مبـــادئ التحـــلية

تأليف
أو . كيه . بوروس

ترجمة
المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة
بالمملكة العربية السعودية

٥ جمعية علوم وتقنية المياه

نبذة عن المؤلف

الدكتور أو. كيه. بوروس (O.K.Buros) يعمل كمدير لقسم مصادر المياه فى شركة سى إتش تو إم هيل (CH2M Hill) بالولايات المتحدة الأمريكية .

وهو يعمل فى مجالات التحلية والتخطيط لمصادر المياه فى المناطق القاحلة منذ عام ١٩٧١ وقد عمل على مشاريع فى مناطق مختلفة من العالم منها الشرق الأوسط والبحر الكاريبى وشمال إفريقيا وآسيا .

شغل سابقا منصب نائب رئيس منظمة التحلية العالمية وعمل عضوا فى مجلس إدارة المنظمة لعدة سنوات ، وكان المؤلف الرئيسى لدليل التحلية الصادر من المؤسسة الأمريكية (USAID) وله العديد من البحوث فى مجالات التحلية ومصادر المياه وإعادة إستخدامها .

مبـــادئ التحـــلية

الجهات المشاركة فى تمويل هذه الطبعة :

الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية
دار التقنية
شركة إبراهيم الجفالى وإخوانه
شركة الكوثر للتصنيع
شركة ماتيتو العربية للتصنيع

مطبوعات أخرى لجمعية علوم وتقنية المياه

* موسوعة المياه : تحلية ومعالجة المياه
* كتيب الماء : مصادره ، خصائصه ، مواصفاته

يمكن شراء هذا الكتيب ومطبوعات الجمعية الأخرى بالكتابة للعنوان التالى :
ص.ب ٢٠٠١٨ – المنامة – دولة البحرين – فاكس ٥٣٣٠٣٥ (٩٧٣)

دوريات ومصادر معلومات أخرى تصدرها منظمة التحلية العالمية :

* IDA NEWS *
International Desalination & Water Re-Use *
The Desalting Plants Invantory *
The Desalination Directory *
Proceedings of IDA Conferences *
Cost of Desalination Computer Software *

يمكن الإشتراك فى هذه الدوريات والحصول على إصدارات منظمة التحلية العالمية بالكتابة إلى العنوان التالى :
International Desalination Association (IDA)
P.O.Box 367, Topsfield, MA 01983, USA
Tel.: (508) 356-2727 - Fax: (508) 356-9964

شكر وتقدير

تم إعداد هذا الكتيب من قبل منظمة التحلية العالمية (International Desalination Association) بدعم من المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة (SWCC) فى المملكة العربية السعودية لإعطاء توضيح مبسط عن مبادئ التحلية . وقامت المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة بترجمة ومراجعة وتعديل لهذا الكتيب ، وقد تم إضافة معلومات إضافية عن التحلية وإحصائياتها وإستخدامها فى الوطن العربى مما يعطى القارئ لهذا الكتيب تصور كامل عن التحلية فى هذه المنطقة .

وجمعية علوم وتقنية المياه تقدم شكرها وتقديرها لكل من المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة ومنظمة التحلية العالمية لموافقتهما على إعادة طباعة هذا الكتيب ، كما تتقدم بالشكر والعرفان للجهات التى شاركت فى تمويل طباعة هذا الكتيب وساهمت فى نشر العلم النافع .

المحتويـــــات

مقدمـة	٧
عملية المعالجة	٧
تطوير أساليب وطرق التحلية	٨
إنتشار التحلية في العالم	١٠
الدول العربية المستخدمة لتقنية التحلية	١١
مجموع المحطات في العالم العربي	١٥
تقنيات التحلية	١٦
العمليات الحرارية	١٦
التحلية بطريقة التبخير الومضي	١٧
التحلية بطريقة التأثير المتعدد	١٧
التحلية بطريقة ضغط البخار	١٩
تقنية التحلية بالأغشية	٢٠
عملية الفرز الكهربائي (الديلزة)	٢١
تقنية الديلزة الكهربائية المعكوسة	٢٣
التناضح العكسي	٢٤
عمليات أخرى	٢٨
التجميد	٢٨
التقطير الغشائي	٢٩
التبخير الشمسي	٢٩
وحدات تحلية تعمل بالطاقة الشمسية والهوائية	٣٠
التوليد المشترك	٣٠
الرجيع المركز	٣٢
محطات مدمجة	٣٣
التكاليف	٣٣
الملخص	٣٤

مقدمـــــة

عملية المعالجة :

إن عملية التحلية ، حسب عرضها في هذا الكتيب ، يمكن تعريفها على أنها عملية معالجة تتضمن إزالة الأملاح من الماء . وتسمى التحلية أو إزالة الملوحة أو الإعذاب وتعنى ذات الشيء . ويمكن القيام بها بعدة طرق غير أن النتيجة واحدة وهى إستخراج الماء العذب من المياه المالحة سواءاً أكانت مياه آبار أو بحر ، وتطبق تقنيات التحلية في عدة مجالات ، غير أن الغرض من هذا الكتيب هو عرض التحلية المستخدمة لإنتاج المياه العذبة للأغراض المنزلية أو البلدية ..

إحدى محطات التحلية بالطرق الحرارية

لقد جرى البحث في إمكانية معالجة المياه المالحة لاستخدامها للشرب أو للزراعة منذ زمن طويل ، وتغطي المياه المالحة حوالي ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية . وعلى الرغم من أن هذه المياه تعتبر مهمة في مجال المواصلات والصيد ، إلا أنها لا تصلح للإستخدام البشري ولا للزراعة ، لقد أضافت تقنيات التحلية مجالاً أوسع إلى رصيد مصادر المياه المتوفرة للاستخدامات البشرية .

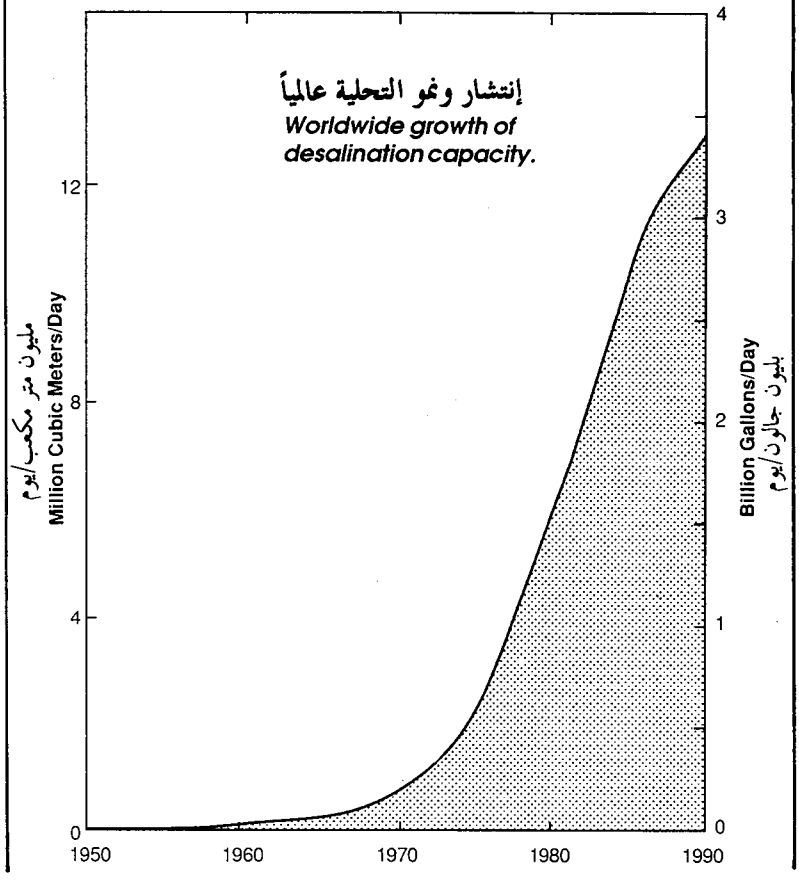
في الماضي كانت المياه التي تقل ملوحتها عن ألف (١٠٠٠) جزء في المليون (١٠٠٠مليجرام/لتر) تعتبر مصادر مياه صالحة للشرب . وهذا التحديد قد قلل من حجم وأماكن المجموعات البشرية حول العالم وأدى أحياناً إلى صعوبات لكثير من الذين لا يستطيعون العيش بالقرب من مصادر المياه العذبة الجاهزة . إن تطبيق تقنيات التحلية خلال الأربعين (٤٠) سنة الماضية قد أدى إلى تغيير هذا النمط في أماكن كثيرة . فهناك قرى ومدن ومصانع قد تطورت أو نمت في مناطق جافة وقليلة المياه بفضل وجود مياه آبار مالحة أو مياه بحر تمت معالجتها عن طريق تقنيات التحلية .

وقد لوحظ هذا التغيير في أماكن جافة في الشرق الأوسط ، وشمال أفريقيا وبعض جزر الكاريبي حيث قلل نقص المياه العذبة من تنميتها بشكل كبير . وهناك الآن مدن حديثة ومصانع كبيرة نمت في بعض المناطق بفضل وفرة المياه العذبة المنتجة من مياه البحر عن طريق التحلية .

تطوير أساليب وطرق التحلية :

إن عملية التحلية عملية طبيعية مستمرة تمثل جزءاً ضرورياً من دورة الماء الطبيعية حيث تنزل الأمطار على الأرض ثم تصب في البحر . ويستخدم الناس الماء لأغراض متعددة أثناء هذا الدوران . وعند حركته وتسربه في الأرض فإن الماء يذوب الأملاح والمواد الأخرى فتزداد الملوحة تبعاً لذلك .

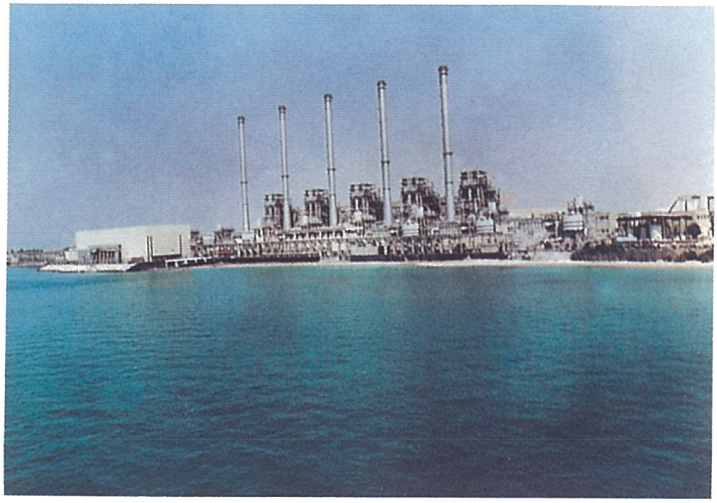
وبمجرد وصوله إلى محيطات العالم والأماكن الطبيعية المنخفضة مثل البحر الميت أو البحيرة العظيمة المالحة فإن جزءاً من الماء يتبخر ، تاركاً خلفه الملح ، ليكون بخاراً يتكثف في الأجواء العليا على شكل سحب تنزل من خلالها الأمطار .



لقد عرفت تقنية تحلية مياه البحر منذ زمن بعيد ، وكان الإشكال هو أن العملية مكلفة وغير مربحة ، وكانت حاجة السفن المبحرة في المحيطات مستمرة لمياه التحلية وخاصة تلك التي تستغرق زمناً طويلاً في السفر بعيدة عن اليابسة . وبجانب حمل المياه على ظهر هذه السفن فإن هناك محاولات لتقطير المياه من الحرارة الصادرة من مطبخ السفينة أو من ما كينتها ، وقد استخدمت هذه التقنية خلال القرن التاسع عشر بنجاح ضئيل بسبب التكلفة المترتبة على إنتاج المياه العذبة .

وقد جاءت الخطوة العظيمة في تطور تقنية تحلية المياه المالحة خلال الحرب العالمية الثانية في عام ١٩٤٠م عندما احتاجت مجموعات عسكرية كبيرة إلى الماء العذب لجنودها . ومن هنا ظهرت كوامن الاستفادة من التحلية بوضوح واستمر العمل في هذا المجال في أقطار شتى . وقد كانت هناك جهود مكثفة من جانب الحكومة الأمريكية من خلال تمويل مكتب المياه المالحة (OSW) في باكورة الخمسينات (١٩٥٠م) تبعه مكتب الأبحاث المائية والتقنية (OWRT) وقد مولت الحكومة الأمريكية بنشاط الأبحاث والتطوير لمدة (٣٠) سنة أنفقت خلالها نحو (٣٠٠) مليون دولار في العملية . وقد ساعدت هذه المبالغ في إيجاد كثير من الأبحاث الأساسية والتطوير لمختلف التقنيات في مجال تحلية مياه البحر ومياه الآبار المالحة .

وفي أواخر الستينات (١٩٦٠م) بدأ تركيب وحدات تحلية تجارية بسعة (٨٠٠٠)م^3 يومياً – أي حوالي ٢ مليون جالون أمريكي يومياً – في أجزاء مختلفة من العالم . وكانت معظم هذه الوحدات تدار بالطاقة الحرارية ، غير أنه خلال السبعينات (١٩٧٠م) بدأ استخدام عمليات لوحدات تحلية عن طريق إستخدام الأغشية . وفي البداية استخدمت عملية التقطير لتحلية



إحدى محطات التحلية بالمملكة

مياه الآبار المالحة . ونظراً لأن هذه التقنية مكلفة فقد حد ذلك من إيجاد مصدر للمياه من هذا النوع .

وعندما ادخلت طريقة التحليل الكهربائي لتحلية مياه الآبار المالحة اتضح أنها أكثر اقتصادية ووجد لها عدة تطبيقات ، وبالمثل فإن طريقة التناضح العكسي استخدمت في البداية لتحلية مياه الآبار المالحة غير أنها برهنت على صلاحيتها لتحلية مياه البحر أيضاً .

ومنذ الثمانينات (١٩٨٠م) فقد صارت تقنية التحلية عملاً تجارياً مكتملاً . وقد استفادت التقنية من الخبرة العملية (تارة حسنة وأخرى سيئة) التي توفرت من تشغيل الوحدات التي أنشئت في العقود الماضية . وهناك عدة تقنيات للتحلية تم تطويرها عبر السنين ، وعلى ضوء نجاحها صنفت كعمليات رئيسية صغيرة كما هو موضح فيما يلي :

عمليات التحلية المتوفرة تجارياً

١ – عمليات رئيسية :

التحلية بالحرارة :

- التبخير الوميضي متعدد المراحل MSF
- التبخير متعدد الأثر Mutiple Effect.
- التبخير بالضغط البخاري Vapor Compression

التحلية بالأغشية :

- التحليل الكهربائي Electrodialysis
- التناضح العكسي Reverse Osmosis

٢ – عمليات صغيرة :

- التجميـــد Freezing
- الأغشيـــة Membrane Distillation
- التبخير الشمسي Solar Humidification

إنتشار التحلية في العـــالم

إن الإحصائية التي أعدها المستر كلاوس وانجنك عام ١٩٩٠م ونشرتها منظمة التحلية العالمية أوضحت أن إجمالي السعة المركبة لمحطات التحلية الموجودة في العالم يبلغ نحو ١٣,٢ مليون متر مكعب يومياً (٣,٤٨٠ مليون جالون يومياً) . وتستخدم معدات التحلية الآن في نحو (١٢٠) قطراً ، منها ٥٠٪ تستخدم لتحلية مياه البحر في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا .

وتأتي المملكة العربية السعودية في المرتبة الأولى بنحو ٢٧٪ من سعة تحلية العالم معظمها وحدات لتحلية مياه البحر ، وتليها الولايات المتحدة الأمريكية في المرتبة الثانية بنحو ١٢٪ من سعة تحلية العالم . ومعظم السعة المتوفرة في الولايات المتحدة الأمريكية تشتمل على محطات تحلية بالتناضح العكسي تستخدم لمعالج المياه المالحة الجوفية .

إن إحصائية المستر وانجنك توضح أن معظم السعات المركبة هى من نوع التبخير الوميضي متعدد المراحل والتناضح العكسي ، وتشكل هاتان العمليتان نحو ٨٦٪ من إجمالي السعة المركبة ، والأربع عشرة في المائة (١٤٪) المتبقية تشمل التأثير المتعدد ، التحليل الكهربائي والضغط البخاري ، بينما العمليات الصغيرة تقل عن واحد بالمائة (١٪) .

بيان منظمة التحلية العالمية بالسعة والطريقة لعام ١٩٩٠م

عملية تحلية	النسبة المئوية للسعة العالمية	السعة بالمليون متر مكعباً يومياً	السعة بالمليون جالون يومياً
تبخير وميضي متعدد المراحل	٥٦	٧,٤	١٩٥٠
تناضح عكسي	٣١	٤,١	١٠٨٠
تأثير متعدد	٠٥	٠,٧	٠١٨٠
تحليل كهربائي	٠٥	٠,٦	٠١٦٠
ضغط بخار	٠٣	٠,٤	٠١١٠
إجمالي السعة	**١٠٠**	**١٣,٢**	**٣,٤٨٠**

الدول العربيـــة المستخدمـــة لتقنيـــة التحليـــة

الـــرقم	السعة م٣/يوم	الطريقة	عـــدد الوحدات	عـــدد المحطات	الماء المغذي للمحطـــة
١ – الجـــزائر	١٠,٥٧٠	ED	١٢	١٢	آبار
	٩٥٥	ME	٤	٢	بحر
	٦٠,٥٣٥	MSF	٢٦	١٣	بحر
	٩٦١	Other	١	١	بحر
	٧٨,٢٢٦	RO	٥٢	٣٠	آبار/بحر
	١٣,٦٦٥	VC	١٦	١١	آبار/بحر
	———		—	—	
	١٦٤,٩١٢		١١١	٦٩	
٢ – الإمارات العربية المتحدة	٥,١٠٢	ED	١٢	١٢	آبار
	٢٨٠٠	Other	١	١	رجيع
	٨,٢٦٦	ME	٢٢	١٥	رجيع/آبار/بحر
	١,١٩٥,٧٣٢	MSF	١٠٠	٤٣	بحر
	٧٧,٣١٤	RO	٧٥	٤٣	بحر/آبار
	١٧,٦٣٢	VC	٥٥	٢٦	بحر
	———		—	—	
	١,٣٠٦,٨٤٦		٢٦٥	١٤٠	
٣ – البحـــرين	١٨٧,٧١٣	MSF	١٥	٨	بحر
	١٠٦,٩٨٧	RO	٤٩	٢٥	آبار/بحر
	١٣,١٥٦	ED	٤٤	٤٤	آبار
	٢,٢٦٩	VC	١١	٦	بحر
	١,١٣٥	ME	١	١	آبار
	———		—	—	
	٣١١,٦٢٠		١٢٠	٨٤	

(تابع) الدول العربيـــة المستخدمـــة لتقنيـــة التحليـــة

الـــرقم	السعة م٣/يوم	الطريقة	عـــدد الوحدات	عـــدد المحطات	الماء المغذي للمحطـــة
٤ – مصـــــر	١٧,٩٨٤	RO	٢٣	١٤	آبار
	٢٢,٦٦٩	ED	٢٩	٢٧	آبار
	٢,٣١٧	ME	٧	٦	بحر/آبار
	٥,٠٠٠	VC	١٠	٦	بحر
	٤,٥٤٠	MSF	١٢	٧	بحر
	ـــــ		—	—	
	٥٢,٥١٠		٨١	٦٠	
٥ – العـــــراق	٧٧,٢٣٥	ED	٤٢	٣٥	آبار
	١,١٧٥	ME	٦	٥	آبار/بحر
	١٠,٨٢٤	MSF	٢	١	آبار
	١٢٢,٤٧٣	RO	٦٢	٣٧	آبار
	ـــــ		—	—	
	٢١١,٧٠٧		١١٢	٧٨	
٦ – الأردن	٧١٩	ED	١	١	آبار
	٦,١٤٢	RO	١٠	٦	آبار/بحر
	ـــــ		—	—	
	٦,٨٦١		١١	٧	
٧ – الكـــــويت	١,٢٩٥,٩١١	MSF	٧٠	٢٨	بحر
	٢٧,٧٨٦	RO	٣٤	١٤	آبار/بحر
	٤,١٣٣	ED	١٢	١٢	آبار
	٤,٩٠٤	ME	٩	٢	آبار/رجيع
	١,٧٦٦	Other	٢	٢	رجيع
	١٥٠	VC	١	١	بحر
	ـــــ		—	—	
	١,٣٣٤,٦٥٠		١٢٨	٥٩	

(تابع) الدول العربية المستخدمة لتقنية التحلية

الرقم	السعة م٣/يوم	الطريقة	عدد الوحدات	عدد المحطات	الماء المغذي للمحطة
٨ – لبنان	٥٢٠	MSF	١	١	بحر
	٧١١	RO	٤	٣	آبار/بحر
	٣,٤٦٠	VC	٥	٢	بحر
	———		—	—	
	٤,٦٩١		١٠	٦	
٩ – ليبيا	٤١٤,٢٥٣	MSF	٩٢	٤٦	بحر
	٨٣,٧٧٧	RO	١٤٢	٥٩	آبار/بحر/تصريف
	٦٦,٨٩٤	ED	١١٠	٩٠	آبار
	٥,٩٥٦	ME	٧	٥	بحر
	٤,٠٣٩	VC	١٤	٩	بحر
	١,٢٠٠	Other	١	١	رجيع
	———		—	—	
	٥٧٦,١١٩		٣٦٦	٢١٠	
١٠ – المغرب	٢٨٤	ED	٢	٢	آبار
	٤٠٠	Other	٤	١	بحر
	٦٧٦	RO	٤	٢	آبار
	١,٩٦٤	VC	٩	٥	آبار/بحر
	———		—	—	
	٣,٣٢٤		١٩	١٠	
١١ – عمان	١,٥٠٤	VC	٩	٢	بحر
	٨٩٦	ED	٤	٤	آبار
	٤,٢٠٠	ME	٧	٥	بحر
	١٠٨,٠٦٥	MSF	١٠	٨	بحر
	١٤,٩٩٤	RO	٣٧	٢٦	آبار/بحر
	———		—	—	
	١٢٩,٦٥٩		٦٧	٤٥	

(تابع) الدول العربيـــة المستخدمـــة لتقنيـــة التحليـــة

الـــرقم	السعة م٣/يوم	الطريقة	عـــدد الوحدات	عـــدد المحطات	الماء المغذي للمحطـــة
١٢ – قطـــر	٤,٧١٥	RO	٩	٧	آبار/بحر
	١,٨٤٤	VC	٩	٧	بحر
	١٤٠	ED	١	١	آبار
	٣,٦٤٢	ME	١٠	٤	بحر
	٢٩٧,٧٩٧	MSF	٢٧	١٣	بحر
	———		—	—	
	٣٠٨,١٣٨		٥٦	٣٢	
١٣ – المملكة العربية السعودية	٢,٥٣٣,٦٣٩	MSF	٢٠٦	٧٠	بحر/آبار
	٨٣٢,٩١٣	RO	٨٣٠	٥٥٢	آبار/بحر/تصريف
	٨٢,٥٣٦	ED	١٩٣	١٨٠	آبار
	١٦,٤٦٦	ME	٥٣	٣١	بحر/رجيع
	٣٧,٥٢٨	VC	٥٦	٢٥	آبار/بحر
	———		—	—	
	٣,٥٠٣,٠٨٢		١,٣٣٨	٨٥٨	
١٤ – ســـوريا	٤,٤٢٣	RO	٨	٦	آبار
	١,٢٠٠	ED	٣	١	آبار
	———		—	—	
	٥,٦٣٣		١١	٧	
١٥ – تـــونس	٩,٣٩٧	RO	١٣	٦	آبار
	٤,٢٢٠	VC	١٢	٧	بحر
	٦,٠٥٦	ED	٩	٧	آبار
	٢٤٠	ME	٢	١	آبار
	١٢١	Other	١	١	بحر
	———		—	—	
	٢٠,٣٧٠		٣٨	٢٣	

(تابع) الدول العربيـــة المستخدمـــة لتقنيـــة التحليـــة

الـــرقم	السعة م٣/يوم	الطريقة	عـــدد الوحدات	عـــدد المحطات	الماء المغذي للمحطـــة
١٦ – اليمـــن	١٢٥	VC	١	١	بحر
	١,٣٣٦	RO	١٠	٧	آبار/بحر
	١,٨٠٠	MSF	٥	٢	بحر
	١,٩٥٣	ME	٤	٢	بحر
	—		—	—	
	٥,٢١٤		٢٠	١٢	

مجموع المحطات في العـــالم العربي موضحة بالطريقة والسعة

الطريقـــة	عدد المحطات	عدد الوحدات	السعة م٣/يوم	٪ المجمـــوع
ED	٤٢٨	٤٧٤	٢٩١,٥٩٠	٣,٦٧
ME	٧٩	١٣٢	٥١,٢٠٩	٠,٦٤
MSF	٢٤١	٥٦٧	٦,١١١,٦٦٥	٧٦,٩٢
Other	٧	١٠	٧,٢٤٨	٠,٠٩
(Thermal Process)				
RO	٨٣٧	١٣٦٢	١,٣٨٩,٨٥٤	١٧,٥٠
VC	١٠٨	٢٠٨	٩٣,٧٦٠	١,١٨
المجمـــوع	**١,٧٠٠**	**٢,٧٥٣**	**٧,٩٤٥,٣٢٦**	**١٠٠,٠٠**

☐ مجموع ما تنتجه محطات التحلية في العالم أكثر من ١١,٩٣٤,٦٧٨ م٣/يومياً . ☐ مجموع المياه المنتجة في العالم العربي = ٧,٩٤٥,٣٢٦ م٣/يومياً .

☐ نسبة مجموع المياه المنتجة في العالم العربي مقارنة بالانتاج العالمي = ٦٦;٣٪

☐ نسبة مجموع المياه المنتجة في المملكة العربية السعودية مقارنة بالانتاج العالمي = ٢٩,١٪

تقنيات التحليـــة :

تفصل طريقة التحلية بشكل جوهري المياه المالحة إلى تدفقين : أحدهما بتركيز أملاح منخفض (تدفق المياه العذبة) والآخر يحتوي على الأملاح الذائبة المتبقية (المركز أو التدفق المالح) وتحتاج الطريقة إلى قوة لتشغيلها وتستخدم عدة وسائل للفصل ، وهذا القسم يشرح بإيجاز العمليات المختلفة المستخدمة عادة لتحلية المياه المالحة .

العمليات الحـــرارية :

أكثر من (٦٠٪) من عمليات تحلية المياه المالحة في العالم تستخدم الحرارة لفصل المياه العذبة من مياه البحر . وعملية التقطير تشبه عملية دورة المياه الطبيعية من حيث تسخين المياه المالحة لتولد بخاراً يتكثف لتكوين مياه عذبة . وفي المعمل أو المصنع فإن الماء يسخن إلى درجة الغليان ليولد أقصى كمية من البخار .

ولكي يتم ذلك إقتصادياً في محطة التحلية فإن درجة الغليان يتم التحكم فيها بواسطة التحكم في الضغط الهوائي على الماء المراد غليانه حيث تنخفض درجة حرارة الماء المراد غليانه مع إنخفاض الضغط الهوائي كلما زاد الارتفاع عن سطح البحر . وهكذا يمكن أن يتم غليان الماء عند درجة حرارة ١٦ درجة مئوية أقل من درجة الغليان على سطح البحر وعلى إرتفاع ٦٢٠٠ متر (٢٠,٣٠٠) قدم . وانخفاض درجة حرارة الغليان مهمة بالنسبة للتحلية لسببين رئيسين : هما تعدد مراحل الغليان والتحكم في القشور .

ولكي نغلي الماء فإن هناك حالتين مهمتين : درجة الحرارة المناسبة ذات الصلة بضغطه الجوي ، وحرارة (طاقة) كافية للتبخير . وعند تسخين الماء إلى درجة حرارة غليانه ثم يُفصل مصدر الحرارة فإن الماء يستمر في الغليان لفترة قصيرة نظراً لأنه يحتاج إلى طاقة إضافية (حرارة التبخير) ليستمر الغليان . وبمجرد أن يقف غليان الماء فإنه يمكن استئناف الغليان إما بإضافة حرارة إضافية أو بتخفيض الضغط على الماء . وإذا تم تخفيض الضغط الجوي فإن الماء يكون على درجة حرارة أعلى من درجة حرارة غليانه نتيجة لانخفاض الضغط وبالتالي يتبخر الماء لوجود هذه الحرارة الزائدة ليوفر حرارة التبخر . وكنتيجة لتزويد حرارة التبخير (Heat of Vaporization) فإن درجة حرارة الغليان سوف تهبط إلى درجة غليان جديدة . أي أن الماء الذي يتبخر عند درجة ١٠٠°م فإنه عند تخفيض الضغط فإن الماء يتبخر عند ٨٠ درجة مثلاً .

ولكي يتم تخفيض كمية الطاقة اللازمة للتبخير فإن عملية التحلية بالتقطير تستخدم الغليان المتعدد في مواعين متتالية كل واحدة منهـــا أقل درجة حرارة وأقل ضغط من الذي قبله – وعملية تخفيض الضغط الجوي لتعجيل الغليان يمكن أن يتتابع تنازلياً ، مع التخفيض الكافي للضغط ، للحصول على نقطة الغليان أو التجميد المتدنية .

وبجانب الغليان المتعدد هناك عامل آخر هو التحكم في تكوين القشور . وعلى الرغم من أن معظم المواد تذوب في الماء الساخن إلا أن بعضها الآخر يذوب في الماء البارد . وبعض هذه المواد مثل الكاربونات والسلفات موجودة في مياه البحر وأهمها الجبس الذي يبدأ الإنفصال عن الماء عند درجة حرارة تقارب الخمس والتسعين (٩٥) درجة مئوية (٢٠٣ درجة فهرنهايت) وتشكل هذه المادة قشوراً صعبة تكوّن طبقة على الأنابيب والمواعين التي تحتويها . وتشكل القشور مشكلة حرارية وميكانيكية ، ويصعب تحريكها بعد تكوينها .

وأفضل طريقة لتجنب تكوين هذه القشور هى الحفاظ على غليان الماء عند درجة حرارة أقل من (٩٥) درجة مئوية .

وهاتان الفكرتان ساهمتا في إنجاح مختلف أشكال التحلية في أماكن من العالم . وأشهر أنواع التحلية هى طريقة التبخير الوميضي متعدد المراحل وهو ما يختصر باسم إم.إس.إف (MSF) .

التحلية بطريقة التبخير الوميضي :

في هذه الطريقة يتم تسخين ماء البحر في وعاء يسمى السخان الملحي (BRINE HEATER) ويتم ذلك عن طريق تكثيف البخار على أسطح أنابيب تمر داخلياً عبر السخان الملحي مما يؤدي إلى تسخين ماء البحر داخل هذه الأنابيب . وماء البحر الساخن ينساب في السخان الملحي إلى وعاء آخر يسمى المبخر في أول مراحله حيث مستوى الضغط المنخفض الذي يجعل الماء يغلي مباشرة . ودخول الماء الساخن المفاجيء إلى المرحلة (STAGE) يجعله يغلي بسرعة ويتبخر فجأة حيث يتحول جزء يسير منه إلى بخار ماء ، إعتماداً على مستوى الضغط في المرحلة . ويستمر التبخر حتى يبدأ الماء في الميل نحو البرودة معطياً حرارة التبخر اللازمة (HEAT OF VAPORIZATION) حتى يصل درجة الغليان .

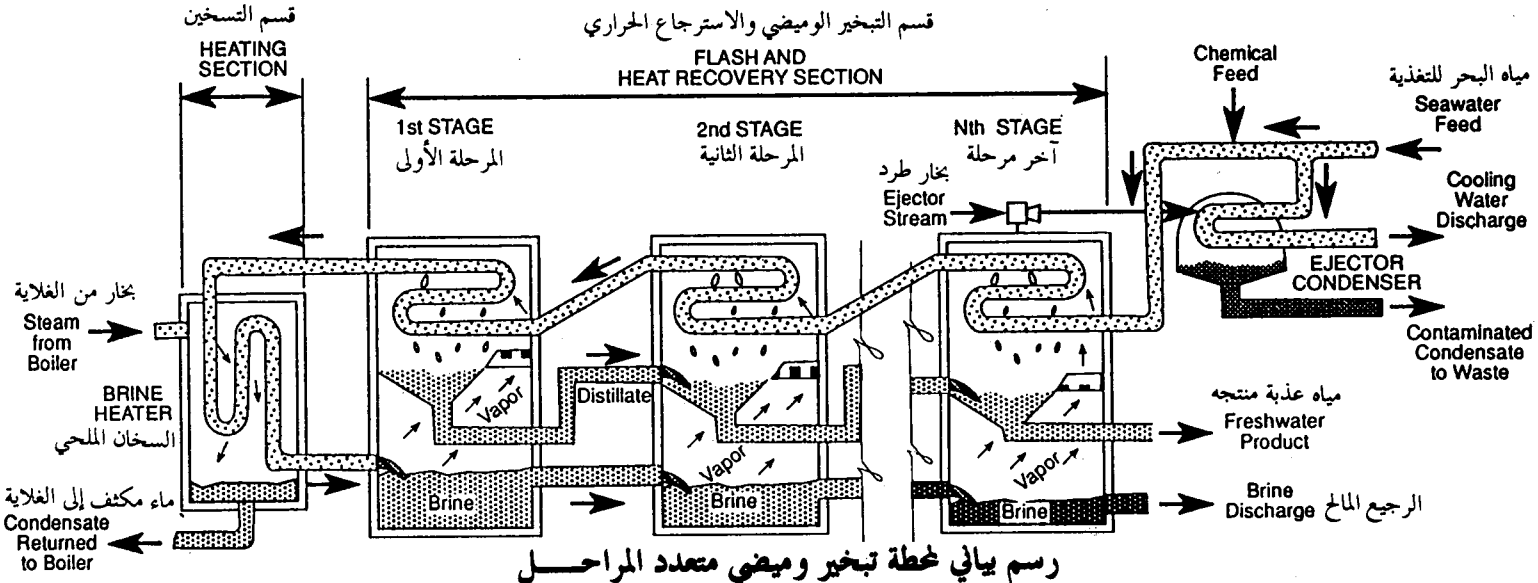
وفكرة تقطير الماء في وعاء منخفض الضغط ليست جديدة بل استخدمت منذ ما يزيد عن قرن من الزمان . وخلال الخمسينات (١٩٥٠) تم تطوير وحدة تحلية بها سلسلة من المراحل ضبطت على ضغوط منخفضة متتالية . وفي هذه الوحدة تمر مياه التغذية من مرحلة إلى أخرى وتغلى تكراراً بدون اضافة طاقة حرارية . ويمكن لوحدة التحلية أن تحتوي على مراحل من ٤ إلى ٤٠ مرحلة .

أما البخار المولد وميضياً فيتحول إلى مياه عذبة عند تكثيفه على سطوح أنابيب المبادلات الحرارية التي تمر عبر المرحلة . ويتم تبريد الأنابيب بماء البحر المتجه نحو السخان الملحي . وهذا بدوره يسخن مياه التغذية وبالتالي يقلل ذلك من كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين مياه التغذية في السخان الملحي .

لقد تم تجارياً إنشاء محطات التحلية بطريقة التبخير الوميضي منذ الخمسينات (١٩٥٠) . وغالباً ما تنشأ وحدات بسعة ٤,٠٠٠ – ٣٠,٠٠٠ متر مكعب مياه يومياً ١ – ٨ مليون جالون مياه يومياً . ويتم تشغيل هذه الوحدات عادة عند درجة حرارة لمياه التغذية (بعد السخان الملحي) تتراوح ما بين (٩٠ – ١٢٠) درجة مئوية أي(١٩٤ – ٢٤٨) درجة فهرنهايت . 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 ١٢٠ درجة مئوية بغرض زيادة كفاءتها ربما يؤدي الغرض غير أنه يتسبب في زيادة إمكانية تكوين القشور والإسراع في تآكل السطوح المعدنية .

التحلية بطريقة التأثير المتعدد :

لقد استخدمت طريقة التحلية بالتأثير المتعدد في مجال الصناعة منذ زمن طويل ، ومن ضمن الاستخدامات المتعارفة صناعياً لهذه الطريقة هى تبخير العصير من قصب السكر لإنتاج السكر أو إنتاج الملح بطريقة التبخير . وقد استخدمت طريقة التبخير بالتأثير المتعدد في بعض محطات التحلية منذ وقت مبكر غير أنها استبدلت بوحدات التبخير الوميضي لعوامل قلة التكلفة



رسم بياني لمحطة تبخير وميضي متعدد المراحـــل

Diagram of a multi-stage flash distillation plant.

وزيادة الكفاءة . وعلى كل فخلال العقد الماضي تم العودة من جديد إلى عملية التأثير المتعدد حيث تم إنشاء عدة تصاميم جديدة . ومعظم الوحدات الجديدة أنشئت بغرض التشغيل عند درجة حرارة منخفضة .

وطريقة التأثير المتعدد مثلها في ذلك مثل طريقة التبخير الوميضي متعدد المراحل تتم في سلسلة من المواعين (أو الغرف) (Effects) مستخدمة مبدأ تخفيض الضغط الجوي في المواعين (الغرف) المختلفة . وهذا يسمح لمياه التغذية من البحر بالغليان عدة مرات بدون زيادة حرارة إضافية بعد الإناء (التأثير) الأول . وفي هذه الطريقة يدخل ماء البحر إلى المرحلة الأولى (FIRST EFFECT) حيث ترفع درجة حرارته بعد تسخينه في الأنابيب إلى نقطة الغليان . فهو (ماء البحر) إما أن ينثر أو يوزع على سطوح الأنابيب المبخرة في شكل فيلم رقيق لتعجيل الغليان والتبخير . أما الأنابيب فيتم تسخينها بواسطة بخار من غلاية ، أو أي مصدر آخر ، حيث يتم تكثيفه أخيراً على الجانب الآخر من الأنابيب . أما الماء المكثف فيعاد إلى الغلاية مرة أخرى لإعادة استخدامه ، وهكذا تستمر الدورة – بخار – ماء مكثف – بخار ... ماء مكثف .....

ويتبخر جزء فقط من ماء البحر المنثور على سطوح الأنابيب في التأثير

إحدى محطات التقطير الوميضي

الأول (الغرفة الأولى) . وما يتبقى من مياه البحر للتغذية يوجه إلى التأثير الثاني (الغرفة الثانية) حيث يتم نثره على سطوح الأنابيب التي تسخن من قبل البخار الذي كان قد أنتج في التأثير الأول . وهذا البخار يتكثف إلى ماء منتج بينما يعطي حرارة إلى ماء البحر الموجه إلى التأثير التالي (الثالث) لتبخيره . وتستمر هذه العملية في عدة تأثيرات (غرف) ما بين ٨ إلى ١٦ تأثيراً (غرفة) وهو الرقم المتعارف عليه في المحطات الكبيرة .

ومن المعروف أن ماء البحر المتبقي في أي تأثير (غرفة) يتم ضخه إلى التأثير التالي ليتم نثره على حزمة الأنابيب التالية . ويتم تكثيف إضافي في كل تأثير على حزمة أنابيبه التي تحمل ماء البحر من منبعه إلى التأثير الأول .

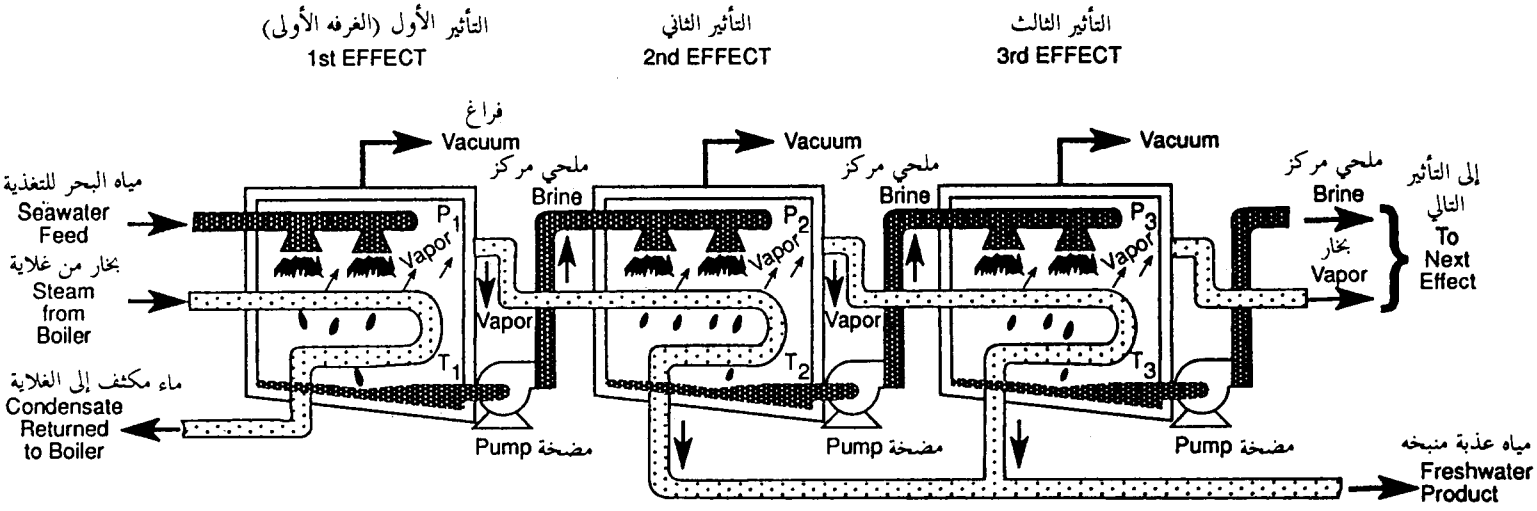
إن محطات تحلية المياه بالتأثير المتعدد قد أنشئت في شكل وحدات طاقة كل منها نحو ٢٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ متر مكعب مياه يومياً (٠,٥ – ٢,٥ مليون جالون مياه يومياً) .

ومن المحطات الحديثة التي أنشئت ليتم تشغيلها عند درجة حرارة تبلغ ٧٠ درجة مئوية (١٥٨ درجة فهرنهايت) في التأثير الأول مما يؤدي إلى تخفيض إمكانية تكوين القشور في المحطة غير أنه يتطلب أسطح إضافية لنقل الحرارة في شكل أنابيب . ومعظم المحطات الحديثة في مجال التحلية بالتأثير المتعدد موجودة في منطقة الكاريبي . وعلى الرغم من أن أعداد محطات التأثير المتعدد ما زالت ضئيلة نسبياً بالمقارنة مع محطات التبخير الوميضي متعدد المراحل إلا أن عددها في تزايد .

التحلية بطريقة ضغط البخـــار :

تستخدم تقنية التحلية بطريقة ضغط البخار عادة في وحدات تحلية مياه البحر الصغيرة والمتوسط السعة ، وتأتي حرارة توليد بخار الماء من عملية ضغط البخار بدلاً من التبادل الحراري المباشر للبخار الذي يأتي من الغلاية والمحطات التي تستخدم هذه العملية تصمم عادة للاستفادة من تخفيض درجة حرارة الغليان الناتجة عن تخفيض الضغط . وتستعمل طريقتان رئيسيتان لتكثيف البخار لإنتاج حرارة كافية لتبخير مياه البحر القادمة للتغذية : هما الضغط الميكانيكي أو تدفق بخار نافوري (STEAMJET) . أما الضاغط الميكانيكي الذي يدار بالكهرباء فهو المصدر الوحيد للإستفادة من القوة الكهربائية لإنتاج الماء بالتقطير .

وقد أنشئت وحدات ضغط البخار في أشكال متنوعة لتطوير التبادل الحراري لتبخير مياه البحر . ويوضح الرسم طريقة مبسطة لاستخدام



رسم بياني لمحطة تعمل بطريقة التأثير المتعدد ***Diagram of a multiple effect plant.***

ضاغطة ميكانيكية لتوليد الحرارة للتبخير . وتحدث الضاغطة فراغاً في الوعاء ثم تضغط البخار المأخوذ من الوعاء فتكثفه داخل حزمة من الأنابيب في نفس الوعاء ، ويتم نثر ماء البحر على سطح الحزمة (حزمة الأنابيب – TUBE BUNDLE) حيث يغلي ويتبخر جزئياً لتوليد بخار من جديد .

أما وحدة ضغط البخار التي تستخدم تدفق البخار النافوري ، وتسمى أيضاً ضاغطة حرارية (THERMOCOMPRESSOR) ففيها انضباطة تدفق لدى فوهة التدفق لجذب بخار الماء لإحداث إنخفاض الضغط في الوعـــاء الرئيسي . ويتم ضغط البخار المجذوب بواسطة إنبثاق البخار حيث يختلطان ، ومن ثم يتم تكثيف هذا الخليط على جدار الأنبوب لتوفير الطاقة الحرارية (حرارة التكثيف) لتبخير ماء البحر الموجودة في الجانب الآخر من الأنبوب .

وتتراوح سعة وحدات ضغط البخار التي تستخدم تدفق البخار النافوري ما بين ٢٠ – ٢٠٠٠ متر مكعب يومياً (٠,٠٠٥ – ٠,٥ مليون جالون يومياً) وغالباً ما تستخدم في المصايف والصناعات ومواقع حفريات الآبار حيث لا يتوفر الماء العذب في البداية .

تقنية التحليـــة بالأغشية :

تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً مهماً في فصل الأملاح . ويشمل هذا طريقتي الديلزة (DIALYSIS) والتناضح (OSMOSIS) حيث استخدمت

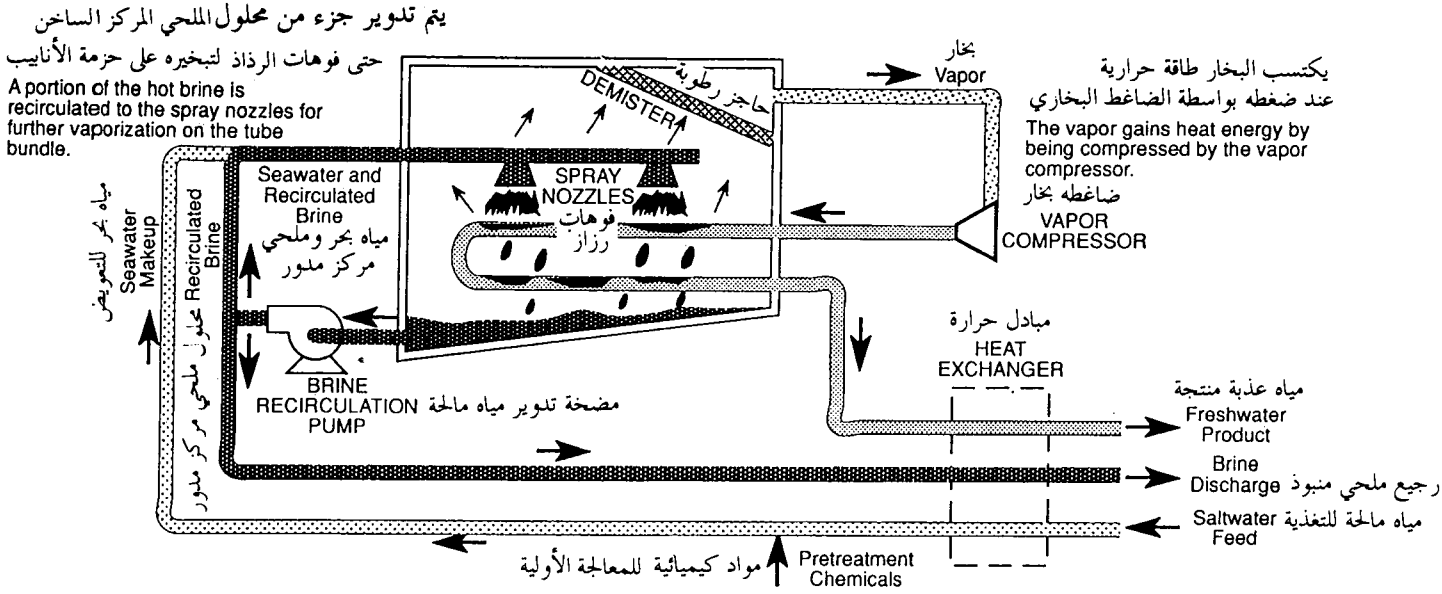


Diagram of a mechanical vapor compression plant. **رسم بياني لمحطة تعمل بطريقة ضغط البخار الميكانيكي**

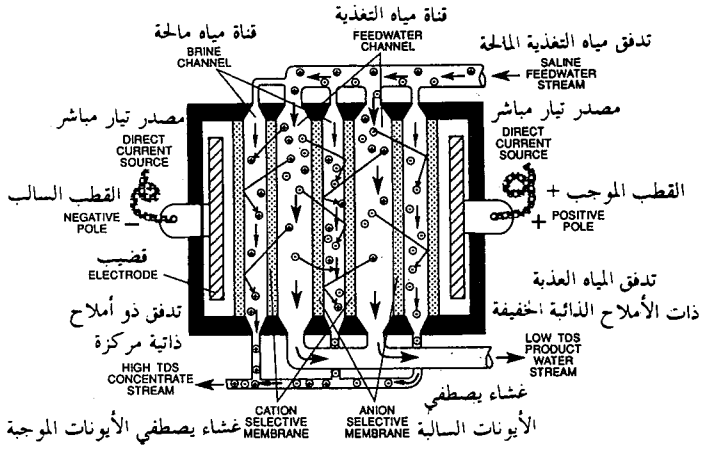
الأغشية في كل من الديلزة الكهربائية (ELECTRODIALYSIS) والتناضح العكسي (REVERSE OSMOSIS) وتظهر كلتا الطريقتين القدرة المتناهية على تصنيف وفرز الملح من الماء بكفاءة . وتستخدم الأغشية بطريقة مغايرة في كلتا الحالتين . أما الديلزة الكهربائية فتستخدم الجهد الكهربائي لتحريك الأملاح إنتقائياً من خلال الغشاء مخلفة الماء العذب كماء منتج . أما التناضح العكسي فيستخدم الضغط لعملية الفصل من خلال الغشاء بحيث يمر الماء العذب من خلال الغشاء تاركاً خلفه الأملاح . وقد تم تمحيص كلتا الفكرتين منذ بداية القرن الحالي غير أنهما لم يستثمرا تجارياً إلا خلال الثلاثين سنة الماضية .

عملية الفرز الكهربائي (الديلزة) :

عرفت الديلزة الكهربائية تجارياً منذ الستينات (١٩٦٠) أي عشرة سنوات قبل التناضح العكسي . وقد وفر تطوير الديلزة الكهربائية أسلوب تكلفة فعال لتحلية مياه الآبار المالحة وفسح المجال للإهتمام في هذا الشأن .

وتعتمد تقنية الديلزة الكهربائية على الأسس العامة التالية :

- ☐ أغلب الأملاح الذائبة في الماء متأينة إيجابياً (CATHODIC) أو سلبياً (IONIC) .
- ☐ هذه الأيونات تنجذب نحو القطب الكهربائي (ELECTRODE) حسبما تحمله من شحنة كهربائية (ELECTRIC CHARGE) .



تحرك الأيونات في عملية الديلزة الكهربائية

Movement of ions in the electrodialysis process.

☐ يمكن إنشاء أغشية تسمح إنتقائياً بمرور الإيونات حسب شحنتها الكهربائية (سلباً أو إيجاباً) .

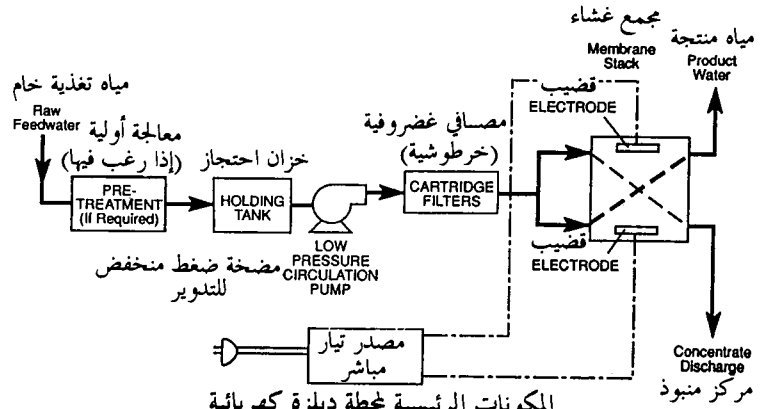
إن محتويات الأيونات الذائبة في المحلول الملحي مثل الصوديوم (+) ، الكلورايد (−) ، الكالسيوم (++) ، والكاربونات (− −) تظل منتشرة في الماء لتتولى معادلة شحناتها الخاصة . وعند توصيل الأقطاب الكهربائية إلى مصدر تيار خارجي مثل البطارية المتصلة بالماء فإن الأيونات تتجه نحو الشحنات المعاكسة لشحناتها والموجودة في المحلول وذلك من 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 الإيجابية ثم غشاء آخر لانتقاء الأيونات ذات الشحنة السلبية ، مع وضع لوح فاصل بين كل غشاءين يسمح بإنسياب الماء بين الغشاءين . ويشكل أحد اللوحين الفاصلين قناة تحمل مياه التغذية والمياه المنتجة بينما يشكل اللوح الفاصل الآخر قناة تحمل مياه الرجيع . وحيث أن الأقطاب الكهربائية مشحونة وتنساب مياه التغذية المالحة عبر اللوح الفاصل بزاوية مستقيمة على القطب ، فإن الإيونات تنجذب وتتجه نحو القطب الإيجابي . وهذا يؤدي إلى تخفيف تركيز أملاح قناة الماء المنتج . وتمر الأيونات المشحونة سلبياً من خلال الغشاء الانتقائي لها ولكنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء الخاص بالأيونات الإيجابية والذي يقفل خطها وتبقى الأيونات السلبية في الماء المالح (الرجيع) . وبالمثل فإن الأيونات الإيجابية تحت تأثير القطب السلبي تتحرك في الاتجاه المعاكس من خلال الغشاء المنتقي للأيونات الإيجابية إلى القناة ذات الماء المركز في الجانب الآخر ، وهنا يتم اصطياد الأيونات الإيجابية حيث أن الغشاء التالي ينتقي الأيونات السلبية ويمنع أي تحرك نحو القطب .

وبهذا الأسلوب يتم إيجاد محلولين واحد مركز والآخر قليل التركيز بين الغشاءين المتعاقبين المتجاورين . وهذان الفراغان المحتويان من قبل الغشاءين (واحد للأيونات السلبية والآخر للإيجابية) 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 أنسياب المياه المنتجه المحلاة كما يمر الماء المركز من المجمع .



المكونات الرئيسية لمحطة ديلزة كهربائية
Basic components of an ED plant.

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

وتتكون وحدة الديلزة الكهربائية من العناصر الأساسية التالية :

- ☐ مرفق المعالجة الأوليـــة .
- ☐ مجمع الأغشيـــة .
- ☐ مضخة تدوير ذات ضغط منخفض .
- ☐ إمداد طاقة للتيار المباشر (مقوم – RECTIFIER) .
- ☐ معالجة نهائيـــة .

يجب معالجة مياه التغذية منذ البداية لمنع المواد التي تعوق 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 الهايدروجين أو تعديل درجة القلوية.

تقنية الديلزة الكهربائية المعكوسة :

ELECTRODIALYSIS REVERSAL PROCESS (EDR):

منذ باكورة السبعينات (١٩٧٠) قدمت إحدى الشركات الأمريكية عملية الديلزة الكهربائية المعكوسة على أساس تجاري . وتقوم وحدة الديلزة الكهربائية المعكوسة عموماً على ذات الأسس التي تقوم عليها وحدة الديلزة الكهربائية غير أن كلاً من قناتي الماء المنتج والماء المركز متطابقتان في التركيب الإنشائي ، وعلى فترات متعددة من الساعة الواحدة تنعكس قطبية الأقطاب كما ينعكس الأنسياب آنياً بحيث تصبح القناة المنتجة هى قناة المياه المركزة وقناة المياه المركزة هى قناة المياه المنتجة ، والنتيجة هى أن الأيونات تنجذب في الاتجاه المعاكس عبر مجمع الأغشية ، وبمجرد إنعكاس القطبية والإنسياب فإن كمية وافية من المياه المنتجة تتصرف حتى يتم غسيل خطوط مجمع الأغشية ويتم الحصول على نوعية المياه المرغوبة . وتستغرق عملية الغسيل هذه ما بين ١ – ٢ دقيقة ثم تستأنف عملية إنتاج المياه . ويفيد إنعكاس العملية في تحريك وغسيل القشور والمخلفات الأخرى في الخلايا قبل

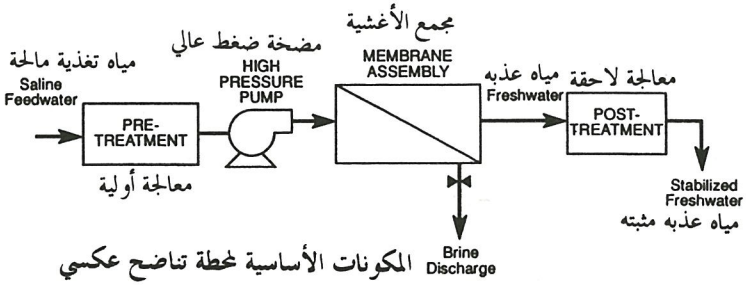
تراكمها وتسببها لبعض المعضلات (الإنسداد مثلاً) . والغسيل يسمح للوحدة بالتشغيل بقليل من المعالجة الأولية ويقلل إتساخ الأغشية .

التطبيـــــق :

تتميز تقنية الديلزة الكهربائية ببعض الخصائص التي يمكن تلخيصهـــا فيما يلي :

- ☐ المقدرة على الإستخلاص العالية (كثير من المياه المنتجة وقليل من مياه الرجيع) .
- ☐ تتناسب كمية الطاقة مع كمية الأملاح المزالة .
- ☐ المقدرة على معالجة المياه التي تحتوي على عوالق أكثر مقارنة مع التناضح العكسي .
- ☐ عدم التأثر بالمواد غير المؤينه مثل السيليكا .
- ☐ استخدام كميات ضئيلة من المواد الكيميائية في عملية المعالجة الأولية .

وتستخدم وحدات الديلزة الكهربائية عموماً لتحلية مياه الآبار المالحة . ومتطلبات الطاقة الرئيسية تتمثل في التيار المباشر لفصل المواد المتأينة في مجمع الأغشية .



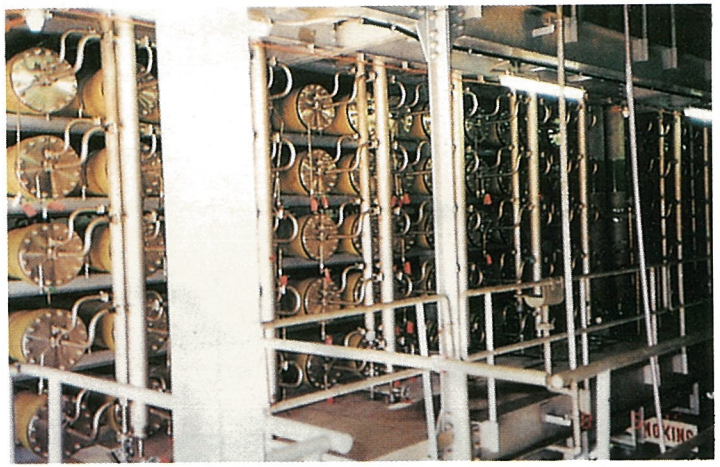
المكونات الأساسية لمحطة تناضح عكسي

Basic components of a reverse osmosis plant.

التناضح العكســـي :

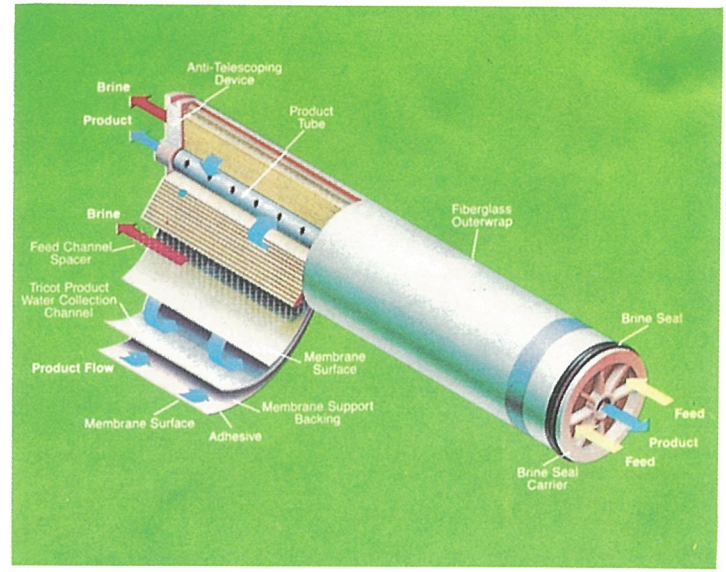
تعتبر عملية التنـاضـح العكسي حديثـة بالمقارنة مع عمليتي التقطير والـديلزة حيث تم تقديمها تجارياً خلال السبعينات (١٩٧٠) . وتعرف عملية التنـاضـح العكسي على أنها عملية فصـل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء . ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل .

ومن النـاحية التـطبيقية 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 جزءاً من مياه التغذية يتم التخلص منها دون أن تمر عبر الغشاء . وبدون هذا التخلص فإن الإزدياد المـطرد لملوحـة مياه التغـذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة ، مثل زيادة الملوحة والترسبات وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية . وتتراوح كمية المياه المتخلص منهـا بهذه الطريقة ما بين ٢٠ إلى ٧٠٪ من مياه التغذية إعتماداً على كمية الأملاح الموجودة في مياه التغذية .



محطة تناضح عكسي

A-15 and C-1 Spiral-Wound Cartridges

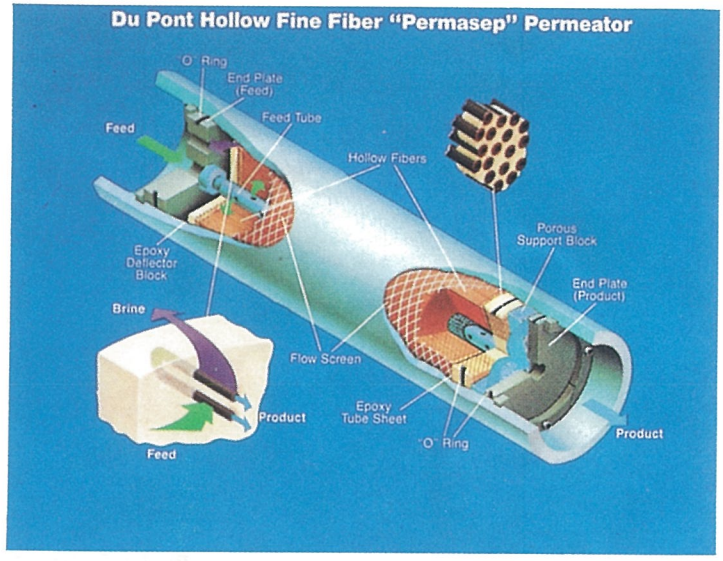


ويتكون نظام التناضح العكسي من الآتي :

- ☐ معالجة أوليـــة .
- ☐ مضخة ذات ضغط عال .
- ☐ مجمع أغشـــية .
- ☐ معالجة نهائية (أخيرة) .

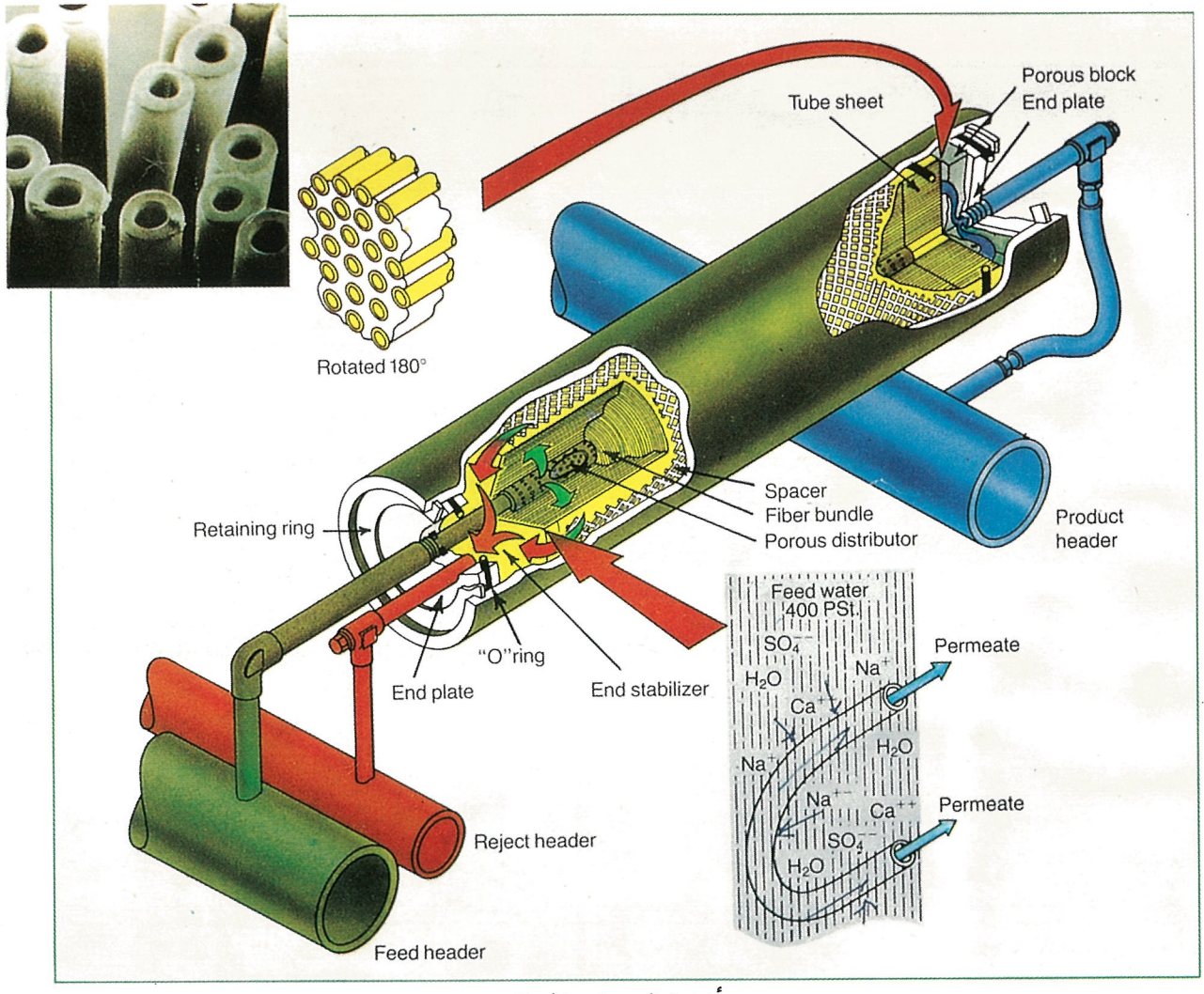
والمعالجة الأولية مهمة لأن مياه التغذية يجب أن تمر عبر ممرات ضيقة أثناء العملية ، كذلك يجب إزالة العوالق ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها على الأغشية . وتشمل المعالجة الكيميائية التصفية وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخرى لمنع الترسيب .

B-10 and B-9 Hollow Fine Fiber Permeators



والمضخة ذات الضغط العالي توفر الضغط اللازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح . وهذا الضغط يتراوح ما بين ١٧ إلى ٢٧ باراً (٢٥٠ – ٤٠٠ رطل على البوصة المربعة) لمياه الآبار و ٤٥ إلى ٨٠ باراً (٨٠٠ – ١١٨٠ رطل على البوصة المربعة) لمياه البحر .

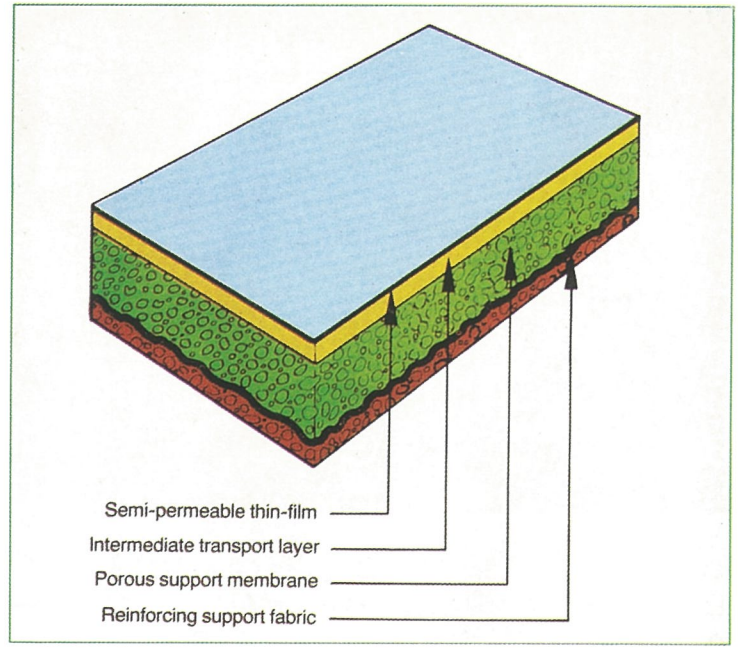
ويتكون مجمع الأغشية من وعاء ضغط وغشاء يسمح بضغط الماء عليه كما يتحمل الغشاء فارق الضغط فيه . والأغشية نصف المنفذة قابلة للتكسُّر وتختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب وحجز الأملاح . وليس هناك غشاء محكم إحكاماً كاملاً في طرد الأملاح ، ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة .



أغشية الشعيرات المجوفة

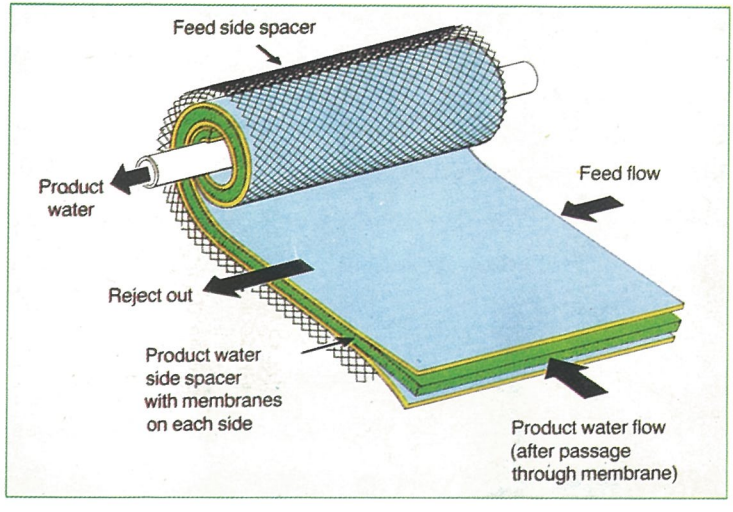
The Hollow Fine Fiber System

مقطع للغشاء المنفذ



Cross sectional interfacially formed thin film composite membrane

نوع من أنواع الأغشية – ملفوف من طبقات مختلفة



Spiral wound membrane element construction

وتصنع أغشية التناضح العكسي من أنماط مختلفة . وهناك إثنان ناجحان تجارياً وهما اللوح الحلزوني والألياف/الشعيرات الدقيقة المجوفة . ويستخدم هذان النوعان لتحلية كل من مياه الآبار ومياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط اعتماداً على المصنع وملوحة الماء المراد تحليته .

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

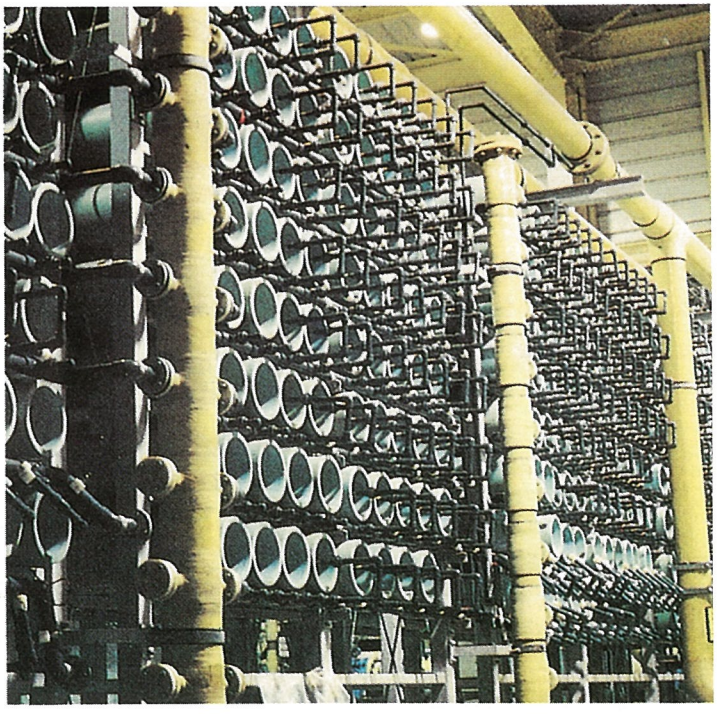
وهناك تطوران ساعدا على تخفيض تكلفة تشغيل محطات التناضح العكسي أثناء العقد الماضي هما : تطوير الغشاء الذي يمكن تشغيله بكفاءة عند ضغوط منخفضة وعملية استخدام وسائل استرجاع الطاقة . وتستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه الآبار على نطاق واسع .

وتتصل وسائل إسترجاع الطاقة بالتدفق المركز لدى خروجه من وعاء الضغط . ويفقد الماء أثناء تدفقه المركز من ١ إلى ٤ بارات (١٥ – ٦٠ رطل على البوصة المربعة) من الضغط الخارج من مضخة الضغط العالي ووسائل استرجاع الطاقة هذه ميكانيكية وتتكون عموماً من توربينات أو مضخات من النوع الذي بوسعه تحويل فارق الضغط إلى طاقة محركة .

عمليات أخـــــرى :

تم استخدام عدة عمليات أخرى لتحلية المياه المالحة غير أن هذه

منظر داخلي لمحطة تناضح عكسي



العمليات لم تصل إلى مستوى النجاح التجاري الذي وصل إليه كل من عملية الديلزة الكهربائية والتناضح العكسي ، ولكن ربما تبرهن على فائدتها تحت ظروف خاصة أو مع التطور المستقبلي . وأبرز هذه العمليات هى التجميد ، التقطير بالأغشية والتبخير الشمسي

التجميـــــــد :

لقد بذل مجهود عظيم خلال الخمسينات (١٩٥٠) والستينات لتطوير

تقنية التحلية بالتجميد . وأثناء عملية التجميد يتم عزل الأملاح خلال عملية تكوين بلورات الثلج . ويمكن تحلية مياه البحر بتبريد الماء ليكون بلورات ثلج تحت ظروف محكمة . وقبل تجميد الماء كلية يتم غسل المزيج لفصل الأملاح من الماء المتبقي أو العالقة ببلورات الثلج . ومن ثم يذوَّب الثلج للحصول على الماء العذب .

ومن الناحية النظرية فإن للتجميد بعض الميزات على التقطير وهى الطريقة الشائعة أثناء فترة تطوير التجميد ، وتشمل هذه الميزات قلة الطاقة المطلوبة ، ضآلة احتمال التآكل وقليل من القشور أو الترسيب . ومن مساوئها أن العمل بها يتم عند فصل خليط الماء والثلج بطريقة ميكانيكية معقدة وصعبة .

وقد تم إنشاء قليل من المحطات خلال الأربعين (٤٠) سنة الماضية غير أن العملية لم تحرز نجاحاً تجارياً في توفير الماء للأغراض البلدية .

وأحدث مثال لمحطة تحلية بالتجميد كان محطة تجريبية تدار بالطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية في أواخر الثمانيات (١٩٨٠) . وقد تم إنهاء التجربة وتفكيك المحطة . ويمكن القول في هذه المرحلة أن تقنية التحلية بالتجميد يمكن تطبيقها في معالجة مياه الصرف بدلاً من استخدامها في إنتاج مياه شرب محلية .

التقطير الغشـــائي :

لقد تم تقديم تقنية تقطير الأغشية تجارياً على نطاق ضيق في الثمانيات (١٩٨٠) . وكما يشير الاسم فإن العملية تشمل كلاً من استخدام التقطير والأغشية ، وتتضمن العملية تسخين المياه المالحة لإنتاج البخار الذي يمر عبر غشاء يسمح بمروره دون مرور الماء . وبعد عبور البخار للغشاء فإنه يتكثف على سطح بارد لتجميع الماء العذب المنتج . ولا يستطيع الماء بعد تكثيفه أن يمر عبر الغشاء في شكل ماء تارة أخرى . ولذلك يتم حصره وتجميعه كإنتاج للمحطة ، ولذلك فإن إستخدام هذه العملية كان في نطاق ضيق . ومقارنة مع العمليات الناجحة تجارياً فإن تقنية التقطير الغشائي تحتاج إلى فراغ أوسع وربما مقدار أكبر من الطاقة للضخ لكل وحدة منتجة (كيلوات/متر^3). وحيث أنها عملية تقطير بالضرورة فإنها تخضع لذات عوامل الأداء المتعلقة بعملية التقطير .

والميزة الرئيسية لعملية التقطير الغشائي تكمن فى بساطتها والفارق الحراري البسيط لتشغيلها ، وأفضل تطبيق لهذه العملية في تحلية المياه المالحة يتجلى في توفير طاقة حرارية ذات درجة متدنية قليلة التكلفة يمكن الحصول عليها من المصانع أو من خلايا تجميع الطاقة الشمسية .

التبخير الشمســـي :

تم بحث واستخدام الطاقة الشمسية المباشرة لتحلية المياه المالحة لبعض الوقت خلال الحرب العالمية الثانية حيث بذل مجهود كبير لتصنيع وحدات تقطير شمسية صغيرة لاستخدامها في أطواق النجاة . وقد استمر هذا العمل بعد نهاية الحرب العالمية الثانية بمختلف الوسائل والاختبارات . وتضمنت هذه الوسائل عموماً محاكاة الدورة المائية الطبيعية حيث يتم تسخين الماء المالح بأشعة الشمس لزيادة إنتاج بخار الماء (الترطيب) . ويتم بعد ذلك تكثيف البخار على سطح بارد ويتم تجميع الماء المكثف كماء منتج . ومثال ذلك هو وحدة التقطير في البيت الأخضر حيث يتم تسخين الماء المالح في إناء

على الأرضية ويتكثف البخار على سقف البيت الزجاجي المنحدر والذي يغطي الإناء . وقد تم القيام بمجهودات مكثفة لزيادة كفاءة وحدات التقطير هذه غير أن الصعوبات التي تكتنف هذا العمل قللت من استخدام هذه التقنية للانتاج على نطاق واسع . وتشمل هذه الصعوبات :

- ☐ الحاجة إلى مناطق تجميع كبيرة على نطاق واسع .
- ☐ التكلفة الرأسمالية العالية
- ☐ التعرض للأضرار الجوية .

ومن بديهيات وحدات التقطير الشمسية أن إنتاج أربع (٤) لترات من الماء يومياً يحتاج إلى مساحة متر مربع مجمعات شمسية (١٠ أقدام مربعة لكل جالون واحد) وبالتالي لانتاج أربعة آلاف (٤,٠٠٠) متر مكعب يومياً فإن مساحة من الأرض تبلغ مائة (١٠٠) هكتار لابد من توفيرها (٢٥٠ فدان / مليون جالون يومياً) .

وتحتاج هذه العملية إلى مساحات شاسعة وربما سببت بعض المشاكل إذا كانت بالقرب من مدينة حيث الأراضي قليلة ومكلفة .

وبالرغم من أن الطاقة الحرارية (الشمسية) قد تكون مجانية إلا أن وحدات التقطير مكلفة في حد ذاتها وتحتاج إلى مضخات لتحريك الماء من وإلى المحطة ، إضافة إلى أن الأمر يحتاج إلى حرص في التشغيل والصيانة للتحكم في القشور المتكونة على الإناء بعد جفاف الماء منه أثناء عملية تصليح الزجاج أو التهريب في وحدات التقطير .

والتطبيق العملي لهذه الأنواع من وحدات التقطير الشمسي تم على نطاق ضيق بالنسبة للتحلية لعائلة أو قرية صغيرة حيث تتوفر الطاقة الشمسية ولا تتوفر الكهرباء .

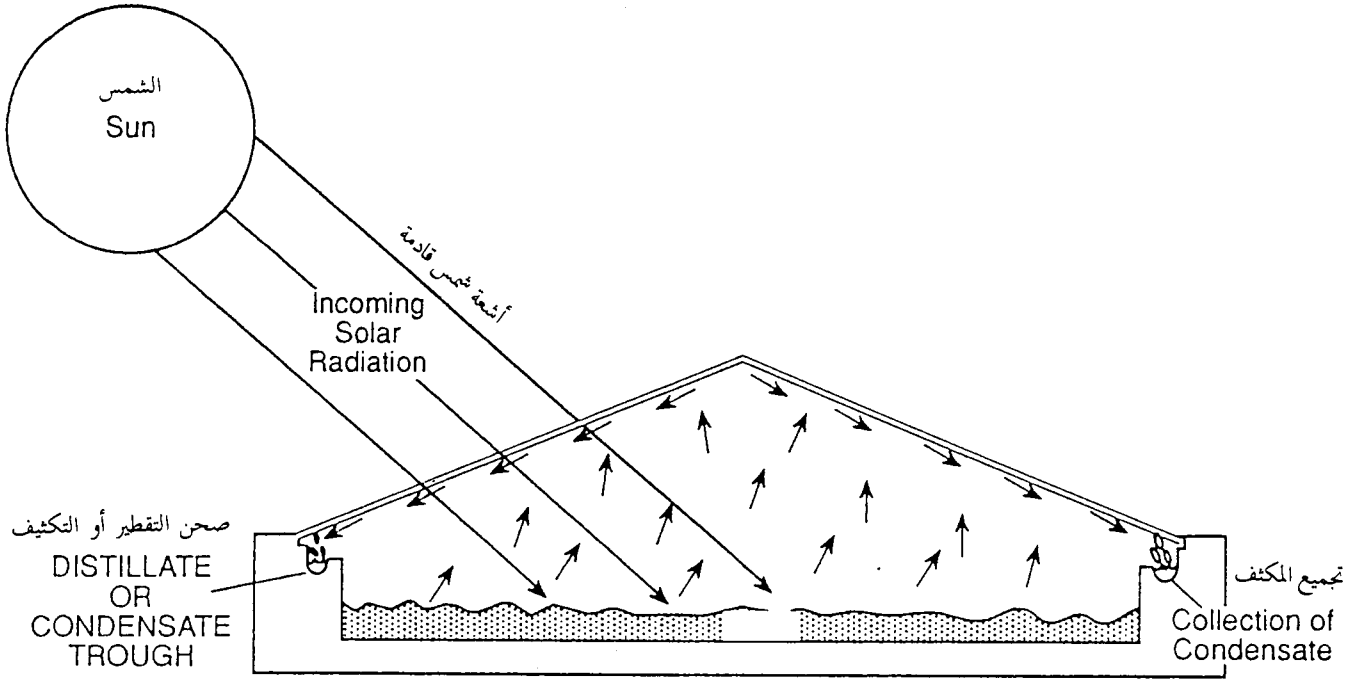
وحدات تحلية تعمل بالطاقة الشمسية والهوائية :

إن وحدات التحلية التي تستخدم المجمعات الشمسية أو وسائل الطاقة الهوائية لتوفير الطاقة الحرارية أو الكهربائية قد تم انشاؤها لتقوم بعمليات تحلية قياسية مثل التناضح العكسي ، الديلزة الكهربائية أو التقطير ، وترتكز اقتصاديات تشغيل هذه المحطات على وسائل توليد الطاقة اللازمة لمختلف البدائل . وحتى الآن فإن التكلفة تبدو عالية غير أنه من المتوقع أن يتحسن الوضع مع استمرار تطوير وسائل هذه القوى .

إن استخدام الطاقة التقليدية حالياً لدفع وسائل التحلية أرخص تكلفة من استخدام وسائل الطاقة الشمسية أو الهوائية على الرغم من وجود تطبيقات صحيحة لوحدات التحلية المستخدمة للطاقة الشمسية أو الهوائية . ويوجد محطات تحركها الطاقة الشمسية والهوائية أوردها ونجنيك عام ١٩٩٠م في حوالي (١٠٠) موقع منتشر في حوالي ٢٥ قطراً . ومعظم هذه المحطات لا تزيد سعاتها عن عشرين (٢٠) متراً مكعباً يومياً (٠,٠٠٥ مليون جالون يومياً) . وهذا لا يشمل محطات التحلية (وحدات التقطير الشمسية) التي تستخدمها العائلات في بعض أنحاء العالم .

بعض أوجه التحلية ذات التوليد المشترك :

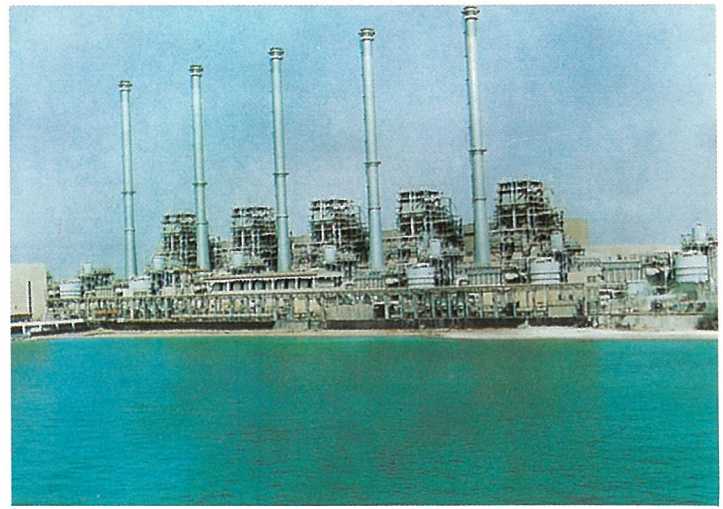
يمكن استخدام الطاقة في بعض المواقع للحصول على أكثر من فائدة لها حيث أن الطاقة تتحرك من مستوى أعلى إلى آخر أدنى ، وهذا يحدث التوليد المشترك بمعنى أن مصدراً منفرداً للطاقة يقوم بعدة وظائف مختلفة . وهناك بعض عمليات التحلية وخاصة التقطير يمكن إنشاءها للإستفادة من ميزات التوليد المشترك .



رسم بياني لوحدة تقطير شمسية

Diagram of a solar still.

وقد تم بناء هذه الوحدات كجزء من مرافق لانتاج كل من الكهرباء ومياه البحر المحلاة في الشرق الأوسط وأفريقيا وتنتج الكهرباء بواسطة بخار ذا ضغط عال لتحريك التوربينات التي بدورها تولد الكهرباء . وفي حالة نموذجية تنتج الغلايات بخاراً ذا ضغط عال بدرجة حرارة تبلغ ٥٤٠ درجة مئوية (١,٠٠٠ درجة فهرنهايت) . وعند تمدد هذا البخار في التوربين فسوف ينخفض مستوى درجة حرارته وضغطه . وتحتاج محطات التحلية إلى بخار بدرجة حرارة (١٢٠) درجة مئوية (٢٤٨ درجة فهرنهايت) أو أدنى ، وهذا يمكن تحقيقه عن طريق البخار ذى الضغط ودرجة الحرارة المنخفضين عند مؤخرة التوربين حيث استخدمت معظم طاقته لتوليد الكهرباء . ويمكن تمرير هذا البخار عبر السخان الملحي لمحطة التحلية ، حيث يتكثف على سطوح الأنابيب مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة مياه



محطة تحلية بالتقطير الوميضي لإنتاج الماء والكهرباء

البحر فيها . ويعاد الماء المكثف إلى الغلاية لتسخينه ثم يوجه إلى التوربين مرة ثانية وهكذا .

ومن مميزات التوليد المشترك تخفيض إستهلاك الوقود مقارنة مع استهلاك الوقود لمحطتين منفصلتين أحدهما لانتاج الكهرباء وأخرى لتحلية المياه المالحة . وحيث أن الطاقة هى عنصر هام في تكلفة تشغيل أي محطة تحلية فإن هذه تعتبر فائدة اقتصادية هامة، ومن بين مساوىء التوليد المشترك أن الوحدتين لابد أن ترتبطا سوياً . ولكي يمكن لمحطة التحلية أن تعمل بكفاءة فإنه لابد من تشغيل التوربين ، وهذا يشكل معضلة في حالة إيقاف التوربين أو المولد للتصليح .

وهذا النوع من مرافق إنتاج الماء والكهرباء يسمى عموماً بمحطة مزدوجة الغرض ، وحيث أن كثيراً من الأقطار المنتجة للبترول في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا مهتمة بإنشاء بنياتها الأساسية فإن هذا النوع من المرافق يناسب برامج التطوير في هذه الأقطار .

والأنواع الأخرى من مرافق التوليد المشترك للإستفادة من التحلية تشمل البخار ذا التكلفة المنخفضة من المصانع أو من حرق مخلفات صلده في محرقه .

الرجيع المركـــز :

إن العامل المشترك في كل عمليات التحلية هو إنتاج تدفق مركز (أيضاً يسمى محلول ملحي ، رجيع ، أو تدفق منبوذ) . وهذا التدفق يحتوي على الأملاح التي أزيلت من مياه التغذية لإنتاج المياه العذبة وكذلك المواد الكيميائية التي أضيفت أثناء عملية التحلية ، غير أنه غالباً ما يشمل نسبة كبيرة من الماء .

إن التخلص من هذا الماء المخلَّف بطريقة صحيحة للمحافظة على البيئة يشكل جزءاً مهماً من جدوى وتشغيل مرفق التحلية . وإذا كان موقع محطة التحلية قريباً من البحر فإن ذلك يقلل من إمكانية حدوث مشكلة ذلك لأن عنصر التلوث الرئيسي في التدفق المركز هو الملح الذي لا يسبب مشكلة بالنسبة للبحر ، وفي نفس الوقت يجب الأخذ في الاعتبار بالنسبة لإمكانية وجود مشكلة من محتويات إضافية مثل الأوكسجين الذائب ودرجة حرارة الماء .

إن إمكانية وجود مشكلة واضحة يأتي من إنشاء محطة تحلية في المناطق الداخلية بعيداً عن جسم مائي مالح . ويجب الأخذ في الاعتبار بعدم تلوث أي أرض أو سطح مائي بالأملاح الموجودة في الرجيع المركز . ويشمل التخلص تخفيف المحلول ، حقن المحلول المركز في صخور حاملة للمياه المالحة ، تبخير ، أو نقل بالأنابيب إلى نقطة التخلص ، وكل هذه الوسائل تضاف إلى تكلفة العملية .

ويجب أن تكون وسائل التخلص من الرجيع الملحي أحد المواضيع التي يجب بحثها أولاً في أي دراسة جدوى اقتصادية لمرفق تحلية المياه المالحة . وتكلفة التخلص من الرجيع المركز يمكن أن تؤثر تأثيراً عكسياً على اقتصاديات التحلية .

محطات مدمجـــة :

وسيلة أخرى لتخفيض تكاليف التحلية عموماً يكمن في استخدام أنظمة مهجنة . ولا تنطبق هذه الأنظمة المهجنة على معظم منشآت التحلية ولكن ربما برهنت على أنها ذات فائدة اقتصادية في بعض الحالات . والنظام المهجن هو نمط معالجة تتضمن عمليتين أو أكثر للتحلية ، مثال ذلك استخدام عمليتي التقطير والتناضح العكسي لتحلية مياه البحر في مرفق واحد لاستخدام ودمج مميزات إنتاج كلتي العمليتين ، ومثال آخر للتهجين يشمل المحطة المزدوجة لتوليد الكهرباء وإنتاج مياه التحلية حيث يستخدم البخار في محطة تقطير لتحلية مياه البحر . وتحتوي المياه المنتجة من وحدة التقطير على مستوى متدني من الأملاح الذائبة ، ربما عشرين ملجم/لتر . وبجانب محطة التقطير يمكن وجود محطة تناضح عكسي تشتغل فقط في فترات خارج ذروة الطاقة يكون فيها الطلب على الكهرباء المنتجة من المولدات المربوطة مع محطة التقطير منخفضاً لتثبيت الحمل على المولد من ناحية ، ولإنتاج مزيد من الماء من ناحية أخرى وينتج عن ذلك تكلفة ضئيلة لتوليد الكهرباء .. وتنتج محطة التناضح العكسي مياه ذات محتوى عال من المواد الذائبة في حدود (٥٠٠ ميلليجرام/لتر) ويمكن خلط المياه المنتجة من كلتا المحطتين للحصول على مياه ذات محتوى مقبول من الأملاح الذائبة . وإضافة إلى ذلك فتقوم محطة التناضح العكسي في المساعدة على موازنة مستوى حمل الكهرباء على المولد .

التكـــاليف :

توجد مرافق للتحلية في ١٢٠ قطراً ولذلك ليس من الأنسب تحديد تكاليف التحلية ، وما يمكن قوله عن يقين هو تدني التكاليف الرأسمالية والتشغيلية للتحلية عبر السنين على الرغم من زيادة أسعار الطاقة خلال السبعينات التي أثرت على تكاليف الانتاج . وفي نفس الوقت الذي تدنت فيه تكاليف التحلية اتجهت تكاليف الحصول على المياه ومعالجتها من المصادر التقليدية نحو الارتفاع نظراً لارتفاع مستوى المعالجة في مختلف الأقطار لمطابقة مواصفات ونوعية المياه القياسية ، والارتفاع في تكلفة المياه المعالجة تقليدياً هو نتيجة لارتفاع الطلب على الماء والذي يؤدي إلى الحاجة إلى مزيد

من مصادر المياه نظراً لأن مصادر المياه الموجودة سلفاً قد استنفذت .

وهناك عوامل كثيرة تدخل في التكاليف الرأسمالية والتشغيلية للتحلية : سعة ونوعية المحطات ، موقع المحطة ، مياه التغذية ، العمالة ، الطاقة ، التمويل ، الرجيع المركز ، الاعتمادية (العول) . وعموماً تبلغ تكلفة تحلية مياه البحر حوالي ٣ – ٥ مرات تكلفة تحلية مياه الآبار من نفس سعة المحطة . وخلال العقد الماضي وفي عدد من مناطق الولايات المتحدة الأمريكية كانت تكلفة تحلية مياه الآبار المالحة أقل من وصيفتها المتعلقة بنقل المياه بخطوط الأنابيب عبر مسافات طويلة .

خلال عام ١٩٩٠م ، تراوحت التكلفة الاجمالية لتحلية المتر المكعب من مياه الآبار ما بين ٠,٢٥ – ٠,٦ دولار (١ – ٢,٤ دولار لكل ١٠٠٠ جالون) في الولايات المتحدة الأمريكية ، بما في ذلك استرجاع رأس المال ، لسعات ٤,٠٠٠ – ٤٠,٠٠٠م^{3} يومياً كما تقدر التكلفة الاجمالية لتحلية المتر المكعب من مياه البحر لسعة ٤,٠٠٠ – ٢٠,٠٠٠م^{3} يومياً (١ – ٥ مليون جالون يومياً) في الولايات المتحدة الأمريكية ما بين ١ – ٤ دولارات (٤ – ١٦ دولار لكل ١٠٠٠ جالون) . وتعطي هذه التقديرات فكرة عن بعض التكاليف إلا أن الموقع والعوامل المتعلقة بالقطر تؤثر في التكاليف .

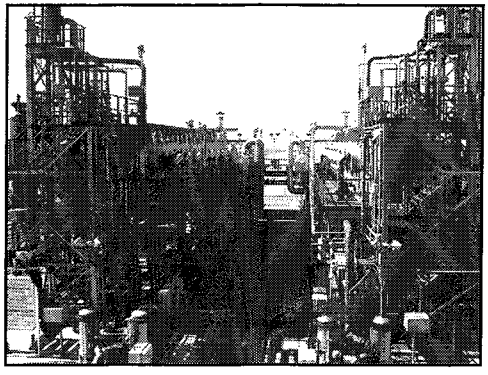
وليست تكاليف التحلية في أي قطر أو منطقة هى فقط عدد الدولارات أو البيسات أو الدنانير للمتر المكعب ، بل هى تكلفة التحلية مقارنة مع البدائل الأخرى . ففي أكثر المناطق (شحيحة الماء) فإن تكلفة المصادر البديلة للحصول على الماء غالباً ما تفوق تكلفة التحلية .

الملخـــص :

لقد تم تطوير تقنية التحلية بشكل مركز خلال الأربعين (٤٠) سنة الماضية لتؤشر إلى درجة أنه يعتمد عليها واستخدامها لانتاج المياه العذبة من مصادر المياه المالحة ، وقد أدى هذا بشكل فعال إلى جعل استخدام تقنية تحلية المياه المالحة مصدراً من مصادر المياه العذبة ، وقد تكون تكاليف التحلية عالي نظراً لاستخدام الطاقة المركزة، وعلى أية حال، في كثير من المناطق الجافة من العالم ، فإن تكلفة تحلية المياه المالحة أقل من مثيلاتها الأخرى الموجودة أو المعتبرة مستقبلاً . وتستخدم المياه المحلاة مصدراً رئيسياً للإمدادات البلدية في كثير من مناطق الكاريبي ، الشرق الأوسط وشمال أفريقيا . إن استخدام تقنيات التحلية ، وخاصة لإزالة عسر مياه الآبار ذات الملوحة الخفيفة ، تزداد باضطراد في جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية .

لا يوجد ما يسمى بأفضل طريقة للتحلية ، وعموماً فطريقة التقطير الوميضي والتناضح العكسي تستخدم لتحلية مياه البحر ، بينما التناضح العكسي والديلزة الكهربائية تستخدمان لتحلية مياه الآبار المالحة . وعلى كل فاختيار العملية يعتمد على دراسة شاملة لظروف الموقع والتطبيق الأمثل ، وربما تلعب الظروف البيئية المحلية دوراً بارزاً في تحديد أفضل طريقة لإختيار العملية .

ويجب أن يكون أفضل نظام تحلية هو الأكثر اقتصادية في مرحلة الدراسة . ويلزم أن يعمل النظام بعد إنشائه ويستمر في العمل لتوفير كميات مناسبة من المياه العذبة بالنوعية والكمية والتكلفة المتوقعة طيلة عمر المشروع .



RABIGH
(SAUDI ARABIA 1982)
MSF - 2 x 0.12 MIGD

FROM THE SMALLEST MSF UNIT

FISIA ITALIMPIANTI
GENOVA (ITALY)
A LEADING COMPANY

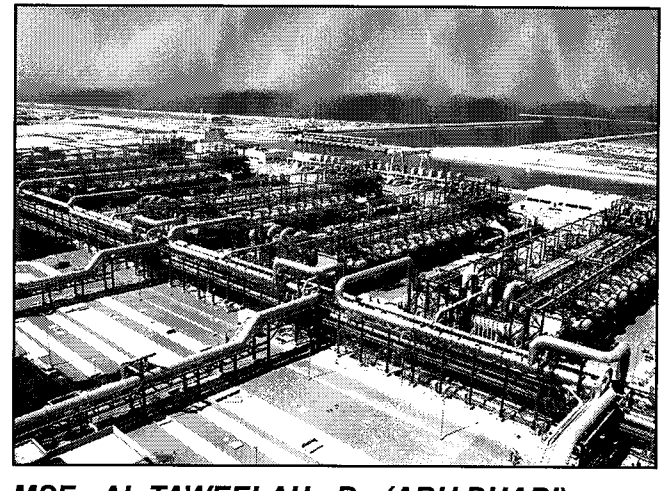
FISIA - ITALIMPIANTI DESALINATION BY M.S.F. AND R.O. TECHNOLOGIES PROVIDES PURE WATER THROUGHOUT THE WORLD SINCE 1965

TO THE LARGEST MSF UNIT

FISIA - ITALIMPIANTI
GENOVA (ITALY)

H.O.
VIA DE MARINI 16 (16149)
TEL : 0039 - 10 - 6096.111
FAX : 0039 - 10 - 6096.210

ABU DHABI OFFICE - U.A.E.
TEL : 0971 2 795988
FAX : 0971 2 794958
TLX : 23033 ITABU EM
P.O. BOX 3811 - ABU DHABI



MSF - AL TAWEELAH - B - (ABU DHABI)
6 x 12.66 MIGD (1995)

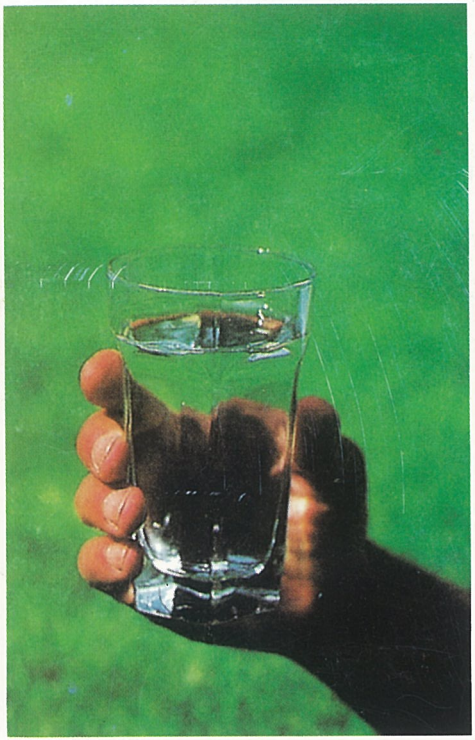
جمعية علوم وتقنية المياه
Water Sciences and Technology Association

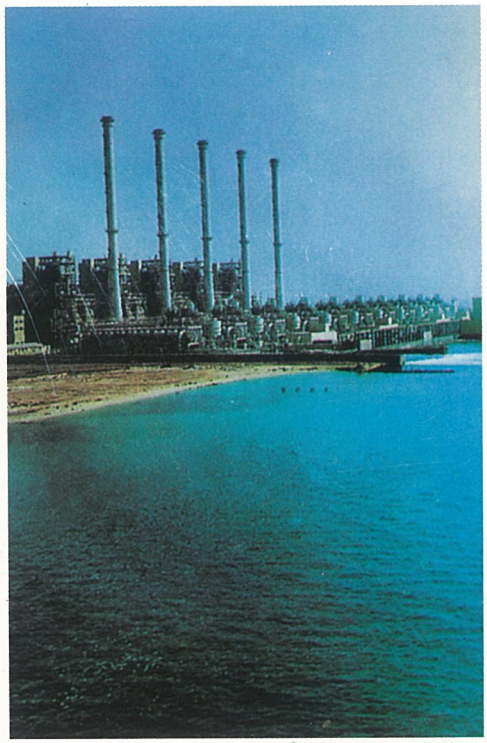
هي أول جمعية علمية خليجية يحق لكل مواطن ومقيم بدول مجلس التعاون الإنتماء إلى عضويتها كما يحق لكافة المؤسسات التعليمية والمؤسسات العامة وبيوت الخبرة والشركات في كافة أنحاء العالم الإشتراك في عضويتها ، وتهدف الجمعية إلى تشجيع ونشر الإهتمام بعلوم المياه والنهضو بها وتوثيق عرى التآزر بين العاملين في هذا الحق في دول مجلس التعاون ، وتسعى الجمعية إلى تحقيق أهدافها بوسائل عدة منها :

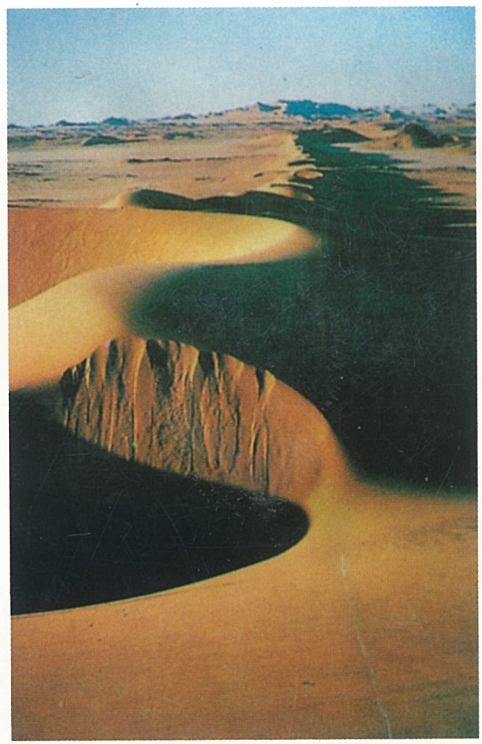
- ★ تشجيع البحث العلمي والدراسات وبرامج التدريب وتطوير القدرات المحلية في مجالات علوم وتقنية المياه وتنقية ومعالجة المياه .
- ★ التعاون مع الجامعات ودور البحث العلمي .
- ★ توفير الدراسات والمعلومات والإحصاءات المتعلقة بشئون المياه ونشرها من خلال وسائل الإعلام والنشر المختلفة .
- ★ تبادل المعلومات والخبرات بين العاملين في مجال المياه .
- ★ العمل على ترشيد إستهلاك المياه والمساهمة في برامج التوعية العامة وتشجيع الدراسات العلمية التي تحقق الإستعمال الأمثل للمياه .
- ★ العمل مع الجهات المختصة في وضع وتطوير أفضل المواصفات والمقاييس لخدمات المياه ومشاريعها.
- ★ العمل على المحافظة على المياه الجوفية والسطحية من النضوب أو التلوث .
- ★ تشجيع إستخدام الوسائل العلمية لتطوير مصادر المياه ، مثل تحلية المياه المالحة ومعالجة المياه الملوثة لإستخدامها للأغراض الصناعية والزراعية .
- ★ تقديم المشورة والقيام بالدراسات اللازمة لرفع مستوى الأداء في المجالات التي تهتم بها الجمعية للمؤسسات والهيئات العلمية المختلفة .

ويتكون مجلس إدارة الجمعية من أعضاء منتخبين يمثلون كافة دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية بالإضافة إلى مندوب الأمانة العامة للمجلس .

المزيد من المعلومات عن نشاط الجمعية وفئات ورسوم العضوية ، الرجاء الكتابة أو الإتصال بها على العنوان التالي :
ص . ب ٢٠٠١٨ المنامة ـ دولة البحرين ـ هاتف : ٥٢٢٠١٠ ـ فاكس : ٥٣٣٠٣٥ (٠٠٩٧٣)







« وجعلنا من المـــاء كل شيء حي »