة معالجة النفايات السائلة الخاصة بأجهزة إزالة المعادن Demineralizers.

بالنسبة للمياه منخفضة المواد الصلبة الذائبة (إجمالي المواد الصلبة الذائبة) ، يمكن استخدامها كوحدات تبادل أيوني قائمة بذاتها. غالبًا ما يشار إليها في هذا التطبيق باسم "أسرة العمل المختلطة". في تطبيقات تلميع المكثفات ، يمكنك استخدام التبادل المعادن مسبقًا ، عندما يكون تشغيل الخدمة طويلًا. ينتج عن تلميع الأسِرة المختلطة مياهًا أقل من 1.0 µ .

الأيوني المختلط لإزالة تلوث المكثفات قبل إعادة الاستخدام.

طبقات الراتنج المختلطة Mixed Beds هي مبادلات أيونية تحتوي على راتنجات الكاتيونات والأنيون المختلطة في وعاء واحد. سرير الراتنج في كل من شكل H-OH. عادة ما يتم تصميم هذه الوحدات بحيث يمكن تشغيلها تلقائيًا ، مع جميع المكونات الداخلية والأدوات والمكونات والضوابط اللازمة. يتم تركيب كل وحدة على قاعدة انزلاقية فولاذية هيكلية صلبة Steel Skid Base.

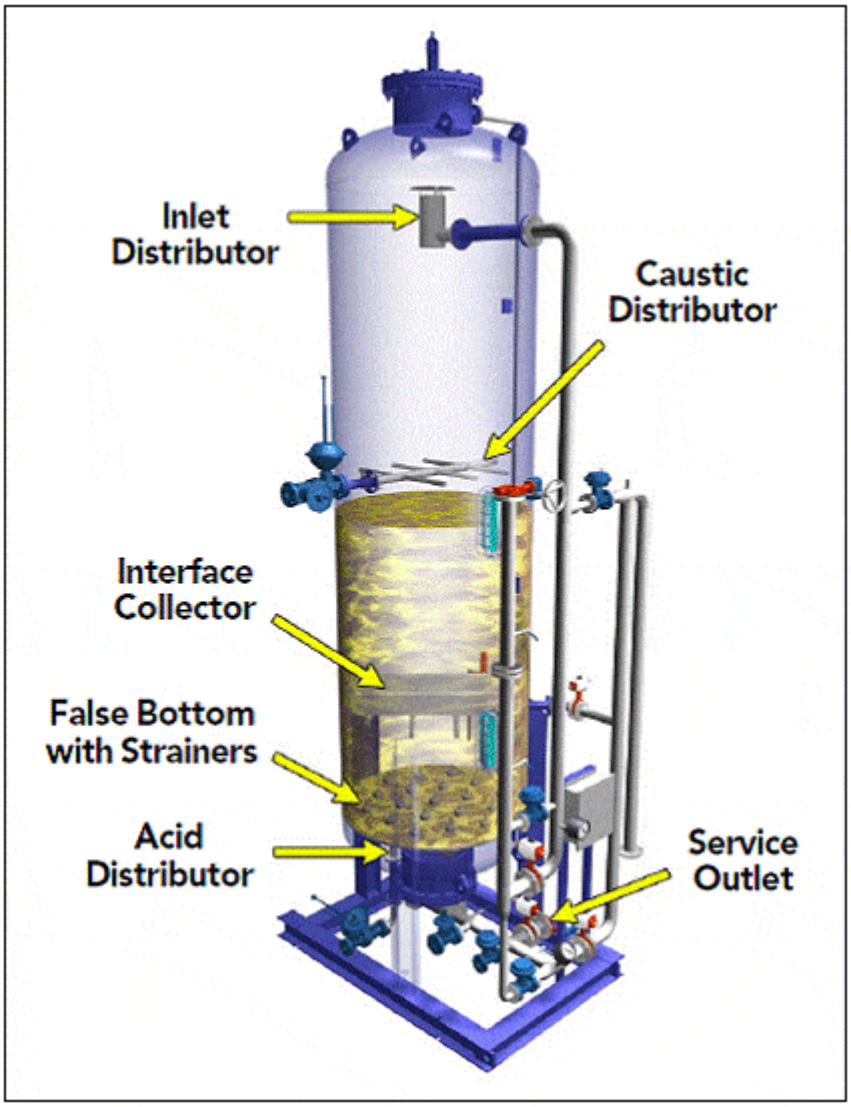
يمكن إزالة آخر آثار TDS والسيليكا على طبقة من الراتنج حيث يتم خلط الكاتيونات الحمضية القوية المتجددة للغاية وراتنجات الأنيون القاعدية القوية. توفر وحدات الأسرة المختلطة جودة مياه معالجة ممتازة ، ولكن من الصعب تجديدها ، حيث يجب أولاً فصل الراتنجات عن طريق الغسيل الخلفي قبل التجديد.

بالإضافة إلى ذلك ، فهي تتطلب كميات كبيرة من المواد الكيميائية ، والظروف الهيدروليكية للتجديد ليست مثالية. لذلك ، تُستخدم طبقات الراتنج المختلطة فقط لمعالجة المياه المنزوعة – شكل (114) .

خطوات مهمة في تسلسل التجديد لمبادل طبقات الراتنج المختلطة :

يتم فصل الراتينج عن طريق الغسيل العكسي باستخدام راتينج أنيون أخف يستقر فوق راتنج الكاتيون المجدد للحمض من خلال الموزعات فوق طبقة الراتينج . تلتقي تيارات التجديد عند الحد الفاصل بين الكاتيون والأنيون وتفريغها من خلال مجمّع موجود في واجهة الراتنج. وبعد إدخال إعادة التوليد وشطف الإزاحة ، يتم استخدام الهواء والماء لخلط الراتنجات. بعد ذلك ، تكون الألواح عبارة عن راتنجات وتكون الوحدة جاهزة للخدمة.

أنتج نظام التدفق المعاكس والطبقة المختلطة مياهًا أكثر نقاءً من أجهزة إزالة الأيونات الكاتيونية التقليدية ولكنها تتطلب معدات أكثر نعومة وتكلفة أولية أعلى. هذا ينطبق بشكل خاص على وحدة الأسرة المختلطةMixed Bed Unit .



MIXED BED UNITS

شكل (114)

وحدة طبقات الراتنج المختلطة

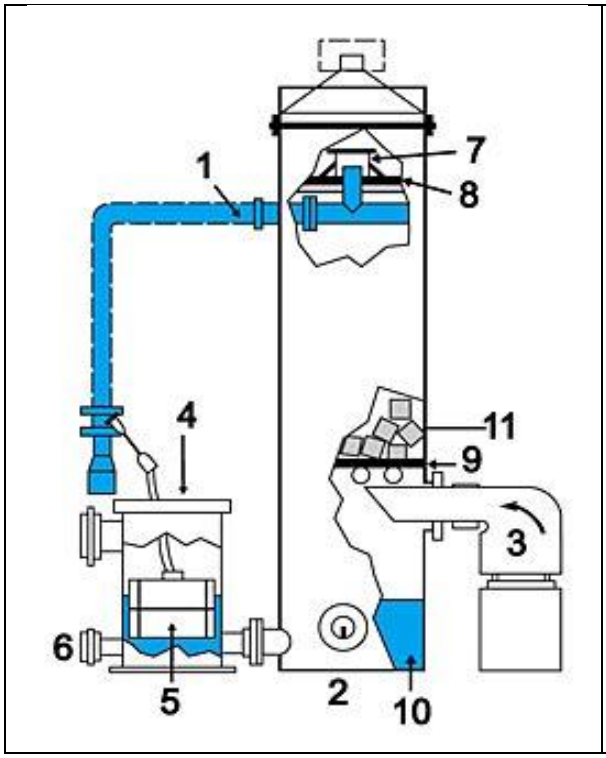
جهاز إزالة الكربونات Decarbonator

إزالة الكربون هي عملية إزالة ثاني أكسيد الكربون من الماء. جهاز إزالة الكربون هو جهاز يستخدم لتقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الماء عن طريق نفخ الهواء blowing عند توزيع ثاني أكسيد الكربون بين المرحلتين السائلة (الماء) والغازية (الهواء).

ماذا يفعل جهاز إزالة الكربونات Decarbonator؟

يوفر مزيل الكربون الوسائل التي يمكنك من خلالها تفتيت atomize الماء ، مما يؤدي إلى زيادة مساحة سطحه بشكل فعال أثناء تمرير الهواء من خلاله. يحتوي هذا الهواء على ضغط منخفض نسبيًا low pressure حسب تركيز الغلاف الجوي بالنسبة لضغط ثاني أكسيد الكربون في الماء.

مبادىء التشغيل جهاز إزالة الكربون Decarbonators :



إمدادات المياه Water Supply

تصريف المياه Water Drainage

جهاز التنفس الصناعي Ventilator

ضبط الخزان Adjusting Tank

العوام Floater .

الصرف للتفريغ Drainage For Emptying

جهاز الانتشار Diffusion Device .

توزيع لوحة Distributing Plate .

لوحة داعمة لسرير الاتصال

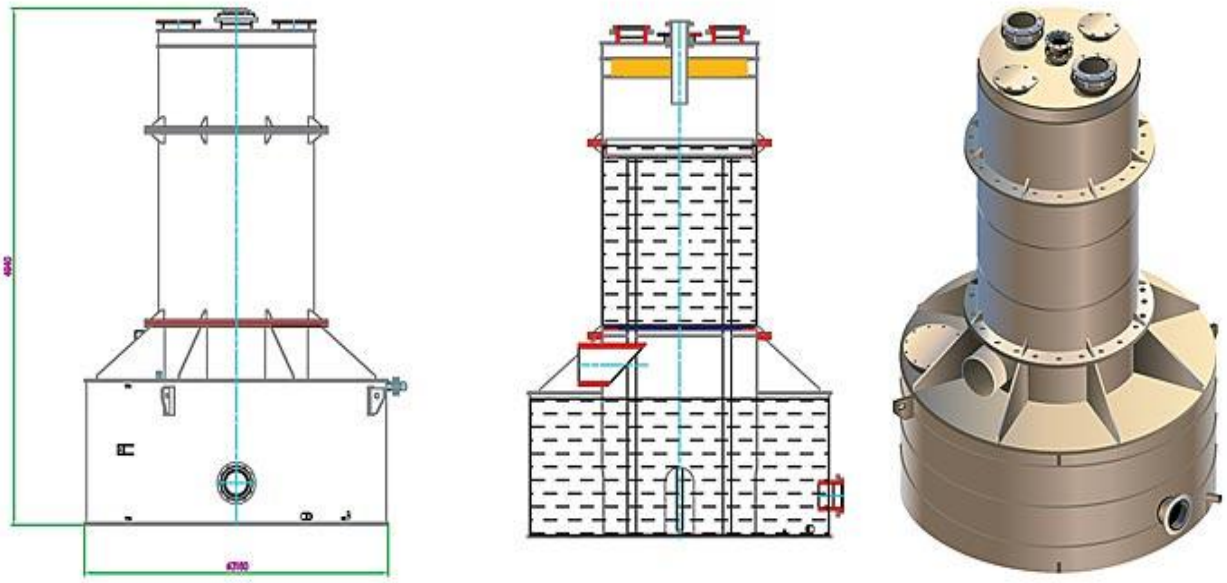
Supporting Plate of the Contact Bed .

احتياطيات المياه Water Reserves .

سرير الاتصال Contact Bed .

يوضح الشكل نموذجًا لمزيلات الكربون بدون مدخل مياه إضافي . مدخل المياه هو خزان يحتوي على احتياطي المياه ؛ يتم تثبيت مزيل الكربون عليه. يعتبر مدخل المياه ضروريًا للتشغيل المستمر للمعدات أثناء بدء التشغيل ، وأي انقطاعات فنية أو عمليات دورية.

يمكن تشغيل جهاز إزالة الكربون إما بمدخل مياه أو بدونه. إذا تم طلب مزيل الكربون بدون مدخل ماء ، فيمكن تركيب مزيل الكربون على خزان من الحديد أو الخرسانة المسلحة بطبقة داخلية – شكل (115) .



شكل (115)

جهاز إزالة الكربون

يتم رش الماء أو توزيعه فوق الفوهة المطلوبة أو غير المنتظمة المصنوعة من البلاستيك أو أي مادة غير قابلة للصدأ (تتكون من حلقات ، حبال ، إلخ) في محطات إزالة الكربون. يتم توفير الهواء بواسطة جهاز التهويةالصناعي أسفل اللوحة المثقبة التي تعمل كدعم للفوهة. يتم تدوير الهواء والماء عن طريق التيار المعاكس.

يتم تخزين المياه المفرغة من الغازات في الخزان الموجود أسفل عمود التلامس. يعتمد تركيز ثاني أكسيد الكربون المتبقي في الطور السائل على درجة الحرارة ومعدل تدفق الماء ونوع وكمية الفوهات وتدفق الهواء. من الممكن الحصول على تركيز ثاني أكسيد الكربون المتبقي الذي يكون قريبًا جدًا من تركيز التوازن (3-5 مجم / لتر) باستخدام أنظمة مناسبة.

تتمتع أجهزة إزالة الكربون بمزايا مثل :

- **جودة عالية لمعالجة المياه ؛**
- **متانة مزيل الكربونات (بناءالبولي بروبلين)**
- **تركيب وتشغيل سهل لإزالة الكربون.**
- **عدم حساسية مزيل الكربونات للترسيب ؛**
- **موثوقية مزيل الكربونDecarbonator Reliability**
- **قدرة عالية على الخدمة.High Serviceability .**

ملاحظات :

1 - يلجأ بعض المهندسين إلى دق و أنشاء آبار عميقة مجاورة لشاطىء البحر لإمداد محطة التحلية بنظام التناضح العكسي بالمياه حتى لو تيسر الحصول عليها مباشرة من البحر ، حيث أن ذلك ييسر الحصول على مياه بها نسبة ملوحة أقل كثيرا من ملوحة مياه البحر بالإضافة إلي عمل تنقية مبدئية للمياه الداخلة إلي المحطة فضلا عن توفير منشأ المأخذ . يمكن أنتاج من 2 – كل 3 م3 من مياه البحر لأنتاج 1 م3 مياه عذبة (في المتوسط) بينما يتجه الباقي إلي الصرف في البحر .

2 - تتميز طرق التحلية بالأغشية عموما بانخفاض الطاقة المستخدمة مقارنة بطرق التحلية الحرارية وذلك نظرا لعدم الحاجة الى احداث تغيير في الحالة الطبيعية للماء من حيث التحول من الحالة السائلة الى الحالة البخارية وبالعكس.

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

وتتصل وسائل استرجاع الطاقة بالتدفق المركز لدى خروجه من وعاء الضغط . ويفقد الماء أثناء تدفقه المركز من 1 إلى 4 بار على البوصة المربعة من الضغط الخارج من مضخة الضغط العالي ، ووسائل استرجاع الطاقة هذه ميكانيكية وتتكون عموما من توربينات أو مضخات من النوع الذي بوسعه تحويل فارق الضغط إلى طاقة محركة .

أحرزت تحلية مياه البحر باستخدام تقنية التناضح العكسي قبولا مطردا كطريقة اقتصادية معتمدة، وكأفضل نظام مكمل وبديل لتقنيات التحلية الحرارية (التبخير الوميضي متعدد المراحل والتبخير متعدد المؤثرات) وذلك بسبب :

أ - تدني استهلاك الطاقة بالمقارنة مع اغلب نظم التقطير، وذلك نظرا لعدم وجود تغيير في الصورة الفيزيائية للماء .أما متطلبات طريقة التناضح العكسي من الطاقة، فهي تتراوح بين 6 - 8 كيلووات ساعة/ الف جالون من الماء العذب المنتج من مياه قليلة الملوحة. وتتراوح هذه النسبة في حالة تحلية مياه البحر بين 35 - 40 كيلووات ساعة/ الف جالون من الماء العذب، ويمكن خفض مقدار الطاقة المستهلكة بتركيب جهاز لاسترجاع الطاقة المهدرة في ماء تدفق المحلول الملحي المركز الناتج عن التحلية، والذي يتراوح ضغطه ما بين 750 - 950 رطلا على البوصة المربعة.

ويبلغ استهلاك طريقة التحلية بالتناضح العكسي من الطاقة ثلث الى نصف ما هو عليه في حالة التقطير الوميضي متعدد المراحل، وفضلا عن ذلك فان التناضح العكسي يحتاج الى ثلث ما يحتاجه التقطير الوميضي من مياه التغذية لانتاج نفس الكمية من الماء العذب. وبالطبع ينعكس ذلك على الطاقة اللازمة لتشغيل المضخات وحجمها وتصميم مآخذ المياه.

ب - تدني المساحة التي يشغلها بالمقارنة بنظم التحلية الأخرى.

ج - انخفاض معدل حدوث الترسبات والتآكل فيه بالمقارنة بنظم التحلية الأخرى.

د - مدة انجاز مشاريع التناضح العكسي اقل مما هي الحال عليه بالنسبة لوحدات التقطير.

هـ- قلة تكلفة معظم مكونات النظام لكونها بلاستيكية الصنع.

و- سهولة تجميع وتشغيل وصيانة النظام وذلك لتكونه من وحدات قائمة بذاتها.

س - يتم التخلص من الغازات مثل كبريتيد الأيدروجين وكذلك ضبط الأس الهيدروجيني pH بإضافة الجير (هيدروكسيد الصوديوم) أو رماد الصودا (كربونات الصوديوم) وجعله متعادلا (بين 6,8 – 7,2) لتخفيف قلوية المياه أو حالة وجود عناصر مسببة للعسر الشديد . أضافة لذلك ، يورد الجهاز في حاويات خاصة لسهولة نقلها من مكان إلي مكان وأيضا في حالات الضرورة و كذلك صغر كمية المياه المحلاة المطلوبة .

تتطلب مياه المنتج من عمليات تحلية مياه البحر المتوسط MSF و RO معالجة لاحقة لتجهيزه للاستخدام في الشرب. تؤدي خطوات إعادة التمعدن إلى زيادة درجة الحموضة والقلوية وصلابة الماء ، مما يؤدي إلى استقرار الماء. بالنسبة للمياه المحلاة من RO ، يضاف الجير المائي وهيبوكلوريت الصوديوم.

عملية التطهير
Disinfection

عملية التطهير Disinfection :

تعقيم المياه هي العملية التي يتم فيها قتل الأحياء الدقيقة والفيروسات المسببة للأمراض أو تعطيل آلية عملها أو إزالتها. وهذه العملية خاصة بمعالجة مياه الشرب إذ أنها لا تقتل جميع الأحياء المتواجدة في المياه . وفي معظم البلدان يُطلب من إمدادات المياه العامة الحفاظ على مستوى معين من التعقيم في جميع أنحاء نظام التوزيع والذي يُتوقع أن تبقى المياه فيه لعدة أيام قبل أن تصل إلى المستهلك. وبعد إدخال أي مادة كيماوية معقمة ، تُخزن المياه في خزانات خاصة مؤقتة وتُعرف بخزان التطهير وذلك للسماح للمادة الكيميائية المضافة اتمام عملية التعقيم. وكثيرا ما يشير المصطلح ضمنيا إلى اللوازم الصحية المصاحبة للمياه الطاهرة.

الغرض من التطهير :

1 - التخلص من باقي البكتيريا الضارة .

2 - أعطاء جرعة أضافية من الكلور يمكن أن تصل إلي نهايات الخطوط في الشبكة و تقضي علي أي تلوث .

طرق تطهير المياه :

تنقسم طرق التعقيم (من حيث مبدأ العمل) إلى قسمين وهما :

طرق كيميائية : أهمها الكلور والأوزون وثاني أكسيد الكلور والكلورامين .

طرق فيزيائية : أهمها الحرارة والأشعة فوق البنفسجية .

طرق تطهير مياه الشرب :

أولا : التطهير بالكلور

ثانيا : التطهير بالأوزون .

ثالثا : التطهير بالأشعة فوق البنفسجية .

عوامل تلعب دوراً في عملية تطهير المياه :

- نوع الكائنات الدقيقة : بعض الأحياء الدقيقة يستطيع تحمل مواد التطهير بتراكيز أكبر من غيرها.
- نوع المعقم : فبعض المعقمات تأثيرها أضعف من الآخر.
- تركيز المادة المطهرة : كلما زاد التركيز، كلما كان التطهير أقوى (يوجد نسبة قصوى لكل مادة).
- فترة تفاعل المطهر: بعض المواد المطهرة تتفاعل ببطء أكثر من الأخرى.
- جودة المياه : وذلك بحسب العوامل التالية :

1 - مستوى العكارة : فوجود الجسيمات الدقيقة يمكن أن يحمي الكائنات الحية الدقيقة ويعرقل عمل المادة المطهرة. فينبغي أن لا يتجاوز مستوى العكارة 0,5.

2 - وجود المواد العضوية الطبيعية (NOM) : فوجودها يعني استهلاك أكبر للمواد المعقمة (يؤدي أيضاً إلى إنتاج مواد تعرف بمخلفات التطهير (DBP) .

3 - درجة الحموضة : درجة حموضة المياه تؤثر على عمل المادة المطهرة.

4 - درجة الحرارة ومدى توزيعها ومعدل التفاعل .

أولا : التطهير بالكلور :

بعد تحويل غاز الكلور من حالته الغازية إلى الحالة السائلة بواسطة الضغط العالى يوضع في أسطوانات من الصلب وتدهن من الخارج عادة باللون الأصفر لتمييزها عن غيرها – شكل (106) وتوصل الأسطوانة بالجهاز ثم يفتح الصمام بينهما ، وعندئذ يتحول الكلور السائل إلى الحالة الغازية ويمر بالسرعة المطلوبة ويمر الغاز في كمية صغيرة من الماء الذى يصبح حينئذ محتويا على نسبة عالية من الكلور ويضاف ذلك إلى الماء المطلوب تعقيمه بواسطة الخلط جيدا .

و هو من أهم طرق التعقيم وأكثرها انتشارا نظرا لسهولة أنتاجه و تكلفته البسيطة بالقياس إلي طرق التعقيم الأخري . و تتحدد جرعه الكلور المضافة للمياه بحيث تكون هناك نسبة من الكلور المتبقي في نهاية شبكة مواسير المياه . و يفضل أن يكون هناك كلور متبقي مقداره 0.2 – 0.5 ملجم / لتر بعد فتره تلامس Contact Time تساوي 20 - 30 دقيقة. كما يزيل الكلور مواد مثل المنجنيز، والحديد، وكبريتيد الهيدروجين ، التي يمكن أن تفسد مذاق المياه.

والكلور يمكن أن يكون في صورة غازية أو سائلة في حاويات مضغوطة أو بودرة هيبوكلوريت الكالسيوم الذي يذوب بسهولة في الماء.

العوامل المؤدية إلى تعقيم جيد :

1 - الرقم الأيدروجيني منخفض Low pH Value .

2 - فترة تلامس مناسبة (20 - 30) دقيقة .

3 - عكاره بسيطة في المياه Low Turbidity .

4 - كلور متبقي Residual Chlorine بنسبة معقولة .

5 - درجه الحرارة : تقل جرعة الكلور بارتفاع درجة الحرارة .

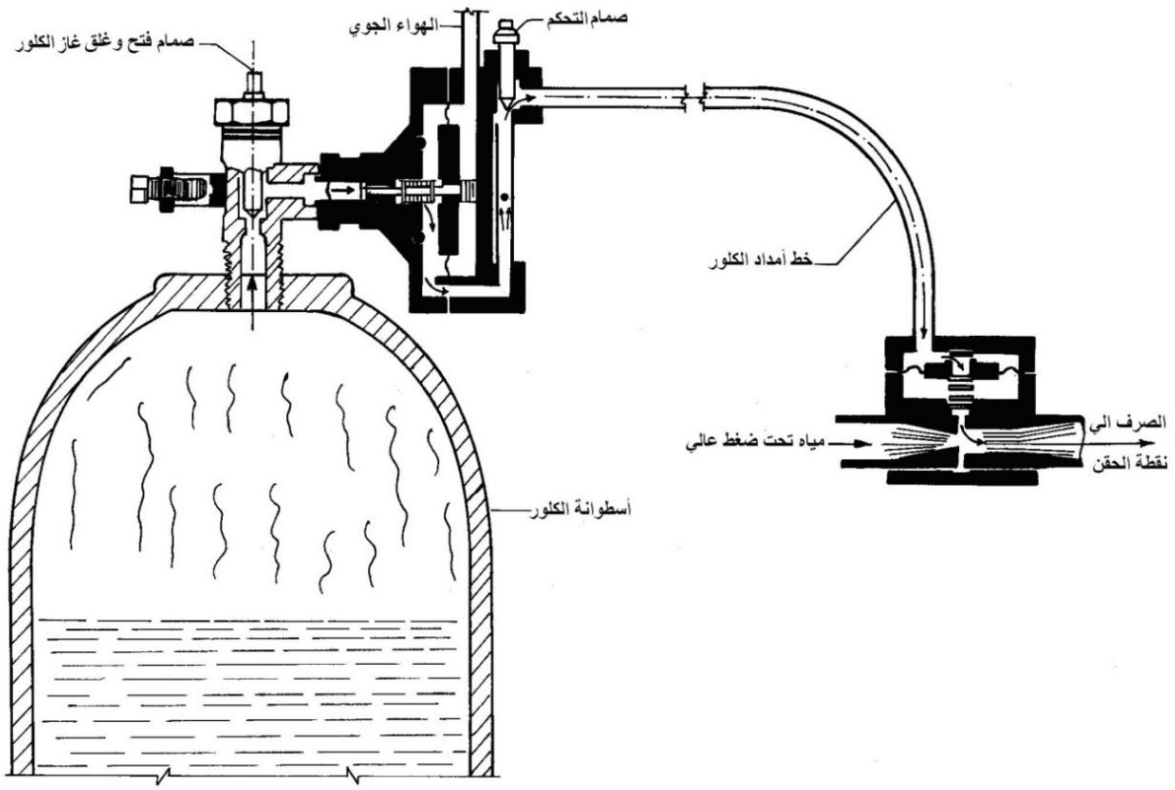
6 - وجود المركبات الأزوتية في الماء : وجود هذه المركبات - خاصة الأمونيا - يحتاج إلي كميات أكبر من الكلور فضلا عن فترة تلامس أطول .

7 - وجود مركبات الحديد و المنجنيز في الماء : تحد وجود هذه المركبات من فاعلية الكلور حيث تستهلك كميات أكبر من الكلور لأكسدة هذه العناصر و التخلص منها .

التطهير بغاز الكلور .Chlorination By Gas Method :

يمكن استخدام الكلور في صورة سائل أو غاز. إنه عامل مؤكسد قوي للغاية. يمكن تخزين كلا الصورتين (السائل والغاز) واستخدامهما من اسطوانات الغاز تحت الضغط. يمكن أن يصل وزن أسطوانات الكلور إلى 150 رطلاً. عادةً ما تستخدم أنظمة مياه الشرب الصغيرة أسطوانات تزن 150 رطلاً. .

تتشكل أيونات هيبوكلوروس و هيبوكلوريت عند خلط الكلور بالماء . أيون هيبوكلوروس مطهر أفضل ويتكون بتركيز أكبر بتركيزات منخفضة من الأس الهيدروجيني. سيتواجد الهيبوكلوريت وأيونات تحت الكلور بتركيزات متساوية عند الرقم الهيدروجيني 7.3. عند درجة الحموضة أعلى من 8.3 ، يسود أيون هيبوكلوريت وهو ليس مطهرًا أفضل. لذلك ، يتم التطهير بشكل أفضل عند انخفاض درجة الحموضة. لتجنب تكوين ثلاثي الميثان وحمض الخليك ، يجب تطبيق الكلورة بعد المعالجة - شكل (116).



شكل (116)

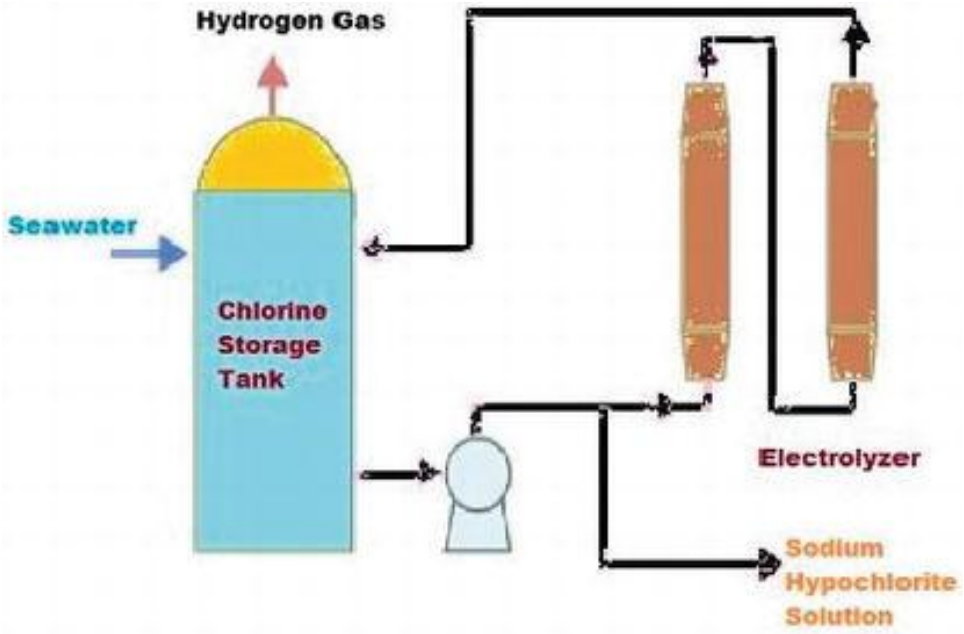
حقن الكلور من الأسطوانة (الأسطوانة زنة 70 كجم).Chlorination By Gas Method

شكل (116)

أسطوانة الكلور سعة 1 طن ، مصنعة من ألواح الصلب بسمك 12 مم – تقاوم الصدمات الناتجة عن سوء التداول والتخزين

التطهير بالكلور السائل Chlorination By Chlorine Liquid :

شكل (117) :



شكل (117)

التطهير المياه بالكلور السائل .Chlorination By Chlorine Liquid Method

طرق إضافة الكلور :

يضاف الكلور إلي الماء علي هيئة غاز أو محلول أو مسحوق لأحد مركباته . و تعتبر إضافة الكلور إلي الماء علي هيئة غاز أفضل الطرق يليها أضافته إلي الماء علي هيئة سائل .أحواض التعقيم بالكلور – شكل (118) أو بواسطة الحقن في نقاط معينة – شكل (119) :

شكل (118)

حوض التلامس Contact Tank

أماكن إضافة الكلور في محطة التنقية :

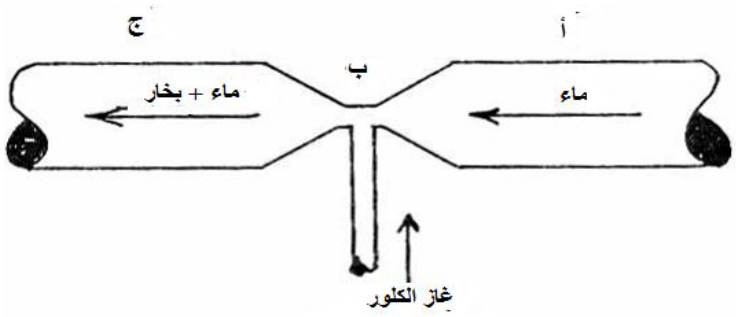
يمكن إضافة الكلور في محطة التنقية في أكثر من مكان تبعا لصفات الماء المعالج علي النحو الآتي :

1 - حقن الكلور قبل المرشحات أو قبل أحواض الترسيب : تتميز هذه الطريقة بالآتي :

* تخفيض تعداد البكتيريا في الماء قبل و صولها إلي المرشح مما يخفف الحمل البكتيري علي المرشح .
* إزالة نسبة عالية من الطحالب الضارة بعملية الترشيح .
* كفاءة عالية في إزالة اللون و الرائحة من المياه .
* نقص كميات المواد المروبة أذا أضيف الكلور قبل أحواض الترويب .

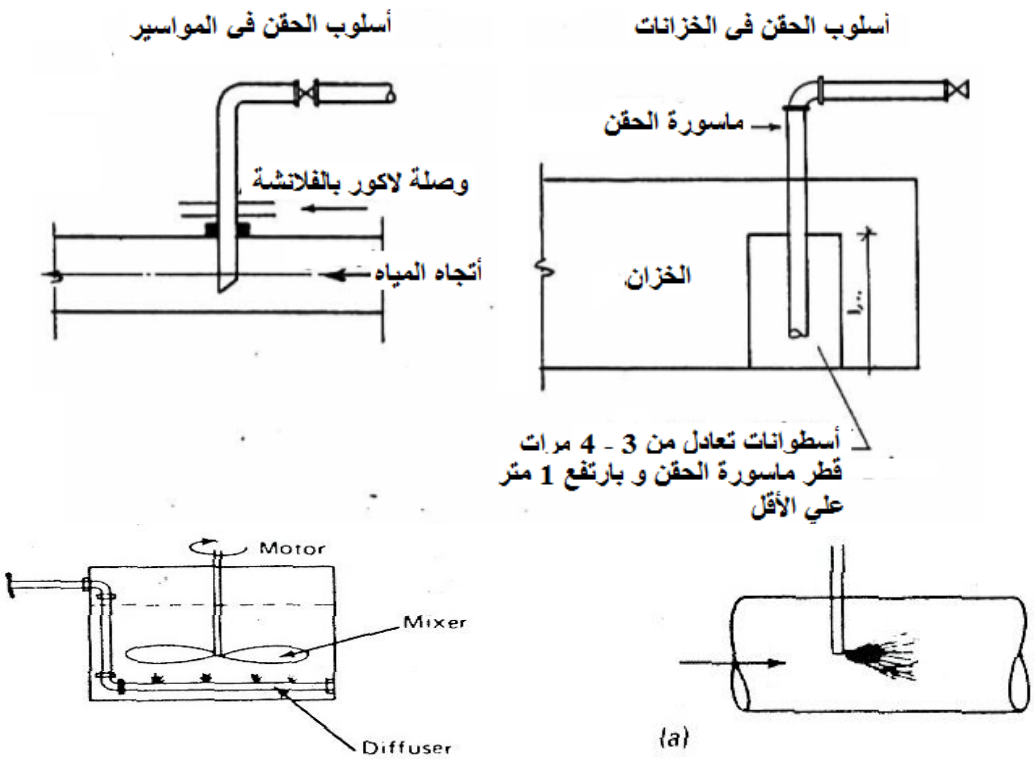
2 – إضافة الكلور في مدخل خزان المياه النقية ، هي الطريقة الأكثر شيوعا .

3 - إضافة الكلور في أكثر من موقع : تتبع هذه الطريقة في حالة وجود تلوث بكتيري شديد . كما يضاف إلي مخارج خزانات المياه الرائقة في حالة أنشاء هذه الخزانات مكشوفة .



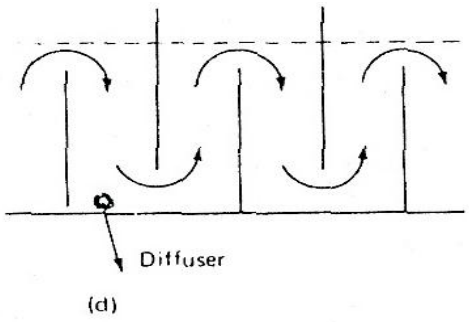
شكل (119)

حاقن الكلور Ejector



1 – حقن الكلور في مكان مغلق .

2 – خلاط ميكانيكي (للقنوات المفتوحة)



3 – الحقن داخل الخزان (من أسفل وأعلي الحوائط)

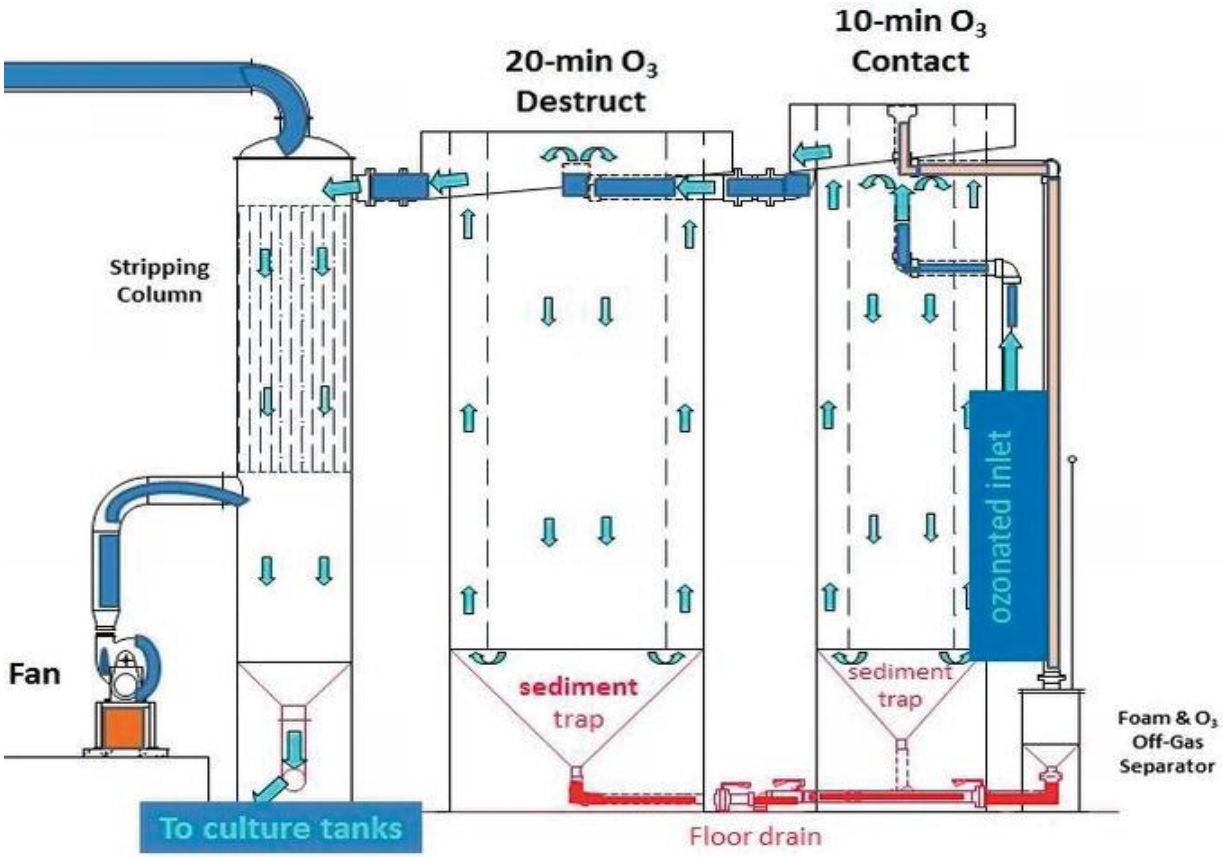
شكل (119)

أماكن ناشرات الكلور

ثانيا : التعقيم بالأوزون Ozone:

تعريف الأوزون :

الاوزون غاز أزرق اللون يذوب في الماء وله رائحة النظافة ، ويتكون من ثلاث ذرات اوكسجين O_3 ، ويتولد في الجو نتيجة تأثير الاشعة فوق البنفسجية و شحنات البرق على الاوكسجين النقي في طبقات الجو العليا. و هو غاز شفاف فى الغلاف الجوى ضئيلة قد لا تتجاوز فى بعض الأحيان واحد فى المليون . وهو غاز سام فمن رحمة الله بعباده أن تكونه لايتم قريباً من سطح الأرض حتى لايستنشقه الانسان أوالحيوان ، الأوزون مطهر ممتاز يفوق الكلور بنحو 20 مرة – شكل (120) .



شكل (120)

التعقيم بالأوزون

يحتاج إلي تكنولوجيا معقده لإنتاجه و استخلاصه ولاحتياجه الي طاقة كهربية عالية . و لهذا فهو غير أقتصادي بالقياس إلي الكلور . و الأوزون صعب الذوبان في الماء - كثافته = 1,6 من كثافة الهواء - لونه يتراوح من عديم اللون إلي اللون الأزرق . الأوزون (Ozone) له تأثير فعـال في عمليـة التطهير لأنه مؤكسد قوي ، واستخدامه غير مصحوب بطعم أو رائحة ، ويضاف بتركيز 2 – 3 جزء في المليون يبقى منه تركيز 0.1 جزء في المليون بعد عشر دقائق من إضافته .

أن أحد أسباب عدم انتشار تشغيله في محطات المياه أنه لا يعطي متبقي ثابت في المياه ، أذ يتحول مباشرة الي أكسجين ذائب في الماء ، لذلك لا بد من أضافة الكلور بعده للتأكد من وجود متبقي في المياه ليعمل كحماية من أي تلوث محتمل في الشبكات و في حالات الطوارىء بالخزانات. يمكن استخلاص 30 جم من الأوزون من كل 1 متر مكعب من الهواء ولونه ازرق باهت ووزنه الجزيئي 48 و هو نوع من الأكسجين الجوي الطبيعي عالي الطاقة ومصادر الأوزون موجودة في الطبيعة كغلاف يحيط بالكرة الأرضية عند ظهور الشمس .

تتكون وحدة المشروع من :

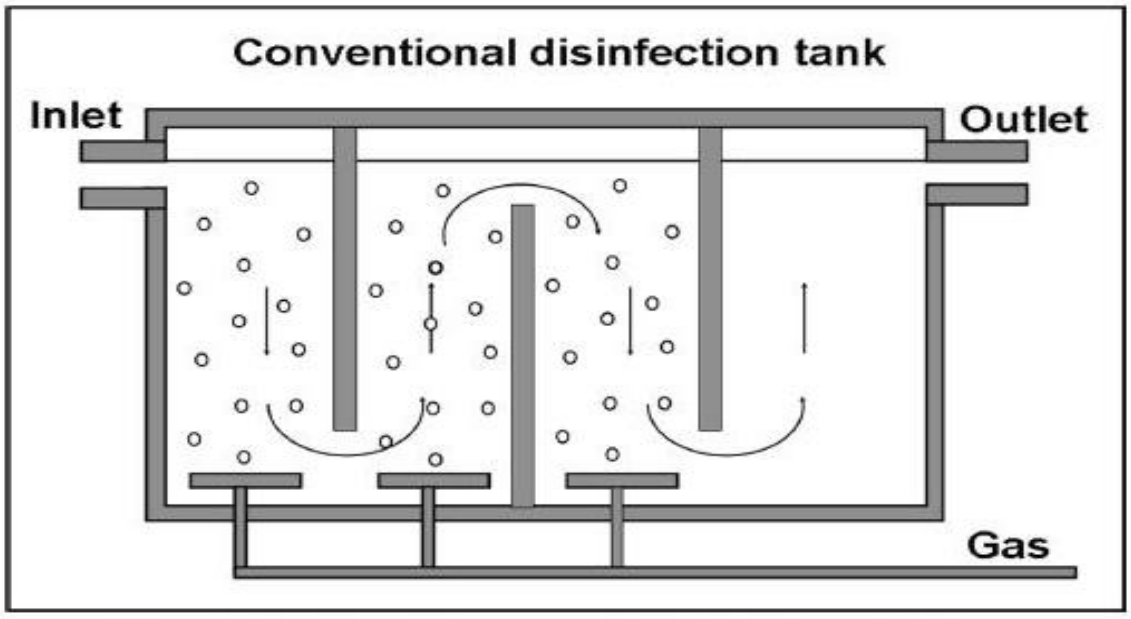
1 - مضخة هواء مع مجفف او مولد الأوكسجين او اسطوانة اكسجين نقي.

2- مولد الأوزون .

3- خزان الماء مع الفلاتر والانابيب الناقلة .

4- التعبة .

حوض تلامس المياه مع الأوزون – شكل (121) يستعمل بكثرة وأن حاقنات الأوزون المنتجة للفقاعات داخل الماء يناسب التركيز البسيط و المتوسط للأوزون (1 – 4) % .



Counter and concurrent bubble diffuser contactor

شكل (121)

خزان تلامس الأوزون بالمياه Ozone Bubble Diffuser Contactor

تعقيم المياه بالأوزون – نافثات الغازOzone Bubble Diffuser Contactor - شكل (122) .

شكل (122)

طرق تعقيم المياه بالأوزون – نافثات الغازOzone Bubble Diffuser Contactor

ثالثا : التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet :

الأشعة فوق البنفسجية أشعة غير مرئية تنتج عن لمبات مملوءة بغاز خامل و زئبق . و هي مطهر قوي و يستخدم في التغذية بالمياه و مصانع الأدوية و مصانع الأغذية والمستشفيات . و الأشعة غير فعالة في حالة وجود عكاره بالماء حيث تتكسر هذه الأشعة علي أسطح الجزيئات و ترتد مرة أخري مما يضعف فاعليتها لقتل الفيروسات - شكل (123) .

والأشعة فوق البنفسجية هي موجة كهرومغناطيسية ذات طول موجي أقصر من الضوء المرئي لكنها أطول من الأشعة السينية لذا سميت بفوق البنفسجية لأن طول موجة اللون البنفسجي هو الأقصر بين ألوان الطيف. وطول موجاتها يبدأ من 400 نانومتر إلى 10 نانومتر، وطاقتها تبدأ من 3 إلى 124 إلكترون فولت.

الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تكون جذابة كمعقم أولي لأنظمة صغيرة للأسباب التالية :

- **أنها متاحة بسهولة.**
- **أنها لا تنتج مخلفات سامة.**
- **يتطلب فترات اتصال قصيرة.**
- **سهولة التشغيل والصيانة.**

التعقيم بالاشعة فوق البنفسجية هي الطريقة الآمنة والطبيعية للحد من الامراض بالماء ، فالطحالب هي التي تسبب "الماء الاخضر". والاشعة فوق البنفسجية الطبيعية مثل ضوء الشمس .على خلاف العلاجات الكيمياوية التي يمكن ان تضر الاسماك و البكتيريا المفيده والنباتات في الاحواض او البرك ، بالأضافة الي أن الاشعة فوق البنفسجيه لا تترك أي ترسبات في المياه ، وبالتالي لا تضر الاسماك اوالنباتات.

وهناك خمسة عوامل رئيسية من شأنها ان تساعد في تحديد قدرة اي من وسائل التطهير باستخدام الاشعه فوق البنفسجية لتحقيق هذه النتيجة المرجوة هي :

1 - نوع المصباح : وهناك نوعان من مصابيح الاشعه فوق البنفسجيه متاحة : ذوات الضغط المنخفض او ذوات الضغط المتوسط والعالي ، و المصابيح ذوات الضغط المنخفض هي الافضل للاحواض المائيه.

2 - طول المصباح المستخدم. المعروف أيضا بـ ARC length.

3 - الشكل او التصميم للمصباح المستخدم.

فشكل المصباح وتصميمه يحدد المسافة التي تقطعها الاشعة من سطح المصباح الى داخل جدران الحوض ، حيث تتحدد جرعة الاشعه حسب حجم الحوض و اتساعه وكمية الماء المتدفقه بالحوض.

4 - حالة المياه المعالجة : مصطلح يستخدم للتعبير عن قدرة جسم مائي إلى أن يعالج بفعالية من مصدر ضوء الأشعة فوق البنفسجية و يعرف بـ Percent Transmittance وهي القيمة التي كلما ارتفعت نسبتها دلت علي ارتفاع ونجاح الأشعة فوق البنفسجية في التعقيم ومعالجة المياه.

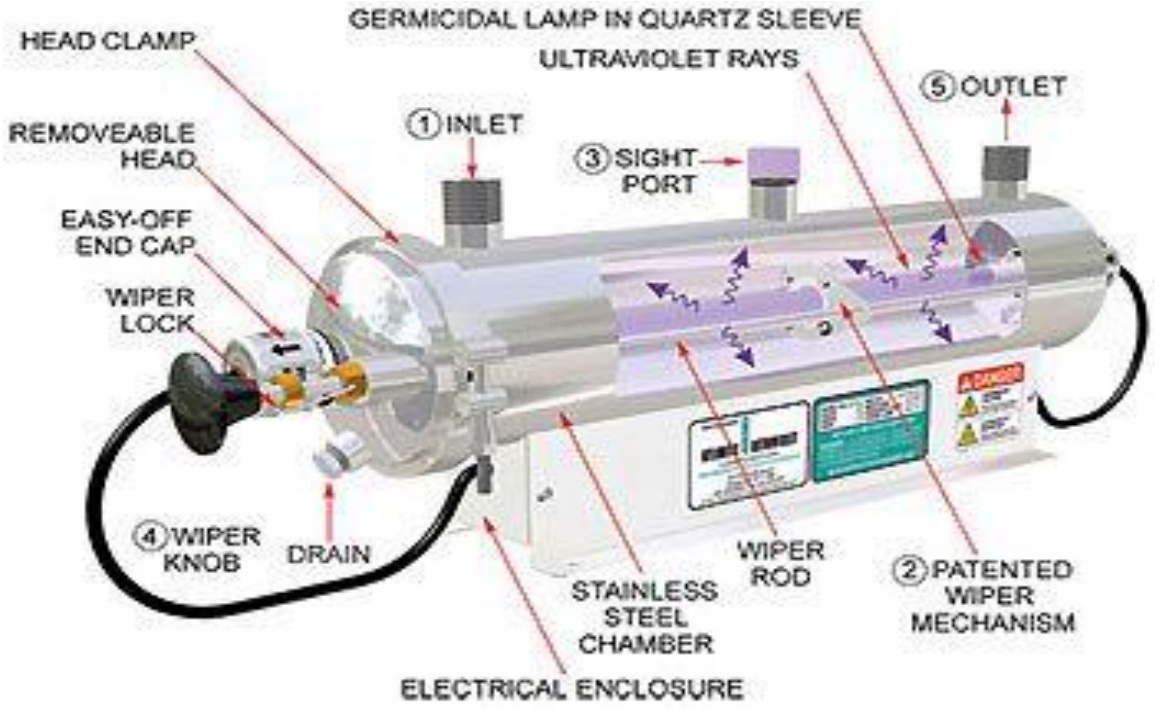
5 - معدل تدفق المياه : فعند استخدام فلاتر و مرشحات الاشعه فوق البنفسجيه يتم في غرفة التحكم حساب كمية المياه التي تمر بالمرشح وسوف تحدد في نهاية المطاف عدد الوحدات اللازمه من الاشعه فوق البنفسجية اللازمه للمعالجة ، وهو ما يعبر عنه بالميكروات \ في الثانية لكل سنتيمتر مربع او.(u-watts-sec/cm2) .

6 - استخدام الأشعة فوق البنفسجية : يمكن استخدامها في المياه الصافية الخالية من العكارة ولها تأثير فعال في عملية التطهير ولا تسبب أي طعم أو رائحة للمياه ، ومن ناحية أخرى هي طريقة مكلفة وليس لها تأثير إلا أثناء استخدامها ، وليس لها فاعلية في التحكم في تلوث المياه إذا ما تعرضت لأي مصدر تلوث بعدى عملية التطهير .

أجهزة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية UV :

مبدأ عمل أجهزة التعقيم بالأشعة :

يعمل الجهاز على مبدأ التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet حيث يوجد داخل الجهاز لمبة تقوم باصدار هذه الأشعة التي تخترق الكائنات الحية الموجودة في الماء و هذه الأشعة تؤثر في الحوامض النووية و في المكونات الحية داخل خلية الجراثيم و الفيروسات الموجودة في الماء، و تدمر قابلية الخلية للتكاثر و هذا ما يجعل هذه الخلايا عديمة الفعالية و التأثير.



شكل (123)

مكونات جهاز الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet

شكل (123)
جهاز التعقيم بالأشعة فوق بنفسجية

اعلية أجهزة التعقيم بالأشعة تعتمد على عدة أمور أهمها :

1 - مواصفات الماء الداخل للجهاز.

2 - كثافة و شدة الأشعة فوق البنفسجية.

3 - زمن تعرض الماء للأشعة.

مبدأ عمل أجهزة التعقيم بالأشعة :

إن التطهير الفوق بنفسجي للمياه هو عبارة عن عملية طبيعية تماما وخالية من المواد الكيماوية يعمل الجهاز على مبدأ التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet حيث يوجد داخل الجهاز لمبة تقوم بإصدار هذه الأشعة التي تخترق الكائنات الحية الموجودة في الماء وهذه الأشعة تؤثر في الحوامض النووية وفي المكونات الحية داخل خلية الجراثيم والفيروسات الموجودة في الماء، وتدمر قابلية الخلية للتكاثر وهذا ما يجعل هذه الخلايا عديمة الفعالية والتأثير.

كما يمكن استخدام الأشعة فوق البنفسجية لإزالة الكلور و أنواع الكلورامينات من المياه، حيث تسمى هذه العملية بالتحليل الضوئي وتتطلب جرعة أعلى من التطهير العادي.

التقنية :

تتألف وحدات الأشعة فوق البنفسجية لمعالجة المياه من مصدر إشعاع بخاري زئبقي متخصص منخفض الضغط يقوم بإنتاج الإشعاع الفوق بنفسجي عند 254 نانو متر، أو من مصدر إشعاع فوق بنفسجي متوسط الضغط يولد ناتجا متعدد الألوان من 200 نانو متر إلى طاقة مرئية تحت الحمراء. إن الطول الموجي الأمثل للتطهير هو القريب من 260 نانو متر. إن مصدر

الإشعاع المتوسط الضغط فعال يما يقارب 12 بالمائة، بينما مصابيح الضغط المنخفض الملغمة يمكنها أن تكون فعالة بنسبة 40 بالمائة. هذا وإن المصابيح الفوق بنفسجية لا تلامس المياه على الإطلاق، فهي إما تقع في غطاء زجاجي داخل حجرة المياه أو تحمل خارجيا إلى المياه التي تتدفق من خلال أنبوب فوق بنفسجي شفاف. وبفضل أنها تحمل فإن المياه عندها يمكن أن تمر من خلال حجرة التدفق، وأشعة الفوق بنفسجية يتم تسلمها وامتصاصها في المجرى .

إن المعالجة الفوق بنفسجية تعتبر سريعة ومن ناحية استخدام الطاقة الأساسية، فإنها أكثر كفاءة بنحو 20.000 مرة من الغلي.

مميزات استخدام أجهزة التعقيم بالأشعة :

1- الأشعة فوق البنفسجية تقضي على غالبية الفيروسات، الجراثيم، الديدان بنسبة 99.9% .(Bacteria, Viruses, (Spores, Cysts... etc

2- الكلفة التشغيلية منخفضة مقارنة مع استخدام المعقمات الكيماوية.

3 - التعقيم بالأشعة طريقة فيزيائية و ليست كيميائية فلا حاجة لاستخدام مضخات حقن الكيماويات و لا لشراء أو تخزين الكيماويات (مثل الكلور).

4 - لا يؤثر التعقيم بالأشعة في كيميائية الماء و بالتالي لا توجد آثار جانبية مثل الآثار التي تنجم عن إضافة الكلور من طعم غير مستساغ و آثار جانبية على جسم الانسان.

5 - عند استخدام كيماويات التعقيم فيجب أن يكون هناك زمن تماس لهذه الكيماويات مع الماء حتى يصبح التعقيم فعالا، أما في أجهزة التعقيم بالأشعة فيمكن استخدام الماء فورا دون انتظار .

المزايا :

-الأشعة البنفسجية لا تغير الطعم ولا الرّائحة ولا اللون ولا الرقم الهيدروجيني للمياه

-الأشعة البنفسجية لا تتطلب إضافة المواد الكيميائية

-الأشعة فوق البنفسجية لا تنقل منتجات المواد السامة في المياه

- نظم فوق البنفسجية هي مد مجة الحجم و سهلة التثبيت

-أنضمة فوق البنفسجية تتطلب صيلنة قليلة جدا

التخزين والتوزيع Storing & Distribution :

تعتبر جودة المياه الموزعة ذات أهمية قصوى لأنها تتعلق بصحة الإنسان. تتطلب معايير جودة مياه الشرب في كثير من الأحيان مجموعة كبيرة من التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي يتم إجراؤها قبل التوزيع من قبل السلطة المحلية.

المعلمات المتعلقة بالتخزين والتوزيع Parameters Relevant to Storing & Distribution:

- الرقم الهيدروجيني .
- الكلور .
- العكارة .
- العسر .
- الفلورايد .
- القلوية الكلية .
- البورون .
- مجموع الغروانية Total Colloid .

ملاحظة :

لا يتم إضافة الأملاح إذا كان الغرض منها استخدامات في تطبيقات الصناعة والأدوية لأنها تؤثر سلبا على جودة المنتج.

3 - مواسير صرف المياه العادمة :

يتم صرف المياه العادمة الخارجة من محطة التحلية الي البحر أو المسطحات السطحية – شكل (4) ، والذي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح والمعادن الذائبة و النفايات والملوثات المنفصلة.
يتطلب محلول ملحي التخلص المناسب ، والذي يتطلب في كثير من الأحيان تصاريح أو إجراءات تنظيمية أخرى.

ملاحظة :

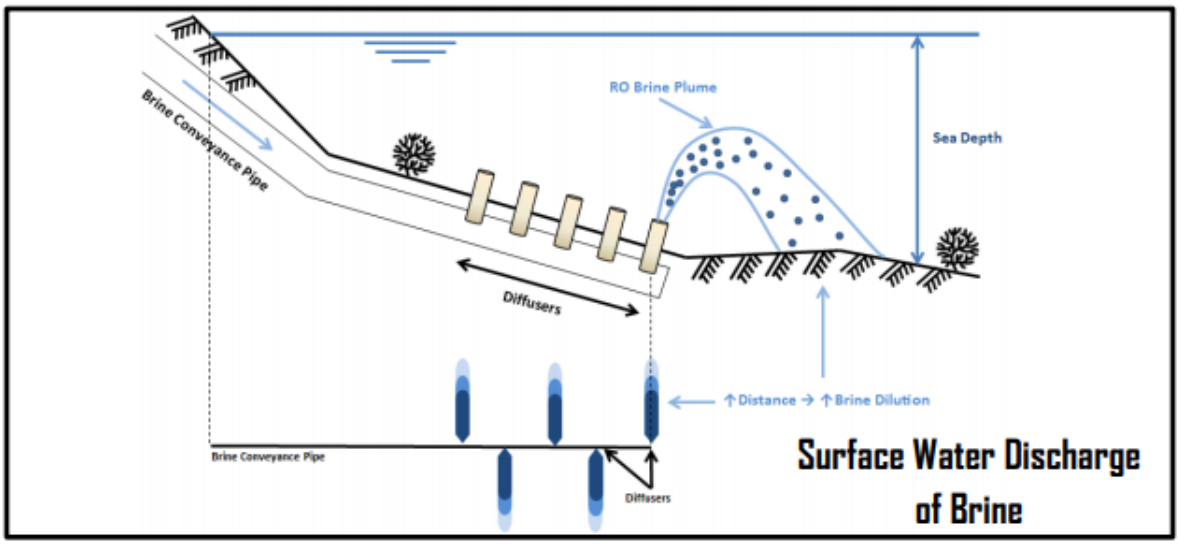
في بعض الحالات ، يمكن تصريف المحلول الملحي إلى المسطحات المائية مثل الأنهار أو البحيرات أو الخزانات أو بركة التبخر الي الغلاف الجوي . لا يوجد تصريح مطلوب ولكن قد تتطلب بعض المراقبة - شكل (124).

تصريف المياه الى المسطحات السطحية Surface Water Discharge:

في بعض الحالات ، يمكن تصريف المحلول الملحي إلى المسطحات المائية مثل الأنهار أو البحيرات أو الخزانات بركة التبخر الي الغلاف الجوي . لا يوجد تصريح مطلوب ولكن قد تتطلب بعض المراقبة.

حقن المياه المتخلفة في الآبار العميقة :

يمكن حقن محلول ملحي في تكوين صخري مسامي تحت السطح. هذا الخيار مكلف للغاية بسبب تكلفة حفر البئر وصيانته. مطلوب أيضًا تصريح التحكم في الحقن تحت الأرض ويتضمن عادةً تقييمًا صارمًا للموقع ومراقبته.



شكل (124)

مواسير سحب المياه المالحة – محط تحلية سان ديجو San Diego

تصريف المياه المتخلفة الى المجاري :

في كثير من الأحيان يمكن التخلص من المحلول الملحي في نظام الصرف الصحي المحلي. يجب أن يتوافق التفريغ المختلط من الموقع غالبًا مع متطلبات التصريف من مشغل محطة الصرف الصحي و / أو أعمال المعالجة المملوكة ملكية عامة.

شكل (124)

مخرج المياه العادمة خلال أنبوب تصريف المحلول الملحي والتنفيس في قاع البحرمن محطة تحلية

-

المراجع

1 - مقالات من شبكة المعلومات – الأنترنت .

2 - صحيفة الاتحاد 19 يناير 2011

3 - الطاقة الجيوحرارية والمؤثرات البيئية الناتجة عن إستخدامها الأستاذ / أحمد فراس ططري & خالد مخلف - منتدى الأبحاث البيئية العامة) .

4 - المكتبة الأليكترونية علي الأنترنت للمؤلف .

5 - كيميائي / أحمد محمد هشام المدير الأسبق لمحطات الصرف الصحي محافظة رفحاء – السعودية

6 - Ibrahim Khamis Department Nuclear Energy, Division Nuclear Power International Atomic Energy Agency IAEA.

7 - Israel's IDE Technologies, Karin Kloosterman MAY 8, 2014, 2:00 AM

8 - Ultrafiltration Pretreatment in a Large Seawater Desalination Plant in the Arabic Gulf By Ralf Krüger

9 - Catie Romero Finger, Marketing and communication manager for Abengoa Water.

10 - Willie Scott Structural Engineering .