ST/ESA/149

إدارة التعاون التقني لأغراض التنمية

الموارد الطبيعية / سلسلة دراسات عن المياه رقم (١٤)

استخدام موارد المياه غير التقليدية في البلدان النامية

الأمم المتحدة
نيويورك ، ١٩٨٥

ملاحظـــة

تتـألف رمـوز وثـائـق الأمـــم المتحـــدة من حروف وأرقـام .
ويعنـي إيـراد أحـد هـذه الرمـوز الاحـالـة الى إحدى وثـائـق
الأمـــم المتحـــدة

ST/ESA/149

منشـــورات الأمم المتحـــدة

رقم المبيع : A.84.II.A.14

02700

تصدير

فى ١٦ تموز/ يوليه ١٩٦٥ اعتمد المجلس الاقتصادى والاجتماعى القرار ١٠٦٩ (د - ٣٩) المعنون " ازالة ملوحة المياه فى البلدان النامية " ، وقد أصبح ذلك القرار أساس العمل المكثف الذى اضطلعت به ادارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية فى الستينات وأوائل السبعينات حول موضوع ازالة الملوحة والمصادر الأخرى غير التقليدية للمياه . وقدم مؤتمر الأمم المتحدة المعنى بالمياه المزيد من الدعم لتلك البحوث فى خطة عمله الصادرة فى ماردل بلاتا ، حيث أوصى ، تحت بند " احتياجات البحث " ، بالنهوض بالبحث فى المجالات التالية ، ضمن مجالات أخرى : تغيير الطقس، ازالة الملوحة ، مع اشارة خاصة الى معالجة المياه الضاربة الى الملوحة ، واعادة توزيع المياه ، ومعالجة المياه والفاقد . وطلب الى المنظمات الدولية اتخاذ اجراءات للنهوض بتلك البحوث، بما فى ذلك " . . . استقصاء امكانات وضع تقنيات جديدة مثل تغيير الطقس، والتنبؤ بالأحوال الجوية على المدى البعيد ، وازالة الملوحة ، والاستشعار عن بعد بغية زيادة توافر المياه " . (١)

كما تنص خطة عمل ماردل بلاتا على أن " التقنيات المستوردة من أجل ادارة موارد المياه قد تتطلب - كمرحلة وسيطة فى نقل التكنولوجيا - المزيد من الدراسة والتجارب فيما يتعلق بمدى مواءمة تطويعها للموارد المتاحة والظروف الاجتماعية - الثقافية ، والاقتصادية ، والبيئية السائدة " . وفضلا عن ذلك، " سوف يكون لندرة المياه فى الغالب أثر حاسم على تطوير تكنولوجيا مناسبة . وقد يتطلب ذلك فى بعض الحالات الانتقال من التكنولوجيات التقليدية الى التكنولوجيات المعقدة نسبيا . . . "

ولقد مضت عشرون عاما منذ أن أصدرت الأمم المتحدة سلسلة من المطبوعات مهدت السبيل للنظر بصورة جادة فى فرص ازالة ملوحة المياه فى البلدان النامية . فبعد المجلد الأولى الشهير، " ازالة ملوحة المياه فى البلدان النامية Water Desalination in Developing Countries " ، تتابع بصورة سريعة ظهور مطبوعات عديدة أخرى صادرة عن الأمم المتحدة . بيد أن الزيادات الحادة اللاحقة فى سعر النفط خلال السبعينات، وما نجم عنها من تكاليف مرتفعة للمياه الخالية من الملوحة ، كانت عنصرا مثبطا فى مجال اقامة وحدات جديدة فى البلدان النامية غير المنتجة للنفط . وهكذا خفضت الأمم المتحدة بصورة حادة من نطاق عملها فى هذا الميدان فى منتصف السبعينات .

ولهذا ، نشأ الاحساس بأن الوقت قد حان - بعد حوالى عشرين عاما من العمل الأولى والوصول الى منتصف الطريق صوب تنفيذ العقد الدولى لتوفير

مياه الشرب والمرافق الصحية - لاستعراض القطاع مرة أخرى ، وتوسيع نطاق النظر ليغطى مجالا أوسع من مصادر امدادات المياه التى تحمل جميعها فى الوقت الراهن اسم " غير تقليدية " . ولذلك بذلت محاولة لتقييم مزايا وعيوب مختلف أنظمة ازالة ملوحة المياه ، ومجموعة من التقنيات البديلة فى ظل الظروف الاقتصادية الراهنة . وعلى وجه الخصوص، حاولت ادارة التعاون التقنى لأغراض التنمية (التى آل اليها النشاط السابق للأمانة العامة للأمم المتحدة) تقييم الحد الذى يمكن عنده أن يهيئ التقدم فى التطورات التكنولوجية وما يرتبط بها من تكاليف خاصة بالمعدات والتشغيل والصيانة (الى الحد الذى يمكن عنده الحصول عليها) مناخا مواتيا لتجديد اهتمام البلدان أو المناطق النامية التى تعانى من نقص المياه بهذه التقنيات " غير التقليدية " .

والادارة مدينة لكى . أو. بوروس من شركة CH2M Hill International Corporation لمساعدته التقنية القيمة والمستمرة فى اعداد هذا النص، كما أنها مدينة أيضا لفرانك روغالا ، الدارس الحاصل على منحة فولبرايتا بمعهد نيوجيرسى للتكنولوجيا ، الذى عمل كباحث مقيم من قبل الأمم المتحدة لاعداد الفصل الثالث من هذا النص .

---

(١) تقرير مؤتمر الأمم المتحدة للمياه ، مار دل بلاتا ، ١٤ - ٢٥ آذار/مارس ١٩٧٧ (منشورات الأمم المتحدة ، رقم المبيع E.77.11.A.11) ، الفصل الأول .

(٢) منشورات الأمم المتحدة ، رقم المبيع 65.11.B.5.

ملاحظات توضيحية

استخدمت الرموز التالية فى الجداول الواردة بالتقرير :

ثلاث نقاط (. . .) تعنى أن البيانات غير متاحة أو أنها لا ترد منفصلة

شرطة (—) تعنى أن المبلغ يساوى صفرا أو أنه ضئيل للغاية أو أن البند لاينطبق .

التفاصيل والنسب المئوية الواردة فى الجداول لا تضيف بالضرورة الى المجاميع، وذلك بسبب الأرقام التقريبية .

ينطبق ما يلى على النص والجداول كلها :

النقطة (.) تستخدم للاشارة الى الكسور العشرية .
الفاصلة (و) تستخدم لتمييز الألوف والملايين .
الاشارة الى " الأطنان " تعنى الأطنان المترية ، والاشارة الى " الدولارات " تعنى الدولارات الأمريكية ، ما لم ينص على خلاف ذلك .

المعدلات السنوية للنمو أو التغير تشير الى المعدلات المركبة السنوية ما لم ينص على خلاف ذلك .

اللقب والتواريخ فيما بين الأقواس معدلة وفقا لقائمة المراجع .

ولا تنطوى المسميات المستخدمة في هذا التقرير أو طريقة تقديم المادة به على التعبير عن أى رأى مهما كان من جانب الأمانة العامة للأمم المتحدة فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو اقليم أو مدينة أو منطقة أو الوضع القانوني لسلطات هذه الجهات، أو فيما يتعلق بتعيين حدودها .

ذكر أسماء الشركات والمنتجات التجارية لا يعنى موافقة الأمم المتحدة عليها .

تعتبر الأمثلة الواردة فى النص صحيحة ، بيد أن واضعى هذا المطبوع لم يكن باستطاعتهم زيارة مواقع كافة المرافق موضع المناقشة ، ولهذا ، فمن الجائز أن بعض المعلومات المتعلقة بالأمثلة لم تعد دقيقة .

المحتويات

الصفحة

تصدير .....

ملاحظات تفسيرية .....

مقدمة .....

الف - عام ١

باء - التقدم المحرز على مدى العشرين عاما الماضية فى استخدام المصادر غير التقليدية للمياه ٣

١ - ازالة الملوحة ٣

٢ - نقل المياه ٥

٣ - اعادة استخدام المياه ٦

٤ - تعزيز الامدادات أو المصادر الحالية ٧

جيم - اهداف العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية . ٧

١ - الخدمة الشاملة للجميع ٨

٢ - تنمية الموارد البشرية ٩

٣ - التكنولوجيا المناسبة ١٠

٤ - قابلية التطبيق من الناحية الاقتصادية ١٠

أولا - تنمية مصادر المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر .....

الف - مقدمة ١٢

١ - استحداث التكنولوجيا ١٤

٢ - تنمية السوق ٢١

٣ - اختيار العمليات ٢٤

باء - التقطير .....

١ - خلفية تاريخية ٢٥

٢ - الاعتبارات التقنية ٢٧

٣ - جوانب التقدم التكنولوجى الاخيرة ٢٩

٤ - التطبيق فى البلدان النامية ٣٦

٥ - التكاليف المعممة لوحدات التقطير ٤٤

جيم - الدلزة بالكهرباء .....

١ - خلفية تاريخية ٥٢

المحتويات (تابـع)

	الصفحة
٢ - اعتبارات تقنية	٥٣
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة	٥٤
٤ - التطبيق في البلدان النامية	٥٨
٥ - التكاليف المعممة لوحدات الدليزة بالكهرباء	٦٣
دال - الاوزموزية العكسية	
١ - خلفية تاريخية	٦٥
٢ - اعتبارات تقنية	٦٨
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة	٦٩
٤ - التطبيق في البلدان النامية	٧٢
٥ - التكاليف المعممة لوحدات الاوزموزية العكسية	٧٦
هاء - اعتبارات اقتصادية	
١ - تقييم العرض والطلب	٨٨
٢ - عوامل مرتبطة باختيار العملية	٨٨
٣ - اعتبارات الطاقة	١٠١
٤ - المحطات الثنائية الغرض في مقابل الوحيدة الغرض	١٠٤
٥ - اعتبارات خاصة في البلدان النامية	١١٠
٦ - تقييم التكاليف	١١٥
٧ - اختيار العملية	١٢٠
واو - ازالة الملوحة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة	
١ - الطاقة الشمسية	١٣٢
٢ - طاقة الرياح	١٤٩
٣ - طاقة المحيطات	١٥٢
٤ - الطاقة البشرية	١٥٣
٥ - التطبيق في البلدان النامية	١٥٥
٦ - اعتبارات اقتصادية	١٥٥
زاى - وحدات ازالة الملوحة الصغيرة في المناطق الريفية	
١ - برامج ازالة ملوحة المياه في القرى	١٦٢
٢ - امثلة للبرامج القطرية	١٦٤

المحتويات (تابع)

الصفحة

ثانيا - نقل المياه .....

الف - مقدمة ١٧٠

باء - الناقلات ١٧١

١ - خلفية تاريخية ١٧١
٢ - اعتبارات تقنية ١٧٣
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة ١٨٤
٤ - التطبيق فى البلدان النامية ١٩٠
٥ - الاعتبارات الاقتصادية ٢٠٥

جيم - جبال الجليد .....

١ - خلفية تاريخية ٢١٧
٢ - اعتبارات تقنية ٢١٨
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة ٢٥٠
٤ - التطبيق فى البلدان النامية ٢٣٢
٥ - اعتبارات اقتصادية ٢٣٤

ثالثا - اعادة استعمال المياه .....

الف - مقدمة ٢٣٥

باء - ترويق المياه المهدورة ٢٣٦

١ - خلفية تاريخية ٢٣٨
٢ - اعتبارات تقنية ٢٣٩
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة .....
٤ - التطبيق فى البلدان النامية .....
٥ - اعتبارات اقتصادية .....

رابعا - زيادة الامدادات او المصادر القائمة .....

الف - مقدمة ٢٧٢

باء - تعديل الجو ٢٧٣

١ - خلفية تاريخية ٢٧٣
٢ - اعتبارات تقنية ٢٧٨
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة ٢٩١

المحتويات (تابع)

	الصفحة
٤ - التطبيق فى البلدان النامية	٢٩٣
٥ - اعتبارات اقتصادية	٢٩٧
جيم - منع التبخر	٣٠٤
١ - خلفية تاريخية	٣٠٤
٢ - اعتبارات تقنية	٣٠٤
٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة	٣٠٦
٤ - التطبيق فى البلدان النامية	٣٠٧
٥ - اعتبارات اقتصادية	٣٠٧
خامسا - استنتاجات	
الف - عام	٣٠٨
باء - مقارنة الطرق	٣٠٩
جيم - احتمالات المستقبل	٣٠٩
١ - ازالة الملوحة	٣٠٩
٢ - النقل بالناقلات	٣١٠
٣ - النقل بجبال الجليد	٣١٠
٤ - اعادة استعمال المياه	٣١١
٥ - تعديل الجو	٣١١
٦ - موجز	٣١٢

المرفقات

اولا - التقطير	
الف - خلفية تقنية	
١ - انتاج البخار	٣١٤
٢ - نقل البخار الى المكثف	٣١٥
٣ - التكثيف	٣١٥
باء - وصف العملية	٣١٥
١ - التبخير متعدد التأثير	٣١٥
٢ - الوميض متعدد المراحل	٣١٩

المحتويات (تابع)

الصفحة

٣ - ضغط البخار ٣٢٤
٤ - مبخر استرداد الحرارة المتبددة ٣٢٦
٥ - الانظمة المختلطة ٣٢٦

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية ٣٢٨

١ - تكون القشور ومكافحتها ٣٢٨
٢ - السطح الناقل للحرارة ٣٣٢
٣ - مواد البناء ٣٣٢
٤ - التآكل ٣٣٣

ثانيا - الدبلزة بالكهرباء .....

الف - خلفية تقنية ٣٣٤
١ - مبادئ طبيعية ٣٣٤
٢ - عناصر وحدة الدبلزة بالكهرباء ٣٣٦

باء - وصف العملية .....

١ - الدبلزة بالكهرباء ٣٤٠
٢ - الدبلزة بالكهرباء الانعكاسية ٣٤١

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية .....

١ - الاستعمال المحدد للطاقة ٣٤١
٢ - المعالجة التحضيرية ٣٤٢
٣ - المعالجة اللاحقة ٣٤٣
٤ - توفير المعدات المثلى ٣٤٣
٥ - مشاكل التشغيل ٣٤٤

ثالثا - الاوزموزية العكسية .....

الف - خلفية تقنية ٣٤٧

١ - النظام الشامل ٣٤٧
٢ - الاغشية ٣٤٩
٣ - خصائص الاغشية ٣٥٠

باء - وصف العملية .....

١ - مجموعات الاغشية ٣٥١

المحتويات (تابع)

الصفحة

٢ - اشكال العملية ٣٥٧

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية .....

١ - مصدر المياه الخام ٣٥٩
٢ - المياه المنتجة ٣٥٩
٣ - المعالجة التحضيرية ٣٦٠
٤ - المعالجة اللاحقة ٣٦٢
٥ - مواد البناء ٣٦٢
٦ - الاستخلاص ٣٦٣
٧ - تصريف المحلول الملحى ٣٦٤
٨ - مشاكل التشغيل ٣٦٤

المراجع ٣٦٧

موارد المياه : قائمة بمنشورات الامم المتحدة ٣٨١

قائمة الجداول

١ - وحدات ازالة الملوحة المركبة أو المباعة خلال الفترة ١٩٥١-١٩٨٠ ١٥

٢ - التقطير : تقديرات تكاليف ازالة ملوحة البحر ٤٦

٣ - الافتراضات العامة المستخدمة فى الدراسة التى اجراها المعمل الوطنى فى أوك ريدج والمتعلقة بتكاليف ازالة الملوحة ٤٨

٤ - الدلزة بالكهرباء الانعكاسية : تقديرات تكلفة ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ٦٤

٥ - الاوزموزية العكسية تقديرات تكلفة ازالة ملوحة مياه البحر ٧٨

٦ - الاوزموزية العكسية تقديرات تكلفة ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ٨١

٧ - مقارنة التكاليف التقديرية لمرفقين نموذجيين لازالة ملوحة مياه البحر سعتهما ٨٠٠ ٣م^3/يوم (١ مليون غالون/يوم) و ٠٠٠ ١٩م^3/يوم (٥ مليون غالون/يوم) ٨٣

٨ - مقارنة تقديرات التكاليف لوحدتين نموذجيتين لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة سعتهما ٣٨٠٠م^3/يوم (١ مليون غالون) و ٠٠٠ ١٩٠م^3/يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) ٨٥

المحتويات (تابع)

الصفحة

٩ - تكاليف نقل المياه : طريقة للحساب ١٠٠

١٠ - محطات ازالة الملوحة : النسبة المئوية التقديرية للتكاليف المنفقة على الطاقة ١٠٣

١١ - طريقة لحساب تكاليف البخار المزدوج الغرض ١٠٩

١٢ - المدى التقديرى للتكاليف الرأسمالية وتكاليف المياه المنتجة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة ١٥٧

١٣ - بلدان ومناطق ذات أطوال كبيرة من الخطوط الساحلية البعلية للغاية ١٧٦-١٧٧

١٤ - بعض الموانئ الممكنة لشحن المياه العذبة ١٩٢-١٩٧

١٥ - موجز تكاليف نقل المياه المنقولة بالناقلات وزوارق وصنادل القطر. ٢٠٦-٢٠٧

١٦ - المكونات النمطية للمياه المنزلية المستعملة ٢٤٠

١٧ - الخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه المنزلية المستعملة ٢٤١

١٨ - النوعية المتوقعة للمياه المستعادة بعد الترشيح السريع فى حوض منتشر ٢٤٧

١٩ - المبادئ التوجيهية المتعلقة بشرح نوعية مياه الرى ٢٥٣-٢٥٤

٢٠ - وفورات المياه التى تحققت عن طريق الترويق المخطط للمياه المعالجة لاعادة استخدامها داخليا ٢٥٦

٢١ - المعالجة المقترحة اللازمة للمياه المنزلية المستعملة قبل اعادة استخدامها صناعيا ٢٥٧

٢٢ - بارامترات التصميم لانواع مختلفة من برك معالجة المياه المستعملة . ٢٦٤

٢٣ - بيانات تصميم وتشغيل البرك فى البلدان النامية ٢٦٥

٢٤ - بارامترات التصميم المتعلقة بتخطيط انظمة المعالجة الاصطناعية لمياه المسطحات المائية المستعملة ٢٦٦

٢٥ - التكاليف التقديرية للوحدة لعمليات معالجة المياه المستعملة المختلفة ٢٦٨-٢٦٩

٢٦ - مقارنة موارد المياه غير التقليدية : المعايير التقنية ، والاقتصادية والسياسية ٣١٣

المحتويات (تابع)

الصفحة

قائمة الاشكال

الاول	- نمو سعة ازالة الملوحة، ١٩٥٠ - ١٩٨١	١٣
الثانى	- توزيع سعة ازالة الملوحة حسب الاقاليم، ١٩٨٠	٢٢
الثالث	- تكلفة المعدات الرأسمالية : ازالة ملوحة مياه البحر بواسطة التقطير	٥١
الرابع	- رسم تخطيطى لمحطة مزدوجة الغرض	١٠٦
الخامس	- العناصر الرئيسية لمعمل تقطير شمسى	١٣٤
السادس	- تكاليف النقل عن طريق الخدمة المكوكية، حسب حجم السفينة ومسافة رحلة الذهاب والعودة	٢٠٧
السابع	- تكاليف نقل المياه العذبة اثناء رحلة عودة الناقلات التى تتراوح حمولتها بين ٢٥٠٠٠٠ و ٣٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة	٢١١
الثامن	- اعادة استخدام المياه المهدورة لاغراض محددة	٢٣٧
التاسع	- عملية دينقر لمعالجة المياه لدى اعادة استخدامها ...	٢٤٦
العاشر	- رسم بيانى انطباعى للوحدة تقطير متعدد النتائج بالانبوب المغمور	٣١٧
حادى عشر	- رسم بيانى انطباعى لمبخر بالانبوب الرأسى	٣١٨
ثانى عشر	- رسم بيانى انطباعى لوحدة تقطير متعدد النتائج تعمل بالانبوب الافقى	٣٢٠
ثالث عشر	- رسم بيانى انطباعى لعملية الوميض متعدد المراحل	٣٢٢
رابع عشر	- رسم بيانى مبسط عن التدفق فى عملية ضغط البخار بالاغشية الرشاشة	٣٢٥
خامس عشر	- مبخر لاسترداد الحرارة المتبددة	٣٢٧
سادس عشر	- حركة الايونات فى عملية الدبلزة بالكهرباء	٣٣٥
سابع عشر	- العناصر الاساسية لوحدة الدبلزة بالكهرباء	٣٣٧
ثامن عشر	- ثلاثة انواع من الفلكات المساعدة	٣٣٩

المحتويات (تابع)

		الصفحة
تاسع عشـــر	- عناصر نظام الاوزموزية العكسية	٣٤٨
العشـــرون	- رسم بيانى للدفق فى نظام الاوزموزية العكسية	٣٤٨
حادى وعشرون	- تركيب الاغشية المكونة من لوح واطار	٣٥٢
ثانى وعشـــرون	- تركيب الغشاء الانبوبى	٣٥٢
ثالث وعشـــرون	- منظر مستقطع لغشاء الحلزونى والعناصر فى وعـــاء الضغط	٣٥٥
رابع وعشـــرون	- مجموعة الاغشية المنفذة المصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة	٣٥٦
خامس وعشـــرون	- اشكال وحدة الاوزموزية العكسية وحيدة المرحلة ..	٣٥٨
سادس وعشرون	- اشكال وحدة الاوزموزية العكسية متعددة المراحل .	٣٥٨

قائمة الخرائط

١	- المناطق الساحلية الصحراوية والبعلية للغاية فى العالم	١٧٨
٢	- الطرق الممكن استخدامها لنقل المياه	١٩٩

مقدمة

ألف - عام

يتعين التمييز بصورة قاطعة بين نقص المياه ونقص تنمية موارد المياه في المناطق التي تعاني عجزا في المياه . فقد تنشأ مظاهر نقص المياه لعدم توافر رأس المال أو المهارات التقنية بغية الاضطلاع بمشاريع رئيسية في مجال تنمية المياه ، مثل تنمية المياه الجوفية ، وبناء السدود وتنظيم انسياب المياه فيها ، وشق القنوات أو خطوط الأنابيب . وفي بعض الأحيان ، ترى الهيئة التي تتولى امدادات المياه ان حجم مجتمع ما أو مشروعاته الصناعية أو غيرها لا يستدعي انفاقا بالحجم الذي يتطلبه توفير مياه اضافية .

وثمة سبل عديدة لمحاولة علاج العجز في المياه في المناطق التي لا تكفي فيها الامدادات الراهنة والممكنة من المياه العذبة من مصادر تقليدية للوفاء بحجم الطلب . وقد يستفاد من كمية المياه العذبة المتوافرة حاليا على نحو أفضل بوسائل مثل التقليل من الفاقد أو فرض نظام الحصص، ويمكن تحديد أولويات للأغراض الخاصة التي يجوز استخدام المياه من أجلها . أو قد يجرى زيادة امدادات المياه العذبة المتاحة ، عند الاقتضاء ، عن طريق " استيراد" المياه بواسطة خطوط أنابيب، أو قنوات، أو ناقلات، أو غيرها من الوسائل ، وكذلك بانشاء أنظمة خطوط أنابيب مزدوجة لاستخدام المياه الملحة أو الضاربة الى الملوحة للأغراض المناسبة . وازالة ملوحة المياه سبيل آخر مفيد ، عندما تثبت جدواه من الناحية الاقتصادية والتقنية ، لزيادة كمية المياه العذبة المتاحة في منطقة ما تعاني من نقص في المياه وتكون قريبة من مسطح مياه ملحة أو ضاربة الى الملوحة .

وتسلم الأمم المتحدة بأهمية المياه وتوافرها الدائم لتحقيق الرفاه الاقتصادي للأمم والشعوب في سائر أرجاء العالم ، كما يدل على ذلك اعلانها السنوات من ١٩٨١ الى ١٩٩٠ بوصفها العقد الدولي لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية (انظر قرار الجمعية العامة ٣٥/١٨ المؤرخ في ١٠ تشرين الثاني/ نوفمبر ١٩٨٠) . فالنجاح الاقتصادي لعديد من البلدان النامية يرجع في جانب منه الى توافر كميات كبيرة من المياه لأغراض الشرب وللأغراض الزراعية والصناعية . وقد طورت امدادات المياه هذه بوسائل جلها تقليدي مثل استخدام المداخل ، أو السدود ، أو الخزانات لتوفير المياه السطحية أو الآبار لاستخراج المياه الجوفية . وتتابين معالجة تلك المصادر من عدم المعالجة على الاطلاق الى ازالة الجوامد المعلقة أو المواد المعدنية ذات الصلادة ، وتكون التكاليف الشاملة لذلك عادة أقل من ٠,٢٥ دولار للمتر المكعب (٠,٩٥ دولار لكل ١٠٠٠ غالون) .

ويناقش هذا المطبوع تنمية واستخدام موارد غير تقليدية مختارة للمياه ، تتنوع بصورة واسعة من حيث نطاقها ومنشئها ، فتبدأ من استخدام الجبال الجليدية الى تقطير مياه البحار باستخدام الطاقة الشمسية . والسمة المشتركة بينها هي أنها أكثر تعقيدا بصفة عامة من المصادر التقليدية من حيث تطويرها وتشغيلها ، وتتجاوز تكلفة الماء الناتج منها ، بصورة كبيرة أحيانا ، ٢٥ر. دولار للمتر المكعب. والحل المفضل دائما هو حيثما يكون من الممكن تنمية مصادر تقليدية للمياه . بيد أنه اذا لم يكن هذا ممكنا فلابد أن ينظر فى تقنيات مصادر المياه غير التقليدية التى يناقشها هذا المطبوع .

وليس ثمة حل غير تقليدى أو حد يناسب كافة المناطق . فكل موقع يتعين عليه أن يفحص موقفه بعناية لكى يحدد أى الوسائل غير التقليدية ، ان وجدت ، ستكون ممكنة التطبيق . وينبغى أن يكون هذا جزءا من خطة تنمية مصادر المياه بالنسبة للاقليم ، الذى يمكن أن يكون مدرجا فى سياق العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية (الذى يناقش ادناه) . وينبغى أن تتضمن الخطة دراسة الحاجات والموارد الحالية والممكنة وأن تضع مخططا يتوصل الى سبل عمل تثبت جدواها من وجهات النظر المالية والاجتماعية والسياسية على المدى الطويل . وقد تؤدى دراسة من هذا القبيل الى استنتاج مفاده أن استعمال مورد غير تقليدى للمياه يلائم نظام امداد بأكمله أو جزء منه ، أو أنه غير ملائم على الاطلاق .

وقد وضع هذا المطبوع بغية تجميع بعض المعلومات الأساسية عن مختلف الوسائل غير التقليدية لتنمية موارد المياه . والغرض منه هو اتاحة معلومات تسمح بالنظر فى هذه الوسائل بصورة كافية ومنصفة لتبيان منافعها الايجابية وجوانبها السلبية .

وينبغى توخى الحذر فى انتقاء وتنفيذ مشروع غير تقليدى للمياه . فليس هناك وسيلة من بين تلك الوسائل توفر حلولا سحرية ، ولكنها سوف تستلزم بصفة عامة نفقات رأسمالية كبيرة ودعما مستمرا على المدى الطويل بالتمويل الاضافى ، والعمالة التقنية ، وقطع الغيار ، والمواد الكيميائية ، والعناية المستمرة بالتفاصيل . كما أنها تقترن فى معظم الحالات ، فضلا عن ذلك ، بقدر من المخاطرة يفوق ما تقترن به الحلول التقليدية .

فالحلول التقليدية ينبغى استخدامها حيثما يكون ذلك ممكنا ، ولكن اذا ما كانت تلك الحلول غير ملائمة وثبتت جدوى التنمية غير التقليدية ، فان الأخيرة تمثل فرصة لتوفير المياه لمنطقة ما .

باء - التقدم المحرز على مدى العشرين عاما الماضية في استخدام المصادر غير التقليدية للمياه

منذ منتصف الستينات أو حتى أوائل السبعينات، لفتت ادارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمانة العامة للأمم المتحدة، من خلال شعبة الموارد والنقل التابعة لها، اهتمام المجتمع الدولي لازالة الملوحة وذلك من خلال سلسلة من المطبوعات التقنية والاقتصادية، فضلا عن الاجتماعات والحلقات الدراسية. ويتضمن ثبت المراجع الوارد في موضع لاحق حصرا لهذه المطبوعات التي ركزت على موضوع ازالة الملوحة دون غيره من المواضيع (الأمم المتحدة، ١٩٦٤، ١٩٦٥، ١٩٦٧، ١٩٦٨، ١٩٦٩، ١٩٧٠، و١٩٧٣).

وقد أسهم هذا العمل المبكر في ازدياد الوعي بالدور الذي يمكن أن تلعبه ازالة الملوحة في ظل ظروف ملائمة في البلدان النامية. وقد تعقبت المطبوعات تطور صناعة ازالة الملوحة منذ نشأتها حتى أوائل السبعينات. وقد تم توسيع نطاق هذا المطبوع بصورة ملموسة ليشمل موارد غير تقليدية أخرى للمياه؛ المياه التي تنقل اما بالناقلات أو الجبال الجليدية، مياه الفاقد المعالجة، لاستخدامها في تطبيقات محددة تتطلب مياها أقل جودة، وزيادة الأمطار الناجمة عن تقنيات تغيير الطقس. ويتألف كل فصل من أقسام تتناول الخلفية التاريخية، والاعتبارات التقنية، ونواحي التقدم التكنولوجي الأخيرة، والتطبيقات في البلدان النامية، والاعتبارات الاقتصادية. وقد أعد هذا المجلد فرع موارد المياه بشعبة الموارد الطبيعية والطاقة التابع لادارة التعاون التقني لأغراض التنمية، التابعة للأمانة العامة للأمم المتحدة.

ويتعقب هذا القسم بايجاز التقدم المحرز على مدى العشرين عاما الماضية في مجال الموارد غير التقليدية للمياه، وبعقد مقارنة بين بعض الاستنتاجات التي تم التوصل اليها في المجلدات التي كانت الأمم المتحدة قد أصدرتها حول ازالة الملوحة وبين الاستنتاجات التي تم التوصل اليها في هذه الدراسة.

١ - ازالة الملوحة

يركز الفصل الأول على ثلاث عمليات رئيسية تستخدم حاليا لازالة الملوحة، وهي: التقطير، والديلزة بالكهرباء، والأوزموزية العكسية (التناضحية العكسية) وفي دراسات الأمم المتحدة، كانت التكنولوجيات المتاحة لازالة ملوحة مياه البحار في ميدان التقطير أساسا. ومنذ بناء أول مبخر تجاري لمياه البحار بالوميض

المتعدد المراحل حتى الآن ، كانت التطورات الملموسة فى ميدان التقطير قليلة ، ولم يتمتع أى منها بتأثير قابل للمقارنة (وود ، ١٩٨٢) . ومن ناحية أخرى ، حققت تكنولوجيا الأوزموزية العكسية لمياه البحار تقدما ملموسا منذ عام ١٩٧٨ ، من خلال تطوير أغشية يمكن تشغيلها عند ضغوط عالية . ولقد كان تطور الأوزموزية العكسية لمياه البحار هو التقدم التكنولوجى الرئيسى فى ميدان ازالة ملوحة مياه البحار منذ صدور المطبوعات الأولى للأمم المتحدة عن هذا الموضوع . والتطور الرئيسى الذى كان من المتوقع تحقيقه بيد أنه لم يتحقق فى ميدان ازالة ملوحة مياه البحار فى منتصف الستينات هو فى ميدان تكنولوجيا التجميد . فتكنولوجيا التجميد لم تصبح بعد قابلة للتنفيذ من الناحية التجارية كما أنها لم ترق الى المستوى الذى كانت تبشر به فى سنواتها الأولى .

وبخلاف نواحى التقدم الهامة فى الأوزموزية العكسية ، تمثل التقدم التكنولوجى الرئيسى منذ عام ١٩٧٢ تقريبا ، فى ميدان ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ، فى استحداث عملية الديلزة بالكهرباء . وقد أدى هذا التحسن الى تقليل بعض المشاكل التى واجهتها العملية المعيارية للديلزة بالكهرباء وأسهم فى جعل عملية الديلزة بالكهرباء عملية يعتمد عليها ، وتكنولوجيا مقبولة تماما .

وقد أدت الخبرة الواسعة المكتسبة على مدى العشرين عاما الماضية والتحسينات فى تكنولوجيا ازالة الملوحة باستخدام عمليات التقطير ، والديلزة بالكهرباء ، والأوزموزية العكسية ، الى جعل ازالة الملوحة تكنولوجيا مقبولة على نطاق واسع ، توفر مياها عالية الجودة لمناطق قاحلة كانت من قبل محرومة من التنمية الاجتماعية والصناعية طويلة الأجل . وفى منتصف الستينات ، كانت ازالة الملوحة لاتزال بدعة ، وكان معظم النشاط فى ذلك الميدان تجريبيا ، وأخفق العديد من المشاريع الأولى فى الوفاء بالتوقعات المعلقة عليها . أما فى الوقت الحالى ، فهى تكنولوجيا موثوق بها بدرجة كبيرة ، تعتمد عليها بلدان عديدة فى الحصول على امداداتها اليومية من المياه . بيد أن التكاليف لاتزال مرتفعة نسبيا ، ولا يمكن تبرير مثل هذه الأسعار المرتفعة للمياه الا فى ظروف محدودة جدا تتعلق بالموقع .

وقد تمثلت النبوءة الكبرى التى ظهرت فى الستينات ، ولم تصدق ، فى أن الجهد الضخم فى مجال البحث والتطوير فى ميدان تكنولوجيا ازالة الملوحة سوف يؤدى الى تناقص مستمر فى التكاليف للوحدة من المياه الناتجة . فقد كان احتمال استمرار الاتجاه نحو الهبوط فى تكلفة المياه الخالية من الملوحة فى البلدان النامية احتمالا متوقعا ، لكن هذا لم يحدث ، على الرغم من أن التكاليف حققت فى أوائل الثمانينات استقرارا الى حد ما . ذلك أن الزيادة التى بلغت

عشرة أضعاف فى أسعار النفط منذ عام ١٩٧٠ ، الى جانب أسعار الفائدة المرتفعة ، والتضخم فى أسعار المواد ، جعلت من المستحيل تحقيق هذا الاتجاه كذلك كان من المتوقع ان يؤدى تزايد دخول شعوب البلدان النامية الى جعل تكاليف المياه الخالية من الملوحة فى متناول أيديهم .

ولقد أصبح باديا بصورة محزنة أن الدخول فى البلدان الفقيرة لم ترتفع كما كان متوقعا ، وأضحت ازالة الملوحة تكنولوجيا ممكنة التطبيق فى البلدان ذات الدخول المتوسطة والبلدان المصدرة للنفط فقط . وقد تحصل مشاريع ازالة الملوحة فى أقل البلدان نموا على الدعم من قبل حكومات أو وكالات دولية ، فى ظل برامج العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية ، ولكن تكاليف تلك المياه لاتزال تفوق مقدرة معظم المجتمعات الريفية فى البلدان الأكثر فقرا .

٢ - نقل المياه

يناقش الفصل الثانى طرقا لتوفير المياه تتضمن نقل المياه على نطاق واسع فى منطقة ما . هذه الطرق تشمل استخدام الناقلات والجبال الجليدية لنقل المياه عبر بحر أو محيط الى المكان الذى ستستخدم فيه .

وقد أضحت امكانية نقل كميات كبيرة من المياه بواسطة الناقلات، أكثر جاذبية فى الآونة الأخيرة لأسباب عديدة . فمع الوفورات الكبيرة الناجمة عن بناء ناقلات كبيرة جدا للخام وناقلات خام بالغة الضخامة منذ أواخر الستينات وحتى أوائل السبعينات، انخفضت تكاليف نقل الوحدة بواسطة الناقلات منذ أواخر الخمسينات . وعلاوة على ذلك ، فمع الوفرة الحالية فى سوق النفط، أوقف استخدام أكثر من نصف أسطول الناقلات، وفى ١٩٨٤ كانت تكاليف النقل تكاد تغطى تكاليف التشغيل . وكان أصحاب السفن يرغبون فى النظر فى نقل المياه طالما أن ذلك يعوضهم عن أية تكاليف اضافية يتحملونها . ومع الأنظمة الجديدة للمنظمة الدولية للملاحة البحرية ، التى تم العمل بها فى تشرين الأول / أكتوبر ١٩٨٣ ، سوف يطلب الى الناقلات تخصيص خزانات نظيفة (تصل الى ٣٠ فى المائة من اجمالى طاقة النقل) للمياه العذبة ، بغية تقليل التلوث . هذه الخزانات يمكن استخدامها لنقل المياه الى المناطق القاحلة فى رحلات العودة .

وفى أواخر الخمسينات وأوائل الستينات، لم يكن نقل المياه بواسطة الناقلات مجديا بصفة عامة ، بسبب التكلفة المنخفضة للسلعة مقارنة بالتكلفة المرتفعة للنقل . وفى الوقت الحاضر ، يجرى تشغيل العديد من مشاريع النقل تلك ، ويقوم كثير من أصحاب الناقلات بالترويج لخدمات نقل المياه المكوكية ، من أجل الاستفادة من الطاقة الزائدة لأسطول الناقلات . فتكلفة الناقلات المستعملة

منخفضة جدا في الوقت الراهن وبعض الملاك يشترون ناقلات قديمة لغرض نقل المياه . وفي ظروف معينة ، يمكن للبلدان النامية الواقعة على طول خطوط الناقلات أن تستفيد من بيع المياه ، وسوف تكون البلدان القاحلة المصدرة للنفط أو البلدان الجزرية أسواقا للمياه المنقولة .

ومن ناحية أخرى ، لاتزال امكانية نقل الجبال الجليدية نظرا لارتفاع جودة مياهها ، في نطاق التصور . وقد أجريت بحوث كثيرة على الجبال الجليدية ، وخاصة من قبل الداورية الدولية للجليد من جانب الجامعات . ومع حلول منتصف السبعينات ، كانت فكرة استخدام الجبال الجليدية للحصول على كميات ضخمة من المياه قد سيطرت على خيال العديد من العلماء والعامة ، خاصة بعد أن شرعت المملكة العربية السعودية في برنامج للنظر في جدوى نقل جبال جليدية الى أراضيها . فقد تم تجميع ثروة من المعلومات عن الجبال الجليدية في مؤتمر معني بالاستفادة من الجبال الجليدية عقد في ايمز ، بولاية ايوا ، عام ١٩٧٧ (الحسيني ، ١٩٧٨) . وفي أعقاب ذلك المؤتمر ، يبدو أن الاهتمام بمشروع من هذا القبيل قد انحسر ، ربما لأنه تبين أن جدواه الاقتصادية والتقنية كانت موضع شك . وقد لا تكون الحاجة الى المياه العذبة قد أصبحت بعد من الضخامة بحيث تبرر المخاطر والنفقات التي تتكبد نظير سحب جبل من الجليد للوفاء بتلك الحاجة .

٣ - اعادة استخدام المياه

يناقش الفصل الثالث استرداد المياه المهدورة كوسيلة لتخفيض الطلب على المياه عالية الجودة . وعلى مدى العشرين عاما الماضية ، أولت بلدان اهتماما أعظم بدرجة كبيرة لاعادة استخدام واعادة توزيع المياه المهدورة المعالجة بهدف الحد من التلوث ، والمحافظة على المياه . وقد دعي الى اعادة استخدام المياه المهدورة لأغراض أخرى غير الشرب مثل الري الزراعي ، واعادة حقن المياه الجوفية ، واعادة التوزيع داخل الوحدات الصناعية . كما مارست البلدان الصناعية بصفة عامة اعادة الاستخدام ، حيث كانت اعتبارات مكافحة التلوث تدخل غالبا في القرار باعادة استخدام المياه . أما اعادة استخدام المياه المهدورة لأغراض الشرب فلم يثبت حتى الآن أنه آمن ، وأي اعادة استخدام مباشرة لغرض الشرب في الوقت الراهن تتم على نطاق ضيق وبصورة تجريبية . وقد أضاف القلق المتزايد في السنوات الأخيرة ازاء آثار المواد العضوية والملوثات الأخرى ذات المستوى المنخفض ، عنصرا جديدا الى الحذر من اعادة استخدام المياه المهدورة حتى في الاستعمالات الزراعية والصناعية .

وثمة نطاق محدود لاعادة استخدام المياه المهدورة فى البلدان النامية ، حيث أن العديد من الدول ليس لديه أنظمة للصرف لجمع المياه المستعملة .

وفى القرى الصغيرة التى تعتمد فى امداداتها من المياه على مواقع ثابتة لا يوجد بصفة عامة نظام لجمع المياه المستعملة . بيد أن من المؤكد أن هناك مجالا لتشييد صناعات جديدة بها أنظمة لاعادة استخدام المياه . وفضلا عن ذلك ، فان مياه الصرف المنزلية التى تجمع يمكن استخدامها ، بعد معالجتها للأغراض الزراعية . وحيث أن المياه تصير أكثر ندرة وتصبح البلدان النامية أكثر قلقا بشأن المحافظة على المياه ، فان اعادة استخدام مياه الصرف المعالجة فى الزراعة والصناعة ستصبح على الأرجح أكثر أهمية الى حد كبير .

٤ - تعزيز الامدادات أو المصادر الحالية

كرس الفصل الرابع لمناقشة امكانية تعزيز امدادات المياه الحالية عن طريق زيادة الأمطار أو تقليل التبخر . وقد اتسم البحث فى تقنيات بذر السحب بالنشاط البالغ على مدى العشرين عاما الماضية . ولقد كان هناك قدر كبير من التفاؤل فى أوائل ومنتصف الستينات فى بلدان مثل الولايات المتحدة الأمريكية ، واستراليا ، واسرائيل ، بأن تغيير الطقس يمكن أن يوفر امدادات اضافية من المياه اللازمة للوفاء بالطلب المتزايد فى الزراعة ، والصناعة ، والبلديات . وبينما كانت النتائج ايجابية جدا فى بلد واحد (اسرائيل) ، هدأ التفاؤل السابق فى البلدان الأخرى بفعل التجربة . فصنع الأمطار مسألة تنطوى على مخاطرة شديدة ومن الصعب للغاية اثبات نجاحها احصائيا . ونظرا لما ينطوى عليه ذلك من مخاطر كثيرة ، فقد لا يرغب العديد من المجتمعات التى تعتمد على الأمطار فى الاستثمار فيها . وفضلا عن ذلك ، لا تكون هناك بصفة عامة سحب كافية مناسبة للبذر وذلك أثناء فترة جفاف أو قحط . فهذه التكنولوجيا تعمل بصورة أفضل أثناء الفترات التى تسودها سحب أكثر وتكون مفيدة للغاية فى ملء الخزانات أو اعادة حقن الطبقات الصخرية المائية . وهكذا ، فانه يتعين توافر البنية الأساسية لجمع المياه . وفى حين قامت معظم البلدان بتخفيض برامجها فى هذا الميدان ، بدأت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية فى السنوات الأخيرة فى تنفيذ برنامجها لزيادة الأمطار . والمأمول أن تؤدى البحوث التى أجريت فى نطاق ذلك البرنامج الى فهم أفضل لعمليات تغيير الطقس .

جيم - أهداف العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية

يتمثل الهدف الرئيسى للعقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق

الصحية ، الذى أعلنته الأمم المتحدة فى تشرين الثانى / نوفمبر ١٩٨٠ (انظر قرار الجمعية العامة ٣٥/١٨) فى التوسع فى توفير مياه الشرب وخدمات المرافق الصحية لجميع الناس، وخاصة فى المناطق الريفية بالبلدان النامية ، بحلول عام ١٩٩٠ . وتقوم وكالات الأمم المتحدة المشاركة فى النهوض بأهداف العقد فى سائر أرجاء العالم النامى بمساعدة الحكومات فى تنفيذ خطط وطنية لقطاع مياه الشرب والمرافق الصحية . وفى عديد من المناطق التى تعانى من نقص فى المياه ، تتضمن الخطط والبرامج الوطنية تنمية الكثير من مصادر المياه غير التقليدية .

والمصادر غير التقليدية للمياه التى نوقشت فى هذا المجلد لا توجد مياها جديدة ، وانما توسع فقط من امكانية معالجة مصادر المياه التى كانت تعتبر فيما سبق غير قابلة للاستخدام أو غير متاحة ، والاستفادة منها . وهذا يعنى أن مياه البحار والمياه الضاربة الى الملوحة ، والمياه المهدورة ، والمياه الموجودة فى أماكن بعيدة يمكن اعتبارها الآن مصادر ممكنة للمياه العذبة . وفيما يتعلق بالبلدان النامية التى تعانى من نقص المياه العذبة ، يوسع استخدام المصادر غير التقليدية من امدادات مياه الشرب بها ، على أن يكون باستطاعة الموقع أن يوفر هذا النوع من المياه . فعلى سبيل المثال ، يتسم رأس المال وتكاليف التشغيل المرتبطة بازالة الملوحة والنقل بالناقلات ، بالارتفاع ، وتستمر تكاليف التشغيل العالمية طالما استمر انتاج المياه .

ومن ناحية أخرى ، فان استخدام مصدر غير تقليدى للمياه قد يتيح امكانية تحسين مستويات المعيشة . فعلى سبيل المثال ، يمكن أن تتيح وحدة صغيرة لازالة الملوحة مصدرا يعتمد عليه للمياه العذبة بالنسبة للمناطق التى كانت تعتمد من قبل على ظروف الطبيعة المتقلبة فى حصولها على المياه . كما يمكنها أن تقلل المسافة التى تنقل المياه عبرها من المصدر الى المستخدم ، حيث أن ازالة الملوحة يمكنها أن تجعل المصادر الأقرب ، التى كانت من قبل غير مستساغة ، قابلة للاستخدام . وحيث أن هذا النقل يتم فى الغالب بواسطة شاحنات ، أو مراكب ، أو عربات تجرها الدواب و/أو النساء ، فان ازالة الملوحة يمكن أن تسفر فى الغالب عن وفورات فى الوقود أو المال أو الوقت .

١ - الخدمة الشاملة للجميع

يتمثل الهدف العالمى للعقد فى أن يتيح للجميع امكانية الوصول الى مياه الشرب بالكمية والنوعية اللتين تسفران عن تحسينات فى الصحة العامة . وهذا يعنى وضع استراتيجية تعطى أسبقية لمن لا يتمتعون بقدر كاف من

الخدمات ممن لا تشملهم البرامج الحالية . ففى المناطق القاحلة للغاية ، أو المجتمعات الريفية أو الساحلية النائية ، يمكن أن توفر ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة أو مياه البحار مصدرا لمياه الشرب النقية التى لا تكون متاحة بغير هذا السبيل . وفى نهاية المطاف ، قد توفر التجارب الراهنة التى تستخدم فيها وحدات ازالة الملوحة الى جانب نظم الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح ، تكنولوجيا قابلة للتنفيذ من أجل المجتمعات النائية . وقد يتيح نقل المياه بالمراكب أو اعادة استخدام المياه المهدورة مياها أقل جودة لأغراض الاستعمالات الصناعية أو الزراعية ، مما يجعل الامدادات المحدودة للمياه عالية الجودة متاحة لأغراض الاستعمال المنزلى . فاستخدام مثل هذه المصادر سوف يخفض من ضرورة انشاء خطوط أنابيب بأبعاد طويلة الى المناطق النائية . وسوف تزيد وحدات ازالة الملوحة الصغيرة من الامدادات الحالية للمياه الضاربة الى الملوحة ويمكنها أن تسهم فى تحسين الصحة العامة بوجه عام .

وقد تمثل المصادر غير التقليدية اضافة مكملة قابلة للتنفيذ فى المناطق التى تكون فيها الامدادات غير كافية بسبب النمو السكانى ، أو التلوث ، أو انقطاع الامدادات . وقد اضطر بعض الناس بالفعل الى تكملة امداداتهم من المياه اما بالسير لمسافات طويلة أو دفع أثمان مرتفعة للبائعين من أجل الحصول على كميات ضئيلة من المياه . ويمكن أن توفر وحدة لازالة الملوحة ، أو اعادة استخدام المياه المهدورة لأغراض منتقاة ، أو نقل المياه بالناقلات ، الاضافات الضرورية المكملة للمناطق الريفية التى لا تتمتع بقدر كاف من الخدمات ، نظير نفقات أقل مما ينفقه الناس فى الوقت الراهن فى عديد من الحالات للحصول على الماء .

٢ - تنمية الموارد البشرية

حيثما تكون التكنولوجيا المعقدة مطلوبة لتنمية مورد غير تقليدى للمياه ، يمكن أن يمثل الأفراد المدربون ، الذين يتوفر لديهم الباعث ويتلقون تدريبا سليما ، أفضل استثمار يتم فى المرفق المعنى . وعلى سبيل المثال ، يواجه العديد من البلدان النامية نقصا خطيرا فى العمال المهرة أو المدربين اللازمين لتشغيل وحدة لازالة الملوحة أو لمعالجة المياه المهدورة . وبدون نواة مدربة من الأفراد ، يصعب التشغيل وربما يؤدى الى كارثة ، وذلك يتوقف على نوع الوحدة . بيد أن الأفراد الذين تلقوا قدرا قليلا من التعليم الرسمى بمقدورهم ، كما وضح فى بلدان نامية عديدة ، أن يصبحوا مشغلين أكفاء لتلك الوحدات اذا تم انتقاؤهم وتدريبهم وايجاد الباعث لديهم ومساعدتهم تقنيا فى أعمالهم بصورة سليمة .

٣ - التكنولوجيا المناسبة

سوف تعتبر مقدرة المجتمع على الاضطلاع بمسئولية تشغيل وصيانة المرافق عاملا هاما فى اختيار التكنولوجيا . ومن المستصوب بصفة عامة ، اختيار بضعة نماذج بسيطة لمرافق توفير المياه والمرافق الصحية يكون من الممكن توحيد نمطها ومن ثم تعميم تطبيقها فى مختلف أرجاء البلد المعنى ، ويكون من الممكن تصنيع قطع الغيار لها محليا . ولا يصدق هذا فقط على الأنواع التقليدية من السدود والآبار ، والمضخات ، بل يصدق أيضا على المرافق غير التقليدية البسيطة نسبيا على نطاق القرية .

ومن الصعب جدا التعميم فيما يتعلق بملائمة موارد المياه غير التقليدية فى البلدان النامية . فقد استخدمت ازالة الملوحة لتوفير امدادات مياه الشرب على مستوى البلديات فى كوراساو (جزر الأنتيل الهولندية) منذ ١٩٢٨ وفى مصر منذ أوائل الثلاثينات ، وهما يتمتعان فى الوقت الراهن بعدد كبير من وحدات ازالة الملوحة التى تعمل بنجاح . وقد أعيد استخدام المياه المهدورة فى الزراعة على مدى ما يزيد عن قرن من الزمن فى الهند واستخدام نقل المياه بالسفن بصورة دورية فى أوربا ومنطقة الكاريبى عبر المائة سنة الماضية . وقد يعتبر مصدر أو أكثر ، غير تقليدى ، مناسبا ، وذلك حسب الموقع .

٤ - قابلية التطبيق من الناحية الاقتصادية

عند تقرير قابلية أحد مشاريع القرية للتطبيق من الناحية الاقتصادية ، قد تكون فوائده غير مباشرة ومن الصعب حصرها كميا ، مثل تحسين الصحة العامة واعفاء المرأة من حمل المياه عبر مسافات طويلة . وفى عديد من الحالات قد ترى الحكومات أن مشاريع توفير المياه بالقرى استثمارات اجتماعية أكثر من كونها استثمارات سوف تحقق عائدات اقتصادية . بيد أنه فى حالة مشروع لمورد مياه غير تقليدى ، سيكون من اللازم أن يدفع سكان القرية مقابل تشغيل وصيانة التسهيلات أو رسوم نقل المياه بالسفن على المدى الطويل . ولذلك ، فان قابلية التطبيق الاقتصادية للمشروع يتعين تحديدها بصورة مشتركة من جانب الجهاز الحكومى والمجتمع .

وينبغى أن نتذكر أن المساكن فى المناطق التى تواجه نقصا فى المياه تعتمد بالفعل على مصادر مياه باهظة التكاليف . فقد يدفع سكان القرى كل يوم الكثير مقابل الماء الذى يعيشون عليه ، ولذلك فليس بمقدورهم تجميع رأس المال اللازم لاقامة نظام أفضل لتوفير المياه . وقد تكون الحكومة قادرة على توفير

المساعدة اللازمة للاستثمار فى مورد مياه غير تقليدى ، اذا تعهد المجتمـــــــع بتغطية كافة مصاريف التشغيل والصيانة .

أولا : تنمية مصادر المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار

ألف - مقدمة

لم تكن المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار تعتبران ، فيما مضى ، موارد يمكن تنميتها لاستعمالها كمياه للشرب أو للزراعة . ذلك أن كثرة الأملاح في هذه المياه ، جعلتها غير مستساغة للاستهلاك الآدمي ، ومن المستحيل استعمالها في الزراعة العادية . بيد أن استخدام عمليات ازالة الملوحة جعل موارد المياه الملحة هذه متاحة الآن لاستعمال الانسان .

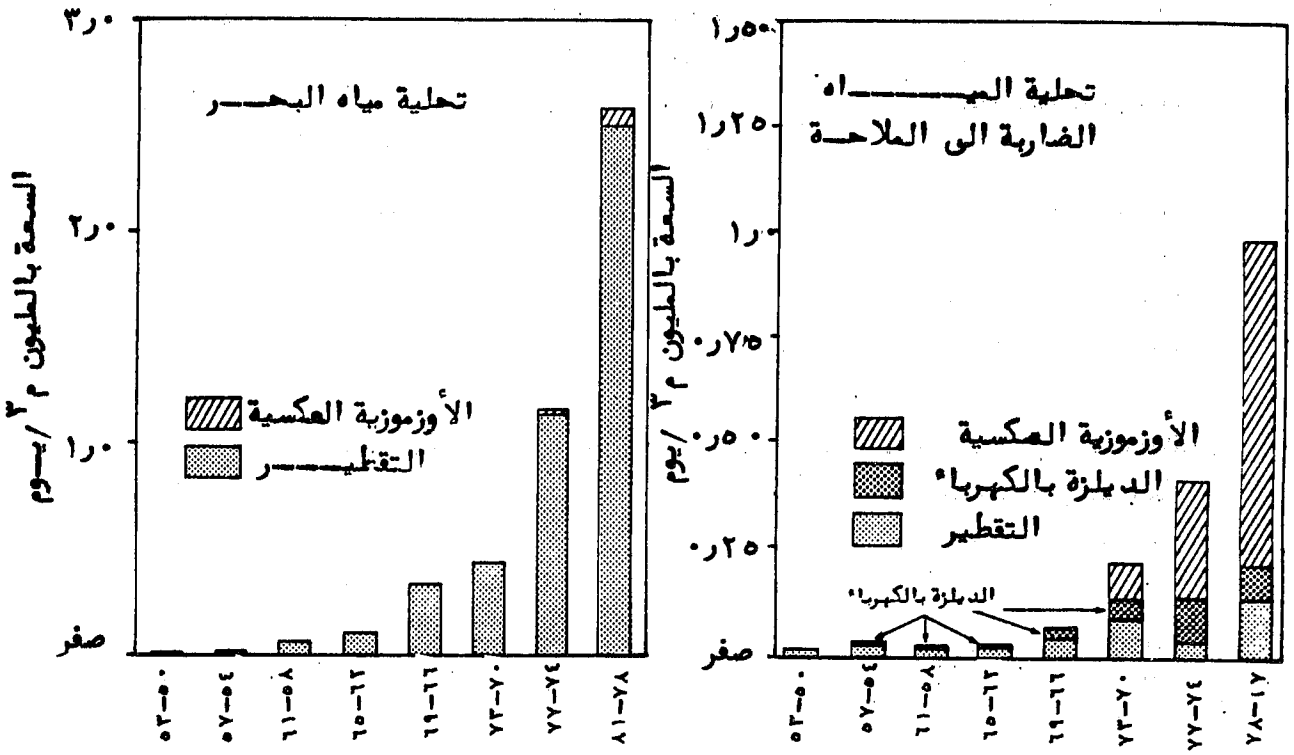
ويشير مصطلح ازالة الملوحة (الذى يعرف أيضا بعملية التخلص من الملوحة) الى عملية ازالة الأملاح من المياه ، وهو مفهوم ليس بالجديد ، حيث كان ولا يزال موضع تجارب ومناقشات على مدى ٢٠٠٠ سنة على الأقل . انما الجديد هو استحداث عمليات قابلة للتطبيق تجاريا (وذلك ما يجعل المياه الخالية من الملوحة مصدرا " غير تقليدى ") .

وقد بدأت صناعة ازالة الملوحة ، كما هى قائمة اليوم ، منذ ٣٠ عاما على وجه التقريب أى منذ أوائل الخمسينات . وقبل ذلك ، كانت تستعمل وحدات تقطير صغيرة لانتاج مياه عذبة على ظهر السفن على مدى عدة قرون وكانت تكنولوجيا التقطير معروفة فى بعض الصناعات .

وقد نوقش استخدام النوع البحرى من وحدات التقطير فى تطبيقات أرضية في البلديات من قبل جهات مختلفة في منطقة الكاريبى وغيرها فى أوائل العقد الأول من القرن الحالى . وأقيمت منشآت فى أماكن مثل جزر الأنتيل الهولندية ومصر . وفى حين كانت التكنولوجيا (التقطير) متاحة ، كانت المشكلة الرئيسية هى الاقتصاديات ، فقد كانت تكلفة تقطير مياه البحار أو المياه الضاربة الى الملوحة لانتاج مياه عذبة جد مرتفعة بمقارنتها بمصادر المياه التقليدية . ولم يكن يقدر على تحمل التكلفة الا تطبيقات خاصة و/أو مجتمعات محلية قليلة ، كان معظمها يقتصر على تطبيقات عسكرية وصناعية خاصة .

وفى عام ١٩٥٠ ، لم يكن هناك سوى بضع وحدات تقطير أرضية متناثرة لانتاج المياه ، حيث كان اجمالى الطاقة العالمية حوالى ١٠٠٠٠ م^3/ يوم (٢ر٦ مليون غالون فى اليوم) . وبحلول عام ١٩٨٤ ، تحسنت التكنولوجيا وازدادت الوفورات الضخمة بحيث ارتفع اجمالى القدرة العالمية لازالة الملوحة الى حوالى ٧٥٠٠٠٠٠ م^3/ يوم (٢ مليون غالون فى اليوم) . ويمكن تقسيم الفترة من ١٩٥٠ الى منتصف الثمانينات الى ثلاث مراحل : الاكتشاف ، والتطوير ، والاستغلال تجاريا بغية تحقيق الربح (بوروس وآخرون ، ١٩٨٤)

وخلال تلك الفترة كان الجهد الرئيسى مركزا على أربع عمليات لازالة الملوحة : التقطير ، والتجميد ، والديلزة بالكهرباء ، والأوزموزية العكسية . ويوضح الشكل ١ نمو كل عملية من هذه العمليات خلال تلك الفترة .



الشكل رقم ١ - نموسعة ازالة الملوحـــة ، ١٩٥٠ - ١٩٨١

١ - استحداث التكنولوجيا

(أ) الاكتشاف : الخمسينات

فى الخمسينات، كان التقطير هو الوسيلة الوحيدة القابلة للتطبيق لازالة الملوحة سواء بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة أو لمياه البحار . وكان معظم الوحدات الأولى عبارة عن وحدات تقطير صغيرة منعزلة متعددة النتائج ذات سعات تتراوح بين ٢٠ و٦٠ م^3/يوم (٣٠٠ ٥ الى ٠٠٠ ١٦ غالون فى اليوم) وكان الناتج يستعمل أساسا لتغذية المراجل بالمياه .

وفى ١٩٥٢ ، قامت حكومة الولايات المتحدة بانشاء مرفق المياه الملحة وتمويله . وقد أرسى ذلك الجهاز، وما تم من عمل تحت رعايته ، الأساس التقنى لتنمية صناعة ازالة الملوحة الحالية . فقد قام مرفق المياه الملحة ، ثم مرفق بحوث وتكنولوجيا المياه الذى أنشئ فى أعقابه برصد ميزانيات زادت على ٣٠٠ مليون دولار أمريكى للدراسات والبحوث ووحدات البيان العملى على مدى ٣٠ عاما حتى تم حله فى ١٩٨٢ .

لقد كانت كل عمليات ازالة الملح لاتزال فى مهدها فى الخمسينات . وسرعان ما حلت عملية الوميض المتعدد المراحل ، التى طورت وسجلت فى اسكوتلندا ، محل استخدام وحدات الأنابيب المغمورة متعددة النتائج لانتاج المياه العذبة عن طريق التقطير، وذلك فى منتصف الخمسينات . وقد زاد باطراد استخدام عملية الوميض المتعدد المراحل ، وهى تمثل فى الوقت الراهن ثلثى اجمالى المقدرة على ازالة الملوحة فى العالم .

والتجميد هو العملية الأخرى لازالة الملح من مياه البحر، والتى بدا فى السنوات المبكرة أن لها امكانية طيبة . وعلى الرغم من أن ، براءات الاختراع التى تقر مبدأ ازالة الملح من المياه الملحة بطريق التجميد قد سجلت منذ العشرينات، فلم يحدث نشاط كبير حتى الخمسينات، عندما بدأت عدة شركات فى الولايات المتحدة واسرائيل تعمل فى انتاج وحدات لازالة الملح بالتجميد .

وكانت ازالة الملوحة من المياه الضاربة الى الملوحة عن طريق الديلزة بالكهرباء انجازا تكنولوجيا رئيسيا فى الخمسينات . ويتمثل أحد العوامل التى أدت الى انشاء مرفق المياه الملحة فى استحداث وعرض وحدة للديلزة بالكهرباء فى ١٩٥١ - ١٩٥٢ أمكنها ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ، فقد بينت الوحدة أن ازالة الملح من المياه الضاربة الى الملوحة يمكن أن تتيح تكاليف ممكنة وتقل كثيرا عن تكاليف التقطير ، الذى كان العملية الأخرى الوحيدة

الجدول ١ : وحدات ازالة الملوحة المركبة أو المباعة خلال الفترة
١٩٥١ - ١٩٨٠

نوع العملية	سعة الوحدات المركبة أو المباعة خلال الفترة (م٣ / يوم) ١٩٥١-١٩٦٠/أ	١٩٦١-١٩٧٠/أ	١٩٧١-١٩٨٠/ب
التقطير			
الوميض متعدد المراحل	٢٦ ٧٢٠	٥٠٦ ٠٨٠	٢ ٧٠٢ ٠٠٠
الأنبوب الرأسي	٢٢ ٠٢٠	١٣٤ ٥٥٠	٢٠٧ ٢٠٠
الأنبوب المغمور	٦٣ ١٨٠	١١ ٤٥٠	٨ ٥٧٠
عمليات أخرى	٤ ٨٩٠	٢٤ ٩٠٠	١٦٣ ٠٠٠
التجميد	—	٣٨٠	١١٠
الديلزة بالكهرباء			
معيارية	٣٠٠	٣٧ ٢٩٠	١٠١ ٨٤٠
عكسية	—	—	١٣٩ ٣٢٠
الأوزموزية العكسية	—	٨ ٥٧٠	١ ٠٤١ ٨٠٠
الاجمالي /ج	١١٧ ١١٠	٧٢٣ ٢٢٠	٤ ٣٦٤ ١٤٠

نوع العملية	سعة الوحدات المركبة أو المباعة خلال الفترة (بالمليون غالون في اليوم) ١٩٥١-١٩٦٠/أ	١٩٦١-١٩٧٠/أ	١٩٧١-١٩٨٠/ب
التقطير			
الوميض متعدد المراحل	٧ر٠٥	١٣٣ر٥٣	٧١٣ر٠١
الأنبوب الرأسي	٥ر٨١	٣٥ر٥٠	٥٤ر٦٧
الأنبوب المغمور	١٦ر٦٧	٣ر٠٢	٢ر٢٦
عمليات أخرى	١ر٢٩	٦ر٥٧	٤٣ر٠١
التجميد	—	٠ر١٠	٠ر٠٣
الديلزة بالكهرباء			
معيارية	٠ر٠٨	٩ر٨٤	٢٦ر٨٧
عكسية	—	—	٣٦ر٧٦

الجـــــدول ١ (تابع)

الأوزموزية العكسيـــة	—	٢ر٢٦	٢٧٤ر٨٨
الاجمالى /ج	٣٠ر٩٠	١٩٠ر٨٢	١ ١٥١ر٤٩

المصادر والحواشي :

(أ) بناء على بيانات مأخوذة من

A.N. El-Ramly and F.C. Congdon, Desalting plants inventory report No. 6 (Washington, D.C., United States Department of Interior, 1977).

(ب) بناء على بيانات مأخوذة من

A.N. El-Ramly and F.C. Congdon, Desalting plants inventory report No. 7 (Honolulu, Techno-Economic Services, and Ipswich, Massachnsetts, National Water Supply Improvement Association, 1981).

وقد وردت فى تقرير الرملى وكونغدون وحدات ازالة الملح المقرر بناؤها بعد ١٩٨٠ ولكنهـــا لـم تـزد فـى هـذا الجـدول ، وتبلـغ سعتهـا المضافة حوالـــــى ٢ر١٩ مليـون م^{٣} / يـوم (٥٨٠ مليون غالون فى اليوم) .

(ج) هـذا الجدول لا يشمل الوحدات ذات السعـــة التى تقـل عـــن ٩٥ م^{٣} / يـوم (٢٥ ٠٠٠ غالون فى اليوم) .

المستخدمة لذلك الغرض . وقد أنشئت وحدات وبيع عدد منها وتم تشغيله في الشرق الأوسط والولايات المتحدة الأمريكية .

وفي عام ١٩٥٣ ، أجرى بيان عملي للمبادئ الأساسية لعملية الأوزموزية العكسية لازالة الملح من المياه الملحة عن طريق ضغط محاليل ملحة تجاه غشاء شبه منفذ . ونتيجة لمواصلة العمل في أواخر الخمسينات، تحسن تدفق المياه عبر الأغشية ، وثباتها ، ورفضها للملح كيما تكون قابلة للاستخدام التجاري .

وثمة وثيقتان هامتان توجزان كثيرا من التفكير والمعرفة التقنية لهذه المرحلة الكشفية من مراحل ازالة الملح ، وهما مداولات الندوة الدولية الأولى المعنية بازالة ملوحة المياه الصادرة عن مرفق المياه الملحة (وزارة الداخلية الأمريكية ، ١٩٦٥) والمطبوع الصادر عن الأمم المتحدة بعنوان ازالة ملوحة المياه في البلدان النامية (الأمم المتحدة ، ١٩٦٤) . وقد ركزت مناقشة موجزة لعمليات ازالة الملوحة في المطبوع الأخير بصورة رئيسية على مختلف عمليات التقطير ، مثل الوميض متعدد النتائج متعدد المراحل ، وضغط البخار ، وناقشت التجميد والديلزة بالكهرباء ، الى جانب استخراج السوائل وتبادل الأيونات ، ولكنها لم تذكر الأوزموزية العكسية ، التي كانت لاتزال في مرحلة الدراسة في المختبرات . واستعرض المطبوع للمرة الأولى احتمالات تطبيق تكنولوجيا ازالة الملوحة في ٥٣ بلدا من البلدان النامية التي تعاني من نقص المياه .

وتقدر سعة وحدات ازالة الملوحة التي بيعت أو ركبت بين عام ١٩٥١ وعام ١٩٦٠ بحوالي ١١٧ ٠٠٠ م^3 / يوم (٣١ مليون غالون في اليوم) ، يبين الجدول ١ توزيعها حسب العمليات .

(ب) التطوير : الستينات :

في الستينات مضى العمل قدما بشأن الطرق المختلفة لازالة الملوحة ، مثل عمليات التقطير والتجميد ، والديلزة بالكهرباء ، والأوزموزية العكسية ، وتبادل الأيونات واستخراج السوائل . وخلال تلك الآونة ، أفاد الباحثون والشركات الصانعة من المعرفة الأساسية التي اكتسبت في الخمسينات بغية تطوير منتجات تجارية للسوق الممكنة . وبذلت جهود لخفض تكاليف المياه باستخدام تصميمات ومواد مبتكرة . وكان الباحثون يعتقدون أن التكاليف الشاملة لانتاج مياه عذبة بازالة الملح من مياه البحر يمكن خفضها الى حوالي ٣٥ر-دولار/ م^3 (١٣٠ر١ دولار لكل ألف غالون) مع نهاية العقد .

وعلى الرغم من أن عدة أنواع من وحدات التقطير بنيت خلال هذا العقد ، فان التصميم السائد كان قائما على أساس عملية الوميض متعدد المراحل .

وقد عمل المصممون لزيادة الكفاءة بمحاولة زيادة الحد الأعلى لدرجة الحرارة التى ستعمل عندها الوحدات واستعمال نوع منخفض التكلفة من مواد البناء ، بهدف خفض تكاليف انتاج المياه والتكاليف الرأسمالية . وقد أقيم عدد من الوحدات فى نطاق ٤٠٠٠ الى ٨٠٠٠ م^{٣}/ يوم (١ر١ الى ٢ر٢ مليون غالون فى اليوم) فى منطقة الكاريبى وأمريكا الشمالية والشرق الأوسط .

وفى غضون ذلك ، كان عدد من الشركات فى الولايات المتحدة واسرائيل يعمل لتطوير مجموعة متنوعة من عمليات ازالة الملح عن طريق التجميد . وكان من الممكن أن تكون عملية التجميد أكثر توفيرا من عملية التقطير ، التى كانت منافسها الحقيقى الوحيد لازالة الملح من مياه البحر ، وذلك بمعايير الديناميات الحرارية ، والتآكل ، والمواد الخام . ولكن ، لسوء الحظ ، ثبت من الناحية الميكانيكية صعوبة مواجهة تكون الجليد والبخار داخل الوحدات . وبحلول ١٩٦٩ - ١٩٧٠ ، كان المرفق التجارى الوحيد هو ما أقيم بفندق فى فيرجن أيلاندز التابعة للولايات المتحدة ، بينما كانت هناك وحدات للبيان العملى فى اسرائيل والولايات المتحدة .

واستمر تطوير وحدات للديلزة بالكهرباء وبيعها لأغراض استعمالات المياه الضاربة الى الملوحة فى أجزاء مختلفة من العالم ، وبدأ عدد صغير من الشركات الصانعة فى دخول السوق . واستنادا الى هذه الخبرة تحسنت المواد الخام وعمليات التشغيل . وكانت تظهر بين الحين والآخر مشاكل فى التشغيل تتمثل فى تكون وترسب رواسب وجوامد أخرى فى المداخن ،

وفى ميدان الأوزموزية العكسية ، ركز الباحثون جهودهم على استحداث جهاز وطريقة هندسية للأغشية لادماج الأغشية السابق استحداثها بكفاءة . وتمثلت الأشكال الأربعة للأغشية التى لقيت أكبر قدر من الاهتمام فى : الملفوفة حلزونيا ، والتى تأخذ صورة الصفيحة والاطار ، والأنبوبية ، والتى تأخذ شكل الخيط الدقيق المفرغ . ومع أواخر الستينات ، كانت بضع وحدات للأوزموزية العكسية قد تم تشغيلها فى الولايات المتحدة لمعالجة المياه الضاربة الى الملوحة ، معظمها للاستعمالات الصناعية .

وقد نشرت الأمم المتحدة دراستين قدمتا بيانات فعلية عن عمليات وحدات ازالة الملوحة خلال أواخر الستينات (الأمم المتحدة ، ١٩٦٩ و١٩٧٣) وقد أخذت هاتين الدراستين شكل قائمتى جرد تفصيليتين للوحدات شملت الحجم ، والتكاليف ومواد البناء . وقد اشتملت القائمة الأولى على بيانات التشغيل الخاصة بـ ٥٧ وحدة فى ٢١ بلدا لعام ١٩٦٥ . واشتملت الثانية على بيانات التشغيل خلال عام ١٩٦٨ بالنسبة لـ ٩٤ وحدة فى ٢٢ بلدا .

وفى الولايات المتحدة ، بدأ مرفق المياه الملحة محاولة لاعداد قائمة جرد فى عام ١٩٦٨ ضمت بيانات أقل شمولا لكنها اشتملت على عدد أكبر من الوحدات . وقد تكرر هذا الجرد كل بضع سنوات ، وصدرت القائمة السابعة فى عام ١٩٨١ . ومن المتوقع اعداد قائمة جرد ثامنة فى عام ١٩٨٤ أو ١٩٨٥ .

ومن المقدر أن سعة وحدات ازالة الملوحة التى بيعت أو أضيفت فيما بين عام ١٩٦١ وعام ١٩٧٠ بحوالى ٧٢٣ ٠٠٠ م^3/ يوم (١٩١ مليون غالون فى اليوم) ، يوضح الجدول ١ أعلاه توزيعها حسب العمليات .

(ج) الاستغلال تجاريا بغية تحقيق الربح : السبعينات وما بعدها

أثر تصاعد تكاليف الطاقة بدرجة كبيرة على صناعة ازالة الملوحة خلال السبعينات . فمن ناحية ، حدّت تكاليف الطاقة المتزايدة من السوق الممكنة لازالة الملح فى عديد من الدول المستوردة للنفط وقضت على الأمل فى ازالة الملح من مياه البحر نظير ٣٥ر٠ دولار/ م^3 (٣٠ر١ دولار للألف غالون) أو أقل من ذلك . ومن ناحية أخرى ، أوجدت سوقا ضخمة لمعدات ازالة الملوحة فى مناطق الشرق الأوسط وشمال أفريقيا الغنية بالنفط والتى تعانى نقصا فى المياه .

وخلال هذه الفترة ، ظل تصميم الوميض متعدد المراحل يمثل العملية السائدة المستخدمة فى التقطير فى هذه الصناعة . وبلغت المبيعات فى الشرق الأوسط حدا عاليا جدا وسيطرت عليها شركات صانعة يابانية وأوروبية . وقد تمثل أحد الدروس الهامة المستفادة فى السبعينات فى أن استخدام مواد متدنية النوعية فى انشاء الوحدات ، و/أو التشغيل غير السليم ، خاصة فى وحدات الوميض متعدد المراحل التى تغذى بالأحماض ، تمخض عن مشاكل عديدة . وبذل جهد رئيسى لاستحداث وسائل فعالة لمراقبة الحجم والحد من التآكل فى وحدات التقطير .

وفيما بين عام ١٩٨٠ وعام ١٩٨٣ ، قامت المملكة العربية السعودية بتوسيع المجمعين العملاقين فى الخبر والجبيل الى سعتهما النهائيتين اللتين تبلغان حوالى ٢٥٠ ٠٠٠ م^3/ يوم (٦٦ مليون غالون فى اليوم) و ١ ١٠٠ ٠٠٠ م^3/ يوم (٢٩٠ ميغا غالون فى اليوم) على التوالى ، باستخدام وحدات الوميض متعدد المراحل مزدوجة الأغراض .

ومن الممكن اليوم تصميم وانشاء وحدة وميض متعدد المراحل يمكن الاعتماد عليها بتكاليف معقولة ، يمكن التنبؤ بها فيما يتعلق بالتشغيل والصيانة اذا أمكن تحديد المواد المستصوبة ومراقبة عمليات التشغيل . ويجرى الآن

تركيب معظم وحدات التقطير الكبيرة بالاضافة الى محطات لانتاج الطاقة الكهربية والاستفادة من الحرارة المهدورة من الأخيرة ، مما يخفض تكاليف الطاقة ويحسن ما يتحقق من وفورات ضخمة .

وقد توقف العمل فى تطوير عمليات ازالة الملح بالتجميد بصورة جوهرية خلال السبعينات ، اذ تسببت المشاكل الواسعة النطاق وعدم تحقيق نجاح تجارى فى أن أنسحبت من السوق معظم الشركات الصانعة التى كانت تقوم بتطوير عمليات ازالة الملح بالتجميد .

ومع أوائل السبعينات ، كان يتم بصورة معتادة بيع منشآت الديلزة بالكهرباء بسعات من ٥٠٠ الى ١٠٠٠٠ م^3 / يوم (بين ١ر٣ و٢ر٦ مليون غالون فى اليوم) . وفى ١٩٧٣ اتيحت على المستوى التجارى عملية انعكاس الديلزة بالكهرباء . وقد عملت هذه العملية الجديدة على عكس القطبية والتدفق فى المداخن على فترات منتظمة ، فحدت بذلك من مشاكل ازالة الرواسب ، وأتاحت التشغيل باستخدام أدنى قدر من المواد الكيميائية المعالجة سلفا .

واستمرت احدى الشركات فى السيطرة على السوق بفضل عملية انعكاس الديلزة بالكهرباء الخاصة بها والتى كانت قد قامت بتسجيلها . اذ قامت بكل مبيعات الديلزة بالكهرباء تقريبا فى السنوات الخمس الماضية . وجرت تحسينات فى انتاج نماذج بأحجام أكبر وأغشية أفضل خفضت استخدام الطاقة ، والانسداد بمواد غريبة ، والتكلفة الانتاجية .

وتعتبر الأوزموزية العكسية أكبر منافس للديلزة بالكهرباء ، فعند حساب التكاليف الشاملة ، يمكن للديلزة بالكهرباء أن تنافس تماما الأوزموزية العكسية فى معالجة المياه ذات المستوى المنخفض من الجوامد المذابة وبعض أنواع المياه العسرة ، على الرغم من انخفاض التكاليف المتعلقة عموما بالأوزموزية العكسية بوجه عام .

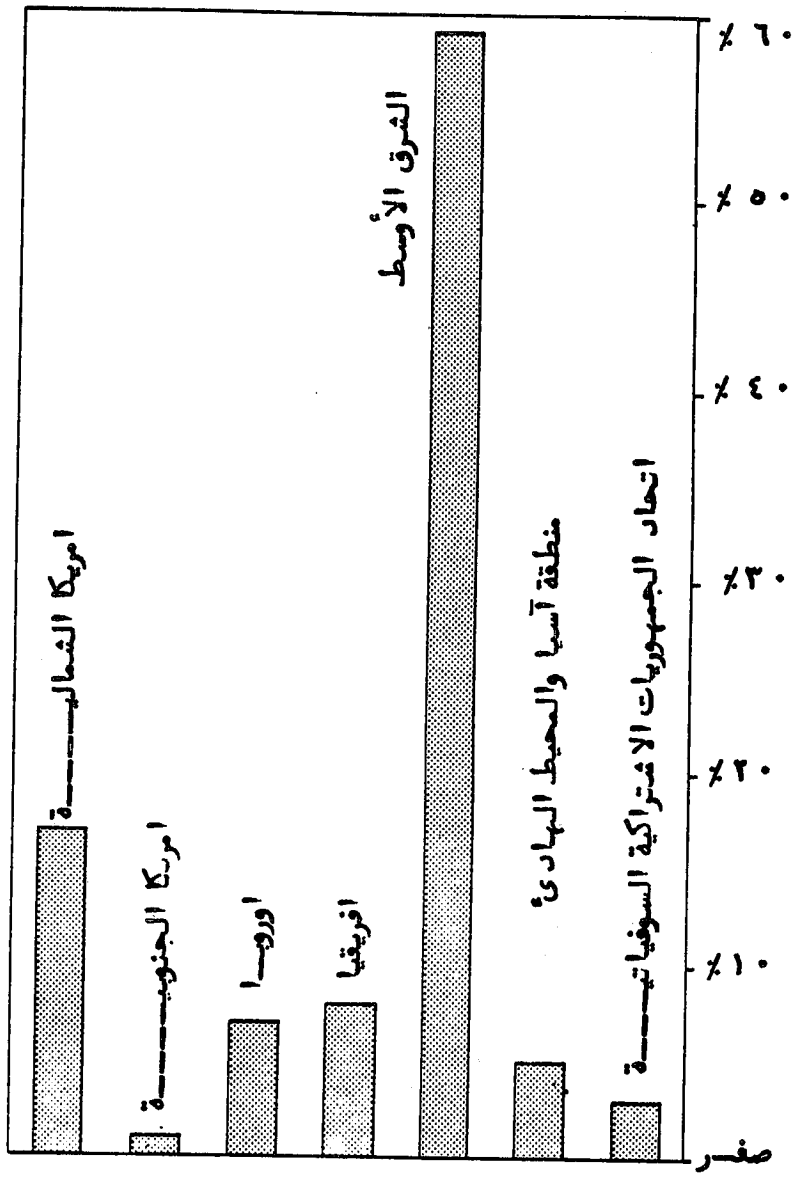
وقد أصبحت الأوزموزية العكسية عملية مقبولة ويمكن الاعتماد عليها فى ازالة الملوحة خلال ١٤ عاما من الخبرة التجارية . وبحلول عام ١٩٧٥ كان يتم تركيب وحدات للمياه الضاربة الى الملوحة تصل سعتها الى ٥٠٠٠ م^3 / يوم (١٠٣ مليون غالون فى اليوم) ، ومع نهاية السبعينات كانت تباع منشآت تبلغ طاقتها ٤٠٠٠٠ م^3 / يوم (١٠ر٦ مليون غالون فى اليوم) . وقد أصبح استخدام الأوزموزية العكسية كوسيلة لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة مقبولا على نطاق واسع . ومن بين الأشكال الأربعة للأغشية التى طورت فى الستينات ، لم يحقق نجاحا تجاريا ملموسا سوى تلك التى تأخذ شكل الخيط الدقيق المفرغ ، والملفوفة حلزونيا .

وخلال أواسط السبعينات، بدأت عدة شركات صانعة انتاج كميات صغيرة من أغشية الأوزموزية العكسية التى كانت قادرة على ازالة ملوحة مياه البحر بكفاءة. وبعد سلسلة من الانشاءات التجريبية، بيعت وحدة كبيرة سعتها ١٢ ٠٠٠ م^{٣}/ يوم (٣ر٢ مليون غالون فى اليوم) وتم تشغيلها فى المملكة العربية السعودية. ومع نهاية عام ١٩٨٠، بيعت أو ركبت وحدات للأوزموزية العكسية لمياه البحر زادت سعتها على ٥٤ ٠٠٠ م^{٣}/ يوم (١٤ر٣ مليون غالون فى اليوم) (الرملى وكونغدون، ١٩٨١) وبحلول عام ١٩٨٤، كانت الأوزموزية العكسية قد أصبحت منافسا خطيرا للتقطير كعملية لازالة ملوحة مياه البحر.

٢ - تنمية السوق

خلال السنوات الأولى، تم تركيب أكبر عدد من وحدات ازالة الملوحة فى البلدان المصدرة للنفط فى الشرق الأوسط وكذلك الوحدات المتعلقة باستكشاف الموارد الطبيعية واستغلالها. والمشترون الرئيسيون الآخرون لوحدات ازالة الملوحة هم المصايف وصناعات تعبئة الزجاجات وتجهيز الأغذية. أما توفير المياه الخالية من الملوحة للاستعمال فى البلديات أو للاستعمال المنزلى فكان أقل أهمية نسبيا. واعتبارا من عام ١٩٧١، بدأت سعة الوحدات المباعة لوكالات توفير امدادات مياه الشرب البلدية والمنزلية تتجاوز سعة الوحدات التى اشترتها الوحدات الصناعية ووحدات توليد الطاقة. وفى ١٩٧٩، ١٩٨٠، كان حوالى ٨٠ فى المائة من اجمالى سعة وحدات ازالة الملوحة المباعة، التى تبلغ حوالى ٤ر٢ مليون م^{٣}/ يوم، لتوفير امدادات المياه للبلديات.

وتقدر سعة وحدات ازالة الملوحة المباعة أو المضافة فيما بين عام ١٩٧١ وعام ١٩٨٠ بحوالى ٣ر٤ مليون م^{٣}/ يوم (١ ١٥٠ مليون غالون فى اليوم) ويبين الجدول ١ توزيعها حسب العمليات. ويبلغ التقدير الحالى لسعة وحدات ازالة الملوحة التى تم تركيبها على نطاق العالم ٥ر٧ مليون م^{٣}/ يوم (٢ ٠٠٠ مليون غالون فى اليوم)، ويوضح الشكل ٢ توزيع سعة ازالة الملوحة فى عام ١٩٨٠.



الشكل رقم ٢ – توزيع سعة ازالة الملوحة حسب الأقاليم، ١٩٨٠

ومنذ عام ١٩٧٠ كان نمو ازالة الملوحة كبيرا فى المناطق المنتجة للنفط فى الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ، فقد تم شراء أو تركيب سعة بلغت حوالى ٢ر٨ مليون م^{3} / يوم (٧٤٠ مليون غالون فى اليوم) لازالة الملح فى تلك المناطق خلال السبعينات . وفيما بين ١٩٨١ و١٩٨٣ ، أضيفت أو طلبت فى تلك الأقاليم سعة اضافية بلغت ١ر٧ مليون م^{3} / يوم (٤٥٠ مليون غالون فى اليوم) . ويرجع جانب كبير من هذه الزيادة الى زيادات تكلفة الطاقة التى أتاحت أرصدة اضافية للاستثمار فى البلدان المصدرة للنفط . ويستأثر الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بحوالى ٦٥ فى المائة من سعة ازالة الملح فى العالم فى عام ١٩٨١ . ويأتى فى المرتبة الثانية من حيث الضخامة سوق الولايات المتحدة الأمريكية وأراضيها ، حيث بلغ نصيبها ٢ر١٤ فى المائة من اجمالى السعة فى العالم ، تلتها أوربا التى بلغ نصيبها ٣ر٧ فى المائة من الاجمالى (الرملى وكونغدون ، ١٩٨١) ..

ومن المتوقع أن يستمر سوق الوحدات الكبيرة فى البلدان القاحلة المصدرة للنفط كأكبر سوق لوحدات ازالة الملوحة والمياه الخالية من الملح . فليس من المرجح أن يتم فى تلك الأسواق تطوير مفاهيم لازالة الملوحة تستلزم طلبات محددة للطاقة تقل كثيرا عما تتطلبه عمليات الوميض متعدد المراحل الحالية ، خاصة وأن العديد من تلك الوحدات يرتبط بالفعل بانتاج الطاقة فى وحدات توليد الطاقة الحرارية . والى أن يثبت أن التطويرات الأخرى يمكن استغلالها تجاريا ، من المتوقع أن يتمسك المشغلون التقليديون بوحدات الوميض متعدد المراحل التى جربت بدقة .

وحتى وقت قريب نسبيا ، كان الطلب على المياه الخالية من الملح فى البلدان الصناعية المستوردة للطاقة مقصورا على تلبية الاحتياجات المحلية أو المتخصصة مثل تعويض الفاقد من مياه تغذية المراجل . ومن خلال زيادة التصنيع ، الى جانب فرض قيود بيئية ، يحتمل تزايد الطلب على ازالة الملح بصورة كبيرة فى بعض البلدان ، مثل الولايات المتحدة ، واليابان ، وبلدان أوروبا الغربية (وود ، ١٩٨٢) .

والسوق الثالث الذى يتوقع له أن ينمو بدرجة كبيرة فى المستقبل أمام وحدات ازالة الملوحة الصغيرة نسبيا (أقل من ١٠٠٠ م^{3} / يوم تقريبا) هو سوق البلدان النامية القاحلة ، لتلبية حاجات الفنادق السياحية ، ومواقع التشييد والمجتمعات الصغيرة المنعزلة التى تفتقر الى كافة أنواع الموارد المعدنية تقريبا كما تفتقر الى الأموال . وعلى الرغم من التباين الشديد فى ظروفها الاقتصادية فانها تتقاسم الحاجة الى وحدات بسيطة ، يمكن تشغيلها بحد أدنى من الصيانة والعناية ، ولكن يمكن فى الوقت نفسه أن يعتمد عليها بصورة شاملة . ومن بين

التكنولوجيات التى يمكن أن تناسب تلك الحاجات : المبخرات الميكانيكية لضغط البخار ، حيث تكون امدادات الكهرباء متاحة أو يمكن توليدها بمحركات "الديزل" ووحدات التقطير الشمسية ، ووحدات الأوزموزية العكسية صغيرة الحجم التى تعالج مياه الآبار الضاربة الى الملوحة (وود ، ١٩٨٢) .

ولاتزال الأجهزة الحكومية هى أكبر منتج للمياه الخالية من الملح . وتتولى المشاريع الحكومية المركزية أو المحلية ادارة المنشآت الكبرى ، المستخدمة بصورة رئيسية لتوفير الاحتياجات المنزلية ، وغالبا ما تحصل البلدية على احتياجاتها من المياه من مصادر عديدة مختلفة ، بما فى ذلك ازالة الملوحة . وهكذا يمكن حساب متوسط التكاليف لتحديد أحجام التعريفة الجمركية . وعلاوة على ذلك ، يجوز تحميل الصناعات أكثر مما يتحمله المستهلكون المحليون ، خاصة اذا كانت تلك الصناعات تتطلب مياها عالية الجودة .

٣ - اختيار العمليات

من بين العمليات الرئيسية الأربع : التقطير ، والتجميد ، والأوزموزية العكسية ، والديلزة بالكهرباء ، نجد أن التجميد فقط هو الذى لم يصبح بعد قابلا للاستغلال تجاريا . ولذلك ، لن يكون محل مناقشات أخرى فى هذا المجلد . ويتناول الجزء المتبقى من هذا الفصل بمزيد من التفصيل تكنولوجيات التقطير ، والأوزموزية العكسية ، والديلزة بالكهرباء . ويرجع جانب كبير من هذه المناقشة الى ما كتب بمزيد من التفصيل عن هذا الموضوع فى كتيب الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية عن ازالة الملوحة (بوروس وآخرون ، ١٩٨٠) . ويحتوى ذلك الكتيب على شروح ورسومات بيانية تقنية مفيدة للغاية ، ويوصى بالرجوع اليه بالنسبة لأى جهاز فى بلد نام يفكر فى شراء وحدة لازالة الملوحة .

ولا يوجد بين العمليات الثلاث التالية التى ثبت انه من الممكن استغلالها تجاريا والتى تناقش فى الأقسام الثلاثة التالية وسيلة واحدة تعتبر " أفضل " وسيلة لازالة الملوحة . وبصفة عامة ، يستخدم التقطير والأوزموزية العكسية لازالة ملوحة مياه البحر ، بينما تستخدم الأوزموزية العكسية والديلزة بالكهرباء لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة . بيد أنه قد يتحدد اختيار واستخدام تلك العمليات حسب الموقع ، ويتعين اختيارها بعناية بالغة ، خاصة فى البلدان النامية . وقبل الالتزام بازالة الملوحة فى موقع معين ، ينبغى الحصول على مساعدة فنية ذات كفاءة لتقييم تنفيذ العملية .

وفى الستينات جرى التعبير عن تفاؤل حذر فيما يتعلق بدور ازالة ملوحة المياه فى مساعدة المناطق التى تعانى من نقص المياه فى البلدان النامية لسد

حاجاتها من المياه . وقد استند التفاؤل الى النمو السريع فى الطلب على المياه فى المناطق التى تواجه نقصا فيها والى تزايد خطى التنمية فى بعض تلك المناطق بالبلدان النامية . وهذه العوامل من شأنها أن تشجع على تنمية البنية الأساسية وتوجد مستوى معينا من التدريب التقنى ، ومن ثم توفر مكونات الطاقة اللازمة ، والطاقة الكهربية ، والأفراد المدربين للعمل فى وحدة ازالة الملوحة . وبالتأكيد هذا ما حدث ، الى حد ما ، فى الشرق الأوسط وفى جزر الكاريبى ومنطقة البحر المتوسط . فقد فتحت مجالات جديدة للتنمية وثم تدريب أعداد من الأفراد . بيد أن التنمية كانت باهظة التكاليف وكان تدريب الفنيين المحليين غير كاف فى كثير من الأحيان . وفى وحدات عديدة ، يستمر الأجانب فى تشغيل المرافق حتى بعد مضى سنوات عديدة .

وتعتبر التكلفة أحد الاعتبارات الرئيسية فى انتقاء احدى عمليات ازالة الملوحة . فبالمقارنة بتكاليف معظم مصادر المياه التى استحدثت وعولجت فى البلدان الصناعية بوسائل أكثر تقليدية ، قد تزيد تكلفة المياه الخالية من الملوحة من مرتين الى ٥٠ مرة . وعلى الرغم من بذل جهود ملموسة لخفض التكاليف ، فلا تزال المياه الخالية من الملوحة باهظة التكاليف . فالعملية فى جوهرها تعتمد على طاقة كثيفة ، كما تجب الزيادات السريعة فى تكاليف الطاقة ما تحقق من تحسينات فى المعدات والكفاءة . بيد أنه على الرغم مما تنطوى عليه هذه العملية من تكاليف كبيرة فان توافر المياه الخالية من الملح ، يمكن أن تحقق رخاء اقتصاديا لمنطقة ما . فحيث تكون المياه نادرة ، فانها تنقل فى الغالب عبر مسافات طويلة بالشاحنات أو على ظهور الحيوانات . وعندما تباع المياه ، فان ثمن الوحدة منها يتعدى غالبا ثمن الوحدة من المياه الخالية من الملح . ولذلك فان الظروف الاقتصادية المؤيدة لازالة الملوحة قائمة بالفعل فى عديد من المناطق التى تواجه نقصا فى المياه .

باء - التقطير

١ - خلفية تاريخية

ان التقطير ، وهو أشهر عمليات ازالة الملح من المياه وأوسعها نطاقا من حيث الاستخدام ، يتم منذ زمن طويل فى صور متباينة الكفاءة ، فتقطير المياه لأغراض الشرب يمارس على ظهر السفن البحرية على مدى مايقرب من ٤٠٠ عام ، وقد صدرت فى انكلترا فى القرن السابع عشر براءات اختراع لوحدات تقطير بخارية (بيكر ، ١٩٤٨) .

وقد تضمنت العمليات المبكرة للتبخير الموجه للسوائل ذات المحتوى العالى من الجوامد الكلية المذابة ، بانتاج الملح والسكر . وقد استخدم التبخير بالطاقة الشمسية ولايزال يستخدم لانتاج الملح . واستخدمت التكنولوجيات التى تستعمل مبخرات متعددة النتائج (ستناقش فى المرفق الأول) منذ مطلع هذا القرن فى انتاج السكر ، واستخدمت عملية التبخير لفصل السكر المذاب عن العصير المعصور من قصب السكر ، وكانت تلك العملية اقتصادية حيث أن السكر كان منتجا مرتفع القيمة - ولم يكن الناتج الثانوى ، المياه المقطرة ، يبرر التكلفة على الرغم من فائدته .

وجاءت التطبيقات المبكرة لتقطير مياه البحر لأغراض الشرب فى السفن المبحرة عبر المحيطات ، فكانت مياه البحر تقطر بكميات صغيرة على موقد الطهى بالسفينة باستخدام مقطر بدائى للغاية يتألف من غلاية ، ومكثف ، ومجمع . ولم تكن هذه العملية تتميز بالكفاءة كما أنها لم تكن ملائمة ، ولكنها كانت تزيد من المياه المحمولة فى براميل خشبية أو التى تجمع من الأمطار . وفى أواخر القرن التاسع عشر أدخلت بعض المقطرات البحرية من النوع المنفرد النتيجة والمتعدد النتائج وظهرت على مدى العقود القليلة التالية . وفى بعض المناطق التى كانت تعانى من نقص المياه طوعت هذه المقطرات كيما تستخدم على الشاطئ .

وفى عام ١٩٢٨ أقيمت فى كوراساو بجزر الأنتيل الهولندية ، وحدة بربة لازالة الملوحة بواسطة أنبوب مغمور لانتاج المياه الصالحة للشرب . وبنيت وحدات أخرى متناثرة حول العالم حيث كانت التكاليف المرتفعة للمياه مقبولة . بيد أنه ، نتيجة للتكاليف المرتفعة ، لم ينتشر ذلك المفهوم على نطاق واسع ، وكانت سعة ازالة الملوحة لانتاج مياه الشرب التى أقيمت حتى الأربعينات غير كبيرة .

وخلال الحرب العالمية الثانية ، بذل جهد كبير فى الولايات المتحدة فيما يتعلق بوحدات لضغط البخار يمكن استخدامها على ظهر سفينة وكذلك فى القواعد المنعزلة حول العالم . وقد صممت تلك الوحدات لتشغيلها عند درجات حرارة مرتفعة نسبيا ، ١٠٠ الى ١٠٥ درجة مئوية (٢١٢ الى ٢٢٠ درجة فهرنهايت) ، من أجل تقليل حجم الضاغط ، ولكنها واجهت مشاكل تتعلق بازالة الرواسب أكثر مما واجهته وحدات الأنبوب المغمور التى تعمل عند درجات حرارة أقل (واطسون ، ١٩٧٦) .

وقد عرفت فكرة التبخير متعدد النتائج منذ أوائل هذا القرن ، واستخدمت وحدات من ناتج واحد الى أربعة نواتج لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة أو مياه البحر من فترة الأربعينات حتى السبعينات فى أجزاء عديدة

من العالم . وفى عام ١٩٥٨ شيدت وحدة تضم خمسة أنابيب مغمورة سداسية النتائج بلغت سعتها الكلية ٥٠٠ ٩ م^3 / يوم (٥ر٢ مليون غالون فى اليوم) ، وكانت هذه هى أكبر وحدة أنابيب مغمورة يتم بناؤها ، حيث أن العملية استبدلت بصورة كبيرة بعملية الوميض متعدد المراحل فى السنوات اللاحقة .

وفى ١٩٥٧ قام روبرت سيلفر من اسكوتلندا ، بتسجيل فكرة الوميض متعدد المراحل ، وقد بنيت أولى الوحدات الكبيرة من هذا النوع فى الكويت وفى جزيرة غويرنسى . وكانت أول وحدة بنيت فى الكويت عام ١٩٥٧ ذات سعة بلغت ٤٠٠ ٢ م^3 / يوم (٦ر٠ من المليون غالون فى اليوم) وكانت ذات مراحل أربع . وبعد ذلك بوقت قصير ، تلتها وحدات ذات ١٩ مرحلة وذات ٢٢ مرحلة . وبلغت سعة المنشأة التى بنيت فى غويرنسى فى عام ١٩٦٠ ٨٤٠ ٢ م^3 / يوم (٧٥ر- من المليون غالون فى اليوم) وكانت ذات ٤٠ مرحلة . ومن هذه البداية سادت فكرة الوميض المتعدد المراحل ميدان تقطير مياه البحر ، وفى ١٩٨١ شكلت وحدات الوميض متعدد المراحل حوالى ٩٠ فى المائة من سعة التقطير فى العالم (الرملى وكونغدون ، ١٩٨١) ويتضمن الملحق الأول أدناه وصفا تفصيليا لمختلف تقنيات التقطير والاعتبارات الهندسية الرئيسية فى هذا الصدد .

٢ - الاعتبارات التقنية

تطورت عملية التقطير الى تكنولجيا ناضجة ، تستخدم على نطاق واسع فى جميع أنحاء العالم . اذ لدى أكثر من ٥٥ بلدا وحدات للتقطير ، بسعة كلية تبلغ حوالى ٥ر٥ مليون م^3 / يوم (٤٥٠ ١ مليون غالون فى اليوم) وتستخدم المياه بصورة أساسية لأغراض البلديات بالاضافة الى بعض الاستعمالات الصناعية .

وتستخدم بصفة عامة ثلاث عمليات رئيسية هى الوميض المتعدد المراحل ، والمتعدد النتائج ، وضغط البخار .

(أ) الوميض متعدد المراحل :

تسيطر وحدات الوميض متعدد المراحل على سعة التقطير فى العالم ، التى يستمر استخدامها على نطاق واسع كجزء من أنظمة مزدوجة الغرض (للكهرباء والماء) تستخدم عادم البخار باعتباره المصدر الأساسى للطاقة . ويجرى بناء وحدات فردية تتراوح سعتها ما بين ٠٠٠ ١٩ و٠٠٠ ٣٨ م^3 / يوم (ما بين ٥ و١٠ مليون غالون فى اليوم) . وقد اكتمل فى أوائل الثمانينات بناء منشأة ضخمة بسعة كلية تصل الى حوالى ٠٠٠ ٠٠٠ ١ م^3 / يوم (٢٩٠ مليون غالون فى اليوم) فى المملكة العربية السعودية .

وقد ثبت أن وحدة الوميض المتعدد المراحل ، الجيدة التصميم والتشغيل تعتبر وحدة اقتصادية يعتمد عليها لازالة ملوحة مياه البحر ، بيد أن بناء تلك الوحدات يتطلب مواد عالية الجودة وتشغيلا دقيقا .

(ب) الوميض متعدد النتائج :

تمثل الوحدات المتعددة النتائج حوالى ٨ فى المائة من سعة التقطير فى العالم ، وقد بنيت تلك الوحدات بأشكال وتصميمات متنوعة ، فقد بنيت وحدات تبلغ سعتها ٢٠٠٠٠ م^3/ يوم (٣ر٥ مليون غالون فى اليوم) ولكن معظم الوحدات تقل سعتها عن ٢٠٠٠ م^3/ يوم (٠ر٥٣ من المليون غالون فى اليوم) ويتم تركيبها عادة كوحدات مزدوجة الغرض ويمكن أن تكون ذات كفاءة عالية . بيد أن تحقيق نجاح واسع النطاق وتفضيل بعض كبار المنتفعين لتصميم الوميض متعدد المراحل والمشاكل التى صاحبت بعض الوحدات البدائية لنماذج الوميض المتعدد النتائج قد حدث من استعمالها ، وخاصة خلال السنوات الخمس الأخيرة .

وقد بنى مؤخرا عدد من الوحدات متعددة النتائج التى تعمل عند درجات حرارة منخفضة بأحجام تتراوح فى سعتها بين ٢٠٠٠ و٥٠٠٠ م^3/ يوم (ما بين ٠ر٥٣ و١ر٣ مليون غالون فى اليوم) ويجرى تشغيلها فى منطقة الكاريبى بنتائج طيبة ، وينبغى لهذه الخبرة أن تساعد على زيادة انتشار العملية .

(ج) ضغط البخار :

تمثل وحدات ضغط البخار حوالى ٢ فى المائة من سعة التقطير فى العالم . وهى وحدات صغيرة ، تقل سعتها عموما عن ٤٠٠ م^3/ يوم (١١ر٠ من المليون غالون فى اليوم) ، حيث يحدد سعتها حجم الضاغط المتاح . وتعمل هذه الوحدات منفردة وتتطلب نوعا من الطاقة الدوارة (أو نافورة بخارية) لتشغيل الضاغط ، ويكون هذا فى العادة محركا كهربيا أو ماكينة ديزل ، وتستخدم هذه الوحدات على نطاق واسع على أرصفة النفط البعيدة عن الشاطئ ، أو فى مواقع التشييد ، أو فى فنادق المنتجعات .

(د) وحدات مهجنة :

اقترحت بصورة متكررة وحدات مهجنة تضم الوميض متعدد المراحل ، و/أو المتعدد النتائج ، و/أو ضغط البخار بطرق متنوعة لازالة ملوحة مياه البحر ، ولكن

ثمة أمثلة محدودة جدا في طور التشغيل . والميزة الرئيسية لهذا النوع من الترتيب ستكون الوصول الى وحدة اكثر كفاءة واقتصادا .

(هـ) مشاكل رئيسية :

نجمت المشاكل الرئيسية في وحدات التقطير بصفة عامة عن نقص المواد . وسوء التشغيل ، والتصميمات البدائية التي ثبتت عدم كفاءتها (واطسون ، ١٩٧٦) . وتمثل مكافحة تكون الرواسب العائق الرئيسي للتشغيل والتصميم . ويقدم المرفق الاول أدناه تفاصيل التكنولوجيا والمشاكل .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الاخيرة

(أ) الموثوقية

يمثل تزايد الثقة في وحدات التقطير ، وخاصة تصميمات الوميض متعدد المراحل وضغط البخار ، تقدما تكنولوجيا ملموسا . فقد أدت الخبرة المكتسبة في التصميم ، وانتقاء المواد ، والتصنيع والتشغيل ، الى امكانية تشغيل مرافق التقطير طيلة دورة حياتها بصورة يعتمد عليها وبتكاليف يمكن التنبؤ بها بصورة معقولة .

هذه الثقة مكنت وحدات التقطير من أن تشكل الامداد الاساسي للمياه في مناطق عديدة مثل الكويت ، وجزر الانتيل الهولندية ، والمملكة العربية السعودية ، والامارات العربية المتحدة ، وفيرجن أيلاندز التابعة للولايات المتحدة .

(ب) مضافات الحرارة العالية

تتطلب وحدات الوميض متعدد المراحل التي تعمل عند درجات حرارة أعلى من ٨٨ درجة مئوية (١٩٠ درجة فهرنهايت) نوعا ما من المعاملة الخاصة لمكافحة تكون الرواسب في الوحدات ، وذلك باستخدام حامض الكبريتيك ، وهو فعال ومتوافر بصورة عامة ولكن هناك مشاكل تتعلق باستعماله ، ويمكن اذا ما استخدم بصورة غير سليمة ، أن يؤدي الى زيادة التآكل أو الترسيب .

ويتيح استخدام مواد كيميائية لمكافحة الترسب عند درجات حرارة عالية مستمدة من البوليمر كبديل للحامض امكانية كبيرة لتشغيل وحدات الوميض متعدد المراحل عند درجات حرارة عالية بدون العيوب الكامنة في الحامض والتي تتسبب في الغالب في وقوع كوارث . وتبدو المضافات فعالة في الحيلولة دون تكون الرواسب ، كما أن استخدامها مأمون اكثر من استخدام الحامض ولا تسبب التآكل بصورة عامة . وتلزم كميات صغيرة فقط من البوليمر بالمقارنة

بالحامض . ويشرع حاليا في اجراء عدد من التجارب في مجال استخدام هذه المضافات . وقد نجحت وحدات مثل الوحدة المغذاة بالحامض في كوراساو بسعة ٨٥٠٠ م^3 / يوم (٢٫٢٥ مليون غالون في اليوم) في احلال مادة مضافة خلال الدورات التجريبية ويمكن أن نتوقع قبولا أكبر للمضافات في المستقبل . ولكن لم تكن كل التجارب بمثل هذا النجاح ، بيد أنه اذا استمرت المضافات المستمدة من البوليمر في اظهار نتائج طيبة في عمليات التشغيل على المدى الطويل ، فان التغيير من الحامض الى المضافات، حيثما كان ذلك مناسبا ، يمكن أن يحقق للتقطير بعض المنافع المؤكدة . ويتضمن المرفق الأول مناقشة مفصلة لازالة الرواسب والاختلافات بين الحامض والمضافات .

ويمكن تحديد أسعار المضافات بصورة يمكن مقارنتها بأسعار الحامض الذى تحل محله ، بحيث لا يكون من الممكن دائما تحقيق وفر في تكلفة المواد الكيميائية بيد أن المنافسة قد تؤدى الى خفض تكاليف المضافات فى المستقبل . وعلاوة على ذلك ، فقد يرى العديد من الوحدات المصممة للتشغيل فى درجات حرارة متوسطة ومرتفعة العمل عند درجة الحرارة المرتفعة عند ما تتسنى الاستفادة من وسيلة مأمونة يمكن الاعتماد عليها لمكافحة الترسب، وسوف يتيح هذا كفاءة حرارية أكبر فضلا عن حدوث وفورات من خلال تخفيض تكاليف الصيانة وتقليل مرات ايقاف العمل .

(ج) <u>الوحدات الكبيرة</u>:

فى أوائل السبعينات، بلغت سعة أكبر الوحدات التى بنيت ٩٥٠٠ م^3/يوم (٢٫٥ مليون غالون فى اليوم) تقريبا ، بيد أن تصميم عملية الوميض متعدد المراحل بلغت من النضج درجة أتاحت، بصورة روتينية ، قيام أصحاب الشركات الصانعة فى العالم بأنشاء وحدات الوميض متعدد المراحل بأحجام تصل سعتها الى ٣٨٠٠٠ م^3 /يوم (١٠ مليون غالون فى اليوم) وتعتبر هذه القدرة على زيادة الحجم حيوية لتخفيض التكاليف الكبيرة لمشاريع التقطير . ولا تزال المواد الكيميائية وحرارة التشغيل ، ووسيلة مكافحة الترسب الممتازة تتباين بناء على الاقتصاديات والتشغيل المستصوبين من قبل المالك .

ومن المتوقع أن يتم بناء وحدات أكبر من تصميم الانبوب الافقى متعدد النتائج وتشغيلة بنجاح . ويمكن أن يتوقع تسويق هذا التصميم ، ووحدات متعددة النتائج

ضخمة جدا ، فى منافسة مباشرة مع وحدات الوميض متعدد المراحل .

(د) تطوير المواد :

التيتانيوم : يتمتع التيتانيوم بمقاومة عالية لبيئة التآكل والتعرية الموجودة فى سخان المحلول الملحى وأجزاء الوحدة الأخرى ذات الحرارة العالية . والتيتانيوم أغلى من بعض سبائك النحاس الأحمر والنيكل ، مما أدى الى قصر استخدامه فى الوحدات على المسطحات الناقلة للحرارة (أنابيب) . وعلى الرغم من أن درجة توصيله للحرارة أقل من معظم المواد المستخدمة فى صناعة الأنابيب، فان مزاياه الأخرى ، مثل مسطحه الناعم ، امكانية صنع جدران ذات تخانات أقل ، ومقاومته العالية للتآكل ، تعوض هذا الى درجة ما (ماك كيو، ١٩٧٥) .

وقد بنيت أول وحدة وميض متعدد المراحل بأنابيب من التيتانيوم بلغت سعتها ٣٨٠٠ م^3/يوم (١ مليون غالون فى اليوم) فى عام ١٩٦٥ لصالح معمل مارتن ماريتا لتكرير البوكسيت فى جزيرة سانتا كروا بفيرجن أيلاند زالتابعة للولايات المتحدة . ولم يتطلب التشغيل المستمر لمدة ٢٠ عاما تقريبا سوى حد أدنى من الاصلاحات . ومنذ ذلك الحين تم بناء وحدات أخرى بأنابيب من التيتانيوم ثبت أنها يعتمد عليها بدرجة كبيرة .

اللدائن : تزايد فى السنوات الأخيرة استعمال الراتينغات المقواه التى تصلد بالتسخين لصنع صناديق المياه ، وقصبات تمرير وضخ المحلول الملحى الخارجية ذات الضغط المنخفض . ويتم صنع هذه المادة ، وهى الايبوكسى أو البوليستر ، من مجموعة متنوعة من الراتينغات تعزز عن طريق تقويتها بألياف زجاجية . ولا تتأثر هذه المواد غير المعدنية بالتآكل ، ولكنها قد تصبح هشه من جرّاء درجات الحرارة المرتفعة .

وتستخدم بعض مواد اللدائن الحرارية مثل كلوريد البوليفينيل أو البوليبروبيلين فى صنع أنابيب المحاليل الملحية منخفضة الحرارة دون أن تقوى . ويعتقد المهندسين أن التكنولوجيا متاحة للاستفادة من اللدائن بصورة أكثر كثافة فى صنع المقطرات . والواقع أنه فى عام ١٩٧٩ اقترح بعض المهندسين صناعة وحدة وميض متعدد المراحل بأكملها تقريبا (عدا الأنابيب) (مورين وجونسون ١٩٨٠)

الألومنيوم : استخدم الألومنيوم خلال السبعنيات لبناء عدة وحدات للتقطير تتراوح سعتها بين ٢٠٠٠ و ٥٠٠٠ م^3/يوم (بين ٠٫٥٣ و ١٫٣ مليون غالون يوميا). والألومنيوم غير باهظ التكلفة نسبيا ، ومن السهل تصنيعه ويتميز بخاصية توصيل عالية للحرارة . بيد أنه يتعين تشغيله عند درجات حرارة منخفضة ، أقل من ٧٥ درجة

مئوية (١٦٧ درجة فهرنهايت) ويتعين أن تظل سرعات المحلول الملحى داخل الوحدات أقل من حوالى ٩ر٠ من المتر فى الثانية لتحاشى تدهور الألومنيوم (فينمان ، ١٩٧٨) .

وتعمل في ايلات، باسرائيل ، وحدة تقطير متعدد النتائج من الألومنيوم سعتها ٣٨٠٠ م^3/يوم (١ مليون غالون فى اليوم) بنيت في عام ١٩٧٤ ، فضلا عن ست وحدات أخرى من نفس التصميم العام شيدت فى فيرجن أيلاندز .

وفى أواخر ١٩٧٩ ، بنيت فى جزيرة أروبا من جزر الأنئيل بهولندا الوحدة الثانية من وحدتين للوميض المتعدد المراحل من الألومنيوم بصورة كاملة بلغت سعتها ٣٨٠٠م^3/يوم . كما تم تصميم وحدة كبيرة جدا من الالومنيوم سعتها ٣٨٠٠٠ م^3/يوم (١٠ مليون غالون فى اليوم) تستخدم تصميما متعدد النتائج كيما يتم بناؤها فى اسرائيل فى منتصف الثمانينات .

الخرسانة: تم فى عدة بلدان بذل جهود من أجل استخدام الخرسانة كمادة واقية ، حيث تتميز بمقاومة التآكل ، والقوة الحرارية ، ومميزات تتعلق بالتكلفة تشير الى امكانية استخدامها فى المستقبل . ويمكن بناؤها بواسطة عمال أقل مهارة وبالاستعانة بمواد عديدة يمكن توفيرها بالقرب من الموقع (مركز تشجيع اعادة استخدام المياه ، ١٩٨٣) . وقد بنيت فى اليابان وفرنسا وحدات تجريبية (نوجيرى وفيوجى ، ١٩٧٦) . وتشمل المشاكل المتعلقة بالخرسانة تعرضها للهجوم من جانب المحلول الملحى الساخن وناتج للتكثيف الساخن أيضا ، والالتصاق ومنع اختراق الضغط والفراغ من خلال الطبقة المعدنية الواقية .

(هـ) نظم التنظيف باستخدام الكرات الرغوية

تزايد فى العقد الماضى استخدام نظم التنظيف باستخدام الكرات الرغوية (التى يشار اليها باسم نظام تابروج) فى وحدات التقطير . ويتم فى هذا النظام ، ادخال كرات من المطاط الرغوى فى أنابيب أقسام وحدة الوميض المتعدد المراحل المختلفة بالاضافة الى اعادة توزيع المياه المتدفقة . وتساعد هذه الكرات على طرد رواسب الوحل اللين والطمى . وقد أفادت بعض الوحدات التى تستخدم ذلك النظام بأنها حققت نتائج طيبة ، شملت زيادة الكفاءة الحرارية وانخفاض عدد مرات ايقاف العمل (روماين وأيمر ، ١٩٧٨) . والتنظيف بالكرات الرغوية ليس فعالا فى كافة وحدات التقطير ولا فى كافة الأحجام . فتلك الأنظمة يمكن أن تكون مكلفة ويتعين انتقاء تطبيقها بعناية .

(و) التقطير بالأغشية :

فى الفترة ١٩٨١-١٩٨٢ أدخلت شركات فى الولايات المتحدة الأمريكية والسويد عملية لازالة ملوحة مياه البحر تعمل على أساس المرور الانتقائى لبخار الماء (فى مواجهة السائل) من خلال حاجز غشائى . ويعمل فى فلوريدا منذ عام١٩٨٢ مركز تجريبى صغير، كما تم بيع عدة وحدات صغيرة (تتروح سعتها بين ٢٠ و ٤٠ م^{٣} /يوم) وهى تعمل فى الوقت الحالى . هذه العملية الجديدة لم تؤيد صحتها أيه خبرة تجارية مكثفة فى مجال التشغيل . وقد تتحقق أكبر امكانياتها مع أجهزة تجميع عادم الحرارة أو الطاقة الشمسية كمصدر أساسى للطاقة .

(ز) الوحدات متعددة النتائج ذات الحرارة المنخفضة :

خلال أوائل الثمانينيات، تم فى فيرجن أيلاند زالتابعة للولايات المتحدة بناء ست من وحدات متعددة النتائج ذات حرارة منخفضة . وكانت ذات اغراض مزدوجة وتتروح سعتها بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ م^{٣} /يوم (بين ٠ر٥٣ و ١ر٣ مليون غالون فى اليوم) .

وقد كان أداء تلك الوحدات طيبا ، اذ تسهل ادارتها وتشغيلها وايقافها ، وتعمل عند درجة حرارة قصوى تبلغ حوالى ٧٠ درجة مئوية (١٦٠ درجة فهرنهايت) وقد صنعت انابيبها من الألومنيوم ، وصنعت الطبقة الواقية من الصلب المغطى بالكربون ، وصنعت بعض الأنابيب من اللدائن . وتستخدم مادة البوليفوسفات الكيميائية لمقاومة الترسب .

(ح) وحدات مهجنة :

تم من الناحية النظرية تصميم عدد من الوحدات المهجنة التى تجمع بين عمليات مختلفة وجرت مناقشتها فى نطاق صناعة التقطير، ولكن لم يشيد منها سوى عدد قليل . ففى منتصف السبعينيات، تم فى فيرجن أيلاند زبناء وحدتين سعة كل منهما ٩٥٠٠ م^{٣} /يوم (٢ر٥ مليون غالون فى اليوم) تجمعان بين المبخر ذى الأنابيب الرأسية وبين الوميض متعدد المراحل . وعلى الرغم من أنهما اتسمتا بكفاءة حرارية عالية من الناحية النظرية ، فان أداءهما الفعلى لم يكن جيدا ، حيث تطلب عمرات واصلاحات مكثفة .

وقد أقترح استخدام وحدات متعددة النتائج كوحدة ممتازة فى وحدات الوميض متعدد المراحل الحالية (كوكس ، ١٩٨٢) . فسوف تستخدم الوحدة متعددة النتائج ذات الأنابيب الأفقية لزيادة انتاج وحدة الوميض متعدد المراحل

الحالية بدون استعمال وقود اضافي ، بينما يؤدي ذلك الى خفض حرارة التشغيل في قسم الوميض متعدد المراحل من الوحدة ، وسوف يتم تركيب الوحدة الممتازة فوق سخان المحلول الملحي الحالي ، وسوف تزيد تلك التعديلات من الكفاءة الحرارية للوحدة بدرجة كبيرة .

كما طرح اقتراح آخر لانشاء وحدة تجمع بين ضغط بخار وتبخير الرغاوى بأنابيب رأسية (سيناتور، ١٩٨٢) . ويستخدم تبخير الرغاوى بأنابيب رأسية مادة مخففة للشدّ على سطح السائل أضيفت الى التغذية بمياه البحر لزيادة التبخير (سيفتون ، ١٩٨٠) . وسوف تستخدم هذه الوحدة المهجنة مبخرا رباعي النتائج بضاغط يعمل بالديزل ، ومن المفترض أن هذه العملية عالية الكفاءة وأقل تكلفة من أي من الأوزموزية العكسية أو الوميض متعدد المراحل .

وفي جمهورية ألمانيا الاتحادية ، تم بناء واختبار وحدة مهجنة محملة على سفينة ، تجمع بين ضغط البخار ، والتبخير برغاو في انابيب رأسية ، والوميض المتعدد المراحل ، سعتها ٥٠٠٠ م^3/يوم (١٫٣ مليون غالون في اليوم) . وقد استخدمت الوحدة ٢٤ نتيجة رأسية ، ونتيجتين لضغط البخار ، ومبردا بالوميض المتعدد المراحل ذا مراحل ثلاث . وقد أظهرت الوحدة ، التي تم تشغيلها بغرض الاختيار في بحر الشمال ، كفاءة حرارية عالية .

(ط) تطورات أخرى حديثة :

فيما يلي وصف موجز لعدد من التجديدات الأخرى الحديثة التي يوشك العمل بها أو التي يجري استحداثها .

المراقبة بالحاسبات الالكترونية : قامت عدة شركات باستحداث حاسب الكتروني يرصد ويراقب تشغيل وحدات الوميض المتعدد المراحل الكبيرة من خلال استخدام أجهزة مثل أجهزة الاستشعار وأجهزة معالجة البيانات الدقيقة . ويمكن أن يتيح هذا رقابة أكبر على تشغيل الوحدة ، كما أنه يدخل نمطا جديدا من التكنولوجيا الى الوحدات التي يتعين دراسة منافعها ومشاكلها الجديدة المحتملة .

وحدات ازالة الملوحة المحملة على سفن : قامت شركات وأجهزة مختلفة بدراسة واقتراح استخدام وحدات تقطير محملة على سفن لاستخدامها في منطقة الشرق الاوسط ومناطق أخرى تعاني نقصا في المياه . وسوف تتمثل ميزة هذا النوع من المرافق في أنه يمكن بناء الوحدة وتشغيلها بهدف تجريبها في الشركة الصانعة بدلا من تجريبها في موقع المنتفع ، وهو ما يفترض أنه يسمح بوفرات في العمال والنقل ، ويسمح براقبة أفضل للجودة . ويتم قطر الوحدة التي انتهى بناؤها حتى الموقع حيث تشغل اثناء عملية ارسائها . وحينذاك يمكن نقلها من مكان الى

آخر عند الاقتضاء، كما يمكن استخدام الوحدة بصورة مؤقتة فى الوقت الذى يجرى فيه بناء مرافق بعيدة عن الساحل. وفى عام ١٩٨٢ تم فى جمهورية ألمانيا الاتحادية بناء وحدة كبيرة محملة على سفينة لصالح أبو ظبى سعتها ٢٥٠٠٠م٣/يوم (٦٦ر٠ مليون غالون فى اليوم) (وانغنيك، ١٩٨٢).

مبخر متعدد المراحل بالوميض الموجه: تم استحداث هذا النوع من الوحدات واستغل تجاريا من قبل شركة أكوانوفا، فى روتروام بهولندا. وتم تشغيل أثنيين منها فى أوربا خلال ١٩٧٩ - ١٩٨٠. وهذه الوحدات وحدات مركبة رأسيا تعمل بالوميض المتعدد المراحل ومصنوعة من الألومنيوم وبعض اللدائن. ويتمشى التصميم مع البناء الميعارى الذى يتميز بوجود غرف صغيرة محكمة للوميض تقلل من خسائر الطاقة ولها امكانية خفض التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل.

التحول الى ضغط البخار: قدم اقتراح مؤداه أنه يمكن تعديل بعض الوحدات متعددة النتائج الحالية ذات الأنابيب الأفقية التى تعمل عند درجات حرارة منخفضة لتشغيلها كوحدات لضغط البخار مع اضافة ضاغط كبير واجراء بعض التعديلات، مما سيسمح بتشغيل تلك الوحدات بصورة مستقلة عن امدادات البخار الحالية (هوفمان وأوفير، ١٩٨٢).

الوميض متعدد المراحل / مبخر على فَرشة مسيلة: قامت جامعة دلفت للتوكنولوجيا وشركة اسميل بهولندا باستحداث هذه العملية التى تستخدم هوائيات رأسية تعمل بالوميض متعدد المراحل ولها أنابيب رأسية مستقيمة لاسترداد الحرارة. ولنقل الحرارة العالية اللازمة فى أنابيب استرداد الحرارة (وتكثيفها) بهدف الحدّ من طولها (وارتفاع كل مرحلة). يتم ادخال جزئيات جامدة (تكون عادة كريات زجاجية) فى مياه التغذية. هذه الجزئيات المسيلة تعطل الانسياب الطبقى داخل جدران الأنابيب لزيادة نقل الحرارة وتحول فى الوقت نفسه دون تكوّن الرواسب (فينمان، ١٩٧٦).

(ى) تكنولوجيا المستقبل:

بمقدور المرء أن يتوقع أن تركز تكنولوجيا التقطير فى المستقبل على تحسين الثقة والاقتصاد من خلال حياة مادية أفضل، وكفاءات حرارية أعلى، ومكافحة أفضل للرواسب، والمزيد من عمليات التشغيل الموجهة. هذه التطورات ستكون هامة فى الحفاظ على روح المنافسة بين التقطير والأوزموزية العكسية لمياه البحر.

٤ - التطبيـــق في البلدان النامية

يتيح استخدام عمليات التقطير في البلدان النامية أكبر امكانية له فـــي ازالة ملوحة مياه البحر. وتتحقق هذه الامكانية على أفضل وجه عندما تســـتخدم العملية مشفوعة بالطاقة منخفضة التكلفة التي يتم الحصول عليها من البخـــار ذي الضغط المنخفض كجزء من مرفق مزدوج الغرض لازالة الملوحة وتوليد الكهرباء أو من مصدر آخر لعادم الحرارة المنخفض التكلفة.

وفيما يتعلق بوحدات الوميض متعدد المراحل والوحدات متعددة النتائج، تتصل أكبر مشكلة في البلدان النامية بتعقد التشغيل والصيانة. ويصدق هـــذا بصورة خاصة على الوحدات ذات الكفاءات الحرارية (عوامل التشغيل) العاليـــة، التي تعمل عند درجة حرارة تتراوح بين ٩٥ و ١٢٠ درجة مئوية (بين ٢٠٠ و ٢٥٠ درجة فهرنهايت). ويرتبط بتلك الوحدات المضخات، والنظم الفراغية، وأوعيـــة نزع الهواء، ودورات التغذية الكيميائية، وسخانات المحاليل الملحية، التي يعمل العديد منها عند درجات حرارة عالية في بيئة عالية الملوحة.

ويستلزم هذا ايلاء اهتمام شديد بالتشغيل وأن يكون للمرفق القدرة علـــى توفير خدمات الصيانة التي تتطلب أفرادا مهرة، وأدوات مناسبة، وامـــدادات كافية من قطع الغيار والمواد. واذا كانت المرافق سيتم بناؤها في مناطق لا يتوافر فيها بسهولة المشغلون المهرة وموظفي الصيانة، فمن الحكمة ضمان تصميم تـــلك المرافق وتشييدها بحذر. وهذا يعني أنه يتعين توخي الدقة في انتقاء مـــواد البناء الملائمة وتصميم يكون بمقدرة تحمل اساءة الاستعمال ولذلك، فقد تـــزداد النفقات الرأسمالية المباشرة، ولكن من المحتمل أن تقل بدرجة كبيرة نفقات التشغيل على المدى الطويل. ويمكن التخفيف من العديد من مشاكل التشغيل في وحدات الوميض متعدد المراحل عن طريق استخدام المضافات الجديدة المستمدة من البوليمر.

ومن الجلّي أن وحدات ضغط البخار تتسم بكفاءة حرارية أعلى من وحـــدات الوميض متعدد المراحل، بيد أن هذه الوحدات عموما تتطلب طاقة مرتفعة التكلفـــة، الأمر الذي يزيد من نفقات تشغيلها الشاملة. وتتسم الوحدات التي تســـتخدم الضواغط بكفاءات عالية ولكنها تتطلب صيانة الضاغط الذي يعمل بسرعة عالية. وعلى العكس من ذلك، لا يتسم طارد البخار النفاث بكفاءة غير عادية، ولكنه يتطلب قـــدرا صغيرا جدا من الصيانة.

وقد سيطر الشرق الأوسط، منذ السبعينيات، على سوق وحدات التقطـــير. اذ استأثرت المملكة العربية السعودية بما يزيد على ٣١ في المائة من سعة ازالـــة الملوحة في العالم، بينما استأثرت بلدان الشرق الأوسط الأخرى بما فيها جمهوريـــة

ايران الأسلامية ، بنسبة ٢٨ فى المائة (الرملى وكونغدون ، ١٩٨١) .

(أ) المملكة العربية السعودية :

كان النمو الاقتصادى المتصل فى مناطق عديدة من المملكة العربية السعودية يكاد يكون متعذرا من قبل بسبب عدم كفاية امدادات المياه العذبة . فالامدادات التقليدية الرئيسية لجدة والرياض تتمثل فى امدادات مياه الآبار . بيد أن نوعية تلك المصادر تدهورت بصورة سريعة وأصبحت ملحة بدرجة متزايدة ، ومعظم مياه الآبار فى ذلك البلد اما ضاربة الى الملوحة أو بسبيلها الى أن تكون كذلك . ونظرا للامدادات التقليدية المحدودة المتاحة ، أصبحت المملكة العربية السعودية تعتمد اعتمادا مكثفا على المياه الخالية من الملوحة . وهى الى حد بعيد أكبر سوق لمنشأت ازالة الملوحة ، حيث وصل اجمالى سعتها فى عام ١٩٨٣ الى ٢ر٥ مليون م^3/يوم (٦٦٠ مليون غالون فى اليوم) ، وتساهم وحدات الوميض متعددة المراحل فى هذا الاجمالى بما يقرب من ٢ مليون م^3/يوم (٥٣٠ مليون غالون فى اليوم) ، وكانت الشركة السعودية لتحلية المياه الملحة تبنى أو تبحث تكوين سعة اضافية تبلغ ٣٨٠٠٠٠ م^3/يوم (١٠٠ مليون غالون فى اليوم) . وقد بدأت الشركة فى تشغيل أكبر منشأة تعمل بالوميض متعدد المراحل فى العالم بالجبيل على الخليج الفارسى ، ستبلغ سعتها عند اكتمالها الى حوالى ١ر١ مليون م^3/يوم (٢٩٠ مليون غالون فى اليوم) ، وسوف تشمل ٤٠ وحدة وميض متعدد المراحل فى مواقع متجاورة سعة كل منها ١٩٠٠٠٠ م^3/يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) ، وسيتم ضخ المياه الناتجة عبر ٤٨٥ كيلومترا (٣٠٠ ميل) فى العمق حتى مدينة الرياض العاصمة . وهو مشروع ضخم ربما لا يتسنى التفكير فى اقامتة الا فى بلد كالمملكة العربية السعودية ، التى تملك موارد رأسمالية وفيرة ، وخبرة ملموسة فى وحدات الوميض متعدد المراحل ، وتكاليف طاقة رخيصة نسبيا ، وتكاليف مياه باهظة نسبيا .

ويشير تاريخ تشغيل وحدات الوميض متعدد المراحل فى المملكة العربية السعودية الى أن الثقة التشغيلية طويلة المدى والقدرة على الانتاج انما يعتمدان على :

(أ) انتقاء مواد ملائمة للتشييد تتفق مع درجة حرارة تشغيلية قصوى ووسيلة معينة للمعالجة المسبقة لمياه التغذية ؛

(ب) مدى ونوع الوسيلة المستخدمة للمعالجة المسبقة لمياه التغذية ؛

(ج) خبرة ومهارة موظفى التشغيل .

وقد أظهرت التجربة أن وحدات الوميض المتعددة المراحل، عند ما تصمم بصورة سليمة وتشيد بمواد ملائمة مقاومة للتآكل، كان أداؤها مرضيا مع وجود عوامل تساعد على انتاج يصل الى ٩٥ فى المائة ومشاكل ضئيلة للغاية فى مجال الصيانة.

وتشيد الوحدات ذات العوامل المنخفضة المساعدة على الانتاج من مواد أقل مقاومة للتآكل بصفة عامة، ويتم تشغيلها وصيانتها بواسطة موظفين غير مدربين تدريبا كافيا. وعموما، واجهت الوحدات المصممة للتشغيل عند درجات حرارة عالية (فوق ٩٠ درجة مئوية) على مياه البحر المعالجة بالأحماض مشاكل فى التشغيل (الترسب على سطحات نقل الحرارة وتآكل الصلب المعالج بالكربون) أكثر مما واجهته وحدات الحرارة المنخفضة التى لا تستخدم الأحماض. وفضلا عن ذلك، تزايدت بدرجة كبيرة التكاليف الانتاجية لوحدات الوميض متعددة المراحل خلال السنوات العشر الماضية بسبب الحاجة الى استخدام مواد مقاومة للتآكل مرتفعة التكلفة (جمجون وآخرون، ١٩٧٩).

وقد أجرى تحليل لتاريخ تشغيل مشروع جدة ١ الذى شيد فى عام ١٩٧٢، لصالح الشركة السعودية لتحلية المياه الملحة (الكتبى وآخرون، ١٩٨٢). ووحدة جدة ١، الواقعة على الساحل الشرقي البحر الأحمر، محطة ذات غرض مزدوج تتألف من وحدات مزدوجة لتوليد البخار، ووحدات لتوليد الطاقة الكهربية ووحدات لازالة ملوحة مياه البحر، فضلا عن النظام المساعد اللازم لتشغيل الوحدات. وتستطيع وحدة جدة ١ أن تنتج، تشغيلها بكامل طاقتها، ٥٠ ميغاواط من الطاقة الكهربية و ١٩٠٠٠ م^3/يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) من المياه المقطرة. وقد تم الاحتفاظ بتقارير تشغيل شهرية على مدى فترة ثمانى سنوات وتم تحليلها لتحديد أسباب الانقطاع أو مرات ايقاف العمل.

وكان السبب الرئيسى لمرات ايقاف العمل هو التآكل الشديد لأنظمة التهوية ومراحل المبخر، والأنابيب. وقد نتج التأكل عن التشغيل المتقطع نظرا لمشاكل بدء التشغيل والايقاف فى المراحل المبكرة، وترسب الأحماض عند نقطة الحقن ونظام التهوية الذى يتسم بعدم الاستقرار الشديد. وقد نشأت تلك المشاكل من جراء المواد التى لم تكن مقاومة للتآكل بدرجة كافية (مثل الصلب المعالج بالكربون)، والاصلاحات غير الدقيقة، وعدم كفاية برنامج الصيانة والاحلال. فقد شيدت الأجزاء الرئيسية للنظام من الصلب المعالج بالكربون، وظهرت - بعد بضع سنوات من بدء التشغيل - حالات تسريب كبير فى جهاز الحرارة العالية نتيجة للتآكل. وقد أجريت بعض التعديلات وبعض التغييرات فى التصميم لتخفيف حدة مشاكل التشغيل والتصميم واستبدلت أجزاء عديدة بالصلب الذى لا يصدأ أو تم تبطينها به (الكتبى وآخرون ١٩٨٢).

وقد خلص تحليل آخر لتاريخ التشغيل لوحدات جدة أجراه نفس المؤلفين، الى ما يلى:

(أ) ظروف التشغيل السيئة هى السبب الرئيسى للمتاعب التى تواجهها كافة النظم ؛

(ب) معظم وقت المشغّل يبدد فى محاولة جعل الوحدات تستمر فى انتاج الماء وبينما يبذل وقت قليل فى استعراض بيانات التشغيل وتحليل المشاكل التى تنقص من امكانية الاعتماد على الوحدة وعمر تشغيلها ؛

(ج) يرجع سوء صيانة معدات الوحدة الى موظفى التشغيل والصيانة غير المدربين تدريبا كافيا وغير المتمتعين بقدرات كافية ؛

(د) كما أعاق التشغيل أيضا نقص قطع الغيار ؛

(هـ) كانت معظم الآلات وأجهزة التوجيه بوحدات الوميض متعدد المراحل غير كافية ؛

(و) تزايد تعطل أجهزة التوجيه التلقائية نتيجة عدم القيام بأعمال الصيانة البسيطة والاختبارات اليومية بصورة رئيسية .

والواقع أن التقارير الأخيرة لتجربة تشغيل وحدات ازالة الملح بجدة تكشف عن أنها تعمل فى ظروف تختلف بصورة كبيرة عما صممت من أجله . وتظهر التقارير أيضا أن الوحدات تعرضت لبلاء ازدياد مرات ايقاف العمل واحتياجات الصيانة بالوحدة . وخلاصة القول أن الوحدات لم تستطع أن تنتج كمية المياه النقية بالتكلفة المتوقعة أو أن تعمل بصورة مرضية على مدى العمر الافتراضى الكامل للنظام (الكتبى وآخرون ، ١٩٨٢) . بيد أن وحدة جدة ١ كانت ، كما أشارت دراسة استقصائية لجامعة البترول والمعادن ، أول وحدة رئيسية تعمل بالوميض متعدد المراحل تم تشغيلها فى المملكة العربية السعودية ، ومن ثم فان الافتقار الى الخبرة فى تشغيلها أمر مفهوم تماما . وفضلا عن ذلك ، فان الطلب الشديد على المياه جعل مرات ايقاف العمل الضرورية لاجراء الصيانة الوقائية أمرا صعبا للغاية (معضة وفوتشيك ، ١٩٨١) .

وبحلول عام ١٩٨٠ ، كان هناك أربع وحدات تعمل فى جدة ، تشمل سعة بلغت ٣٢٠ ٠٠٠ م^3/يوم (٨٥ مليون غالون فى اليوم) وقد تمكنت الشركة السعودية لتحلية المياه الملحة من اجراء تجارب مكثفة فى هذه الوحدات وغيرها لمقارنة المزايا النسبية للحامض والمضافات فى مقاومة تكون الرواسب والتآكل (ندى ، ١٩٨٢) . وتستخدم ٢٨ فى المائة من وحدات الوميض متعدد المراحل فى المملكة العربية السعودية الحامض لمقاومة الترسب و ٦٠ فى المائة منها تستخدم مضافات .

وفى وحدتى جدة ٣ و ٤ (سعتها ٧٥٨٠٠ و ٢٦٥ ٠٠٠ م^3/يوم على التوالى) تم اجراء تجارب مكثفة باستخدام كل من الحامض والمضافات لمقاومة الترسب .

فى وحدات متماثلة . ولم تكن الاختبارات التى أجريت على مضافات الحرارة المرتفعة مشجعة كما كان متوقعا : حيث كانت معدلات التآكل أعلى منها بالنسبة للحامض، وكان هناك انسداد شديد فى المداخن ورواسب كثيفة واستهلاكا كبيرا للمواد المضادة للرغاوى . وقد تمثل الاستنتاج الذى خلص اليه ندى (عام ١٩٨٢) فى أنه من الضرورى سحب الهواء للخارج لخفض كمية الأوكسجين المذابة فى سائل التعويض بالنسبة لكلا النوعين من الوحدات لتقليل التآكل الى أدنى حد . وقد انشق هذا مع التجارب التى أجريت من قبل فى وحدة جدة ١ . وقد دلت خبرة التشغيل فى وحدة جدة ٣ على أنه من الممكن الاعتماد على الوحدة المعالجة بالحامض كما أنها أكثر مرونة ، وفضلا عن ذلك ، كانت تكاليف التشغيل بالنسبة للمواد الكيميائية أقل فى وحدة الحامض منها فى وحدة المضافات .

يستنتج من ذلك أن مضافات الحرارة العالية فى ذاتها لاتمثل حلا شاملا، فينبغى أن يدرس كل استعمال بعناية وأن تجرى دورات تشغيل تجريبية للتأكد من أن المعدات والظروف ملائمة للمضافات .

(ب) <u>بلدان أخرى فى الشرق الأوسط</u>:

تتقاسم الكويت والامارات العربية المتحدة وقطر والبحرين الكثير من الخصائص مع المملكة العربية السعودية ، فهى جميعها قاحلة بدرجة بالغة ، وتقع على الخليج الفارسى ، وتعتمد بصورة شبة كاملة على المياه الخالية من الملوحة . كما أنها تلتزم بسياسة التصنيع والتنمية ، ومن ثم فان احتياجاتها من المياه العذبة للفرد الواحد مرتفعة نسبيا . وقد استأثرت هذه الدول الأربع فى عام ١٩٨١ بسعة بلغت حوالى ١ر٥ مليون م^3 /يوم (٣٩٥ مليون غالون فى اليوم) ، ويتوقع لها أن تستمر فى الاحتفاظ بنصيب كبير من طاقة ازالة الملح فى العالم .

كذلك فان المشاكل التى تواجهها وحدات الوميض متعدد المراحل فى تلك البلدان كانت ولاتزال مشابهة للمشاكل القائمة فى المملكة العربية السعودية ، وهى فى المقام الأول تآكل حجرات الوميض المصنوعة من الصلب المعالج بالكربون والتقشر الذى يؤدى الى تلوث المياه . وقد وجد أن أكبر مشكلة تواجة صناعة ازالة الملح ، فى البحرين على سبيل المثال ، هى نقص المشغلين المدربين . فقد تم توفير تسهيلات التدريب ولكن من الممكن جذب الأفراد اللازمين ، بصورة تنافس صناعات القطاع الخاص حيث الرواتب أعلى وظروف العمل أفضل . ولذلك ، فقد كان من اللازم اعطاء عقد التشغيل والصيانة للشركة صانعة الوحدة وفى الوقت نفسه محاولة حشد مجموعة من الأفراد وتزويدهم بالمهارات اللازمة . وبينما كان هناك معدل عال للفاقد فى المتدربين ، تم فى نهاية المطاف حشد الأعداد اللازمة فى البحرين ، وساعد على ذلك تحسين هيكل الرواتب الذى كان أقدر على المنافسة من الشركات الخارجية .

وبعد ٢٠ شهرا من التشغيل التجارى لوحدات الوميض متعدد المراحل في البحرين بمقتضى عقود التشغيل والصيانة مع الشركة الصانعة، تمكن فريق بحريني كامل تابع لادارة الكهرباء من تسلّم مسؤولية الوحدات. وقد أعطت خبرة تشغيل الوحدات لأفراد الادارة خبرة قيمة في تقييم الاحتياجات من الافراد المدربين لوحدات ازالة الملوحة التي تقام في المستقبل. وفضلا عن ذلك، أوجد أداء الوحدات ومشاكل التشغيل المبرر لاجراء تغييرات في مواصفات الوحدات والمواد المنتقاة في المستقبل (خلف وآخرون، ١٩٨١)

وفي أوائل عام ١٩٨٢، قامت شركة في جمهورية ألمانيا الاتحادية بتسليم وحدة تبخير بالوميض متعدد المراحل محملة على سفينة سعتها ٢٥٠٠ م^3 / يوم لأبوظبي. وقد لاحظت الشركة أن الاستثمار بالنسبة لهذا النمط من الوحدات أقل بكثير منه بالنسبة للوحدات الارضية، حيث كانت تكاليف الانتاج أقل، وكانت الفترة اللازمة للتسليم أقصر، ويمكن نقل الوحدة بسهولة في حالة الطوارئ، ويمكن اجراء الاصلاحات في المرافئ بواسطة تسهيلات اصلاح السفن (وانغنيك، ١٩٨٢). بيد أن تشغيل مثل هذه الوحدة يعتمد، فيما يبدو، اعتمادا شديدا على المورد الأجنبي ووجود مكان مناسب للرسو.

والمناطق الأخرى القاحلة في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا التي تعتمد الى حد ما على ازالة الملوحة للحصول على المياه العذبة هي جمهورية ايران الاسلامية، والجماهيرية العربية الليبية، وعمان، والجزائر.

وفي الجماهيرية العربية الليبية، بلغت سعة وحدات الوميض متعدد المراحل الكبيرة التي تم تشغيلها في الفترة من عام ١٩٧٦ الى عام ١٩٨٠ اجمالا ١٦٥٠٠٠ م^3/يوم (٤٣ مليون غالون في اليوم) موزعة على ١٠ مواقع. ومرة أخرى، كانت هناك مشاكل في التصميم زاد من حدتها سوء الصيانة. وقد تمثلت مشاكل الصيانة الرئيسية في: تعذر ايجاد فنيين محليين لتلقي تدريب جاد، نقص المعدات موحدة القياس، نقص الكتيبات باللغة العربية، تآكل المواد، ونمو كائنات بحرية في مسارب سحب المياه الملحة.

وقد وجد أن الثقة أكثر أهمية من الكفاءة في البلدان النامية، ذلك أن الثقة، الى جانب الاقتصاد في تكاليف الاصلاح، أمر جوهري في بلد يعاني من نقص حاد في المشغلين المدربين محليا والأفراد المهرة. وفضلا عن ذلك، فان عدم وجودها قد يؤدي الى مظاهر نقص فعلية في المياه في أوقات حرجة (الحارث وأسود، ١٩٧٩).

وعلى الرغم من المشاكل التي واجهتها عملية الوميض متعدد المراحل في الجماهيرية العربية الليبية، فلاتزال هذه العملية يعتمد عليها الى درجة كبيرة جدا حيث أن الترسب أو تناقص كفاءة نقل الحرارة يؤثر بدرجة قليلة على طاقة انتاج الوحدة

من المياه العذبة . وقد أدت الخبرة في الجماهيرية العربية الليبية الى الاحجام عن تجربة تقنيات جديدة . فاجراء التجارب يصبح باهظ التكلفة في البلدان النامية التي تعاني مظاهر نقص حادة في العمال المدربين . وتشعر السلطات بأن التقنيات الجديدة لا ينبغي النظر فيها الا بعد أن تبرهن خبرة التشغيل المكثفة في البلدان النامية على أنه من الممكن الاعتماد عليها .

وفيما يتصل بتزويد الوحدات بجرعات من المضافات أو من الحامض، فان الليبيين يفضلون المضافات التي تتيح سهولة وبساطة التشغيل على حساب تكاليف رأسمالية وتكاليف تشغيل أعلى . وحيث أن سهولة وبساطة التشغيل أمران هامان جدا في البلدان النامية، فان المضافات يمكن أن تتيح بديلا أفضل في حالات عديدة، وخاصة ما يقترن منها بمواد تشييد ملائمة . وعلى الرغم من أن التكاليف الرأسمالية المباشرة ستكون أعلى، فانه ينبغي أن تقل على المدى الطويل المشاكل التي تنشأ فيما يتصل بالتآكل والترسّب، ومن ثم تقل مرات ايقاف العمل والاصلاحات كما تقل تكلفة المياه بصورة شاملة (الحارث وأسود، ١٩٧٩) .

وفي عمان، بدأت وزارة الكهرباء والماء تشغيل وحدة وميض متعددة المراحل سعتها ٢٧٠٠٠ م^3/يوم (٧ر٢ مليون غالون في اليوم) توفر المياه للمنطقة المحيطة بمدينة مسقط العاصمة . وتوفر الوحدة منذ بدء تشغيلها المياه للعاصمة وتستفيد من فترة اغلاق سنوية مدتها شهر واحد لاجراء الصيانة . وقد صممت الوحدة لضمان المرونة في درجة حرارة التشغيل، ومقاومة الترسّب، والطاقة الانتاجية . ويمكنها أن تنتج حوالي ١٩٠٠٠ م^3/يوم (٥ مليون غالون في اليوم) عند درجات حرارة أقل (٩٠ درجة مئوية) . باستخدام أنواع البوليفوسفات كمواد لمقاومة الترسب، أو حوالي ٢٧٠٠٠ م^3/يوم (٧ر٢ مليون غالون في اليوم) عند درجات حرارة أعلى (١١٣ درجة مئوية)، باستخدام الحامض أو أيه مواد أخرى مناسبة لمقاومة الترسب عند درجات حرارة عالية . ويمكن تنويع تشغيل الوحدة باستخدام درجات حرارة أعلى أو أدنى حتى يتسنى للناتج أن يستجيب للطلب على المياه (تشالتشال، ١٩٧٩) .

(ج) <u>بلدان أو مناطق أخرى تعاني نقصا في المياه</u> :

والبلدان أو المناطق الأخرى النامية التي اكتسبت خبرة كبيرة في ازالة الملح بالوميض متعدد المراحل هي المكسيك، وبلدان منطقة الكاريبي، وملطة، واسرائيل وهونغ كونغ .

وقد بدأت اللجنة الاتحادية للكهرباء التابعة للحكومة المكسيكية في عام ١٩٦٨ تشغيل أولى وحدتين تتألف منهما منشأة للتقطير بالوميض المتعدد المراحل

سعتها ٢٨٤٠٠ م^3/يوم (٧٫٥ مليون غالون في اليوم) في روزلريتو في باخا كاليفورنيا. ويوفر الماء المنتج من الوحدة جانبا من احتياجات المنطقة حول مدينة تيخوانا، حيث الموارد الطبيعية المتاحة لمياه الشرب غير كافية. ولقد كانت هذه الوحدة وقت تشييدها واحدة من أكبر المنشآت في العالم.

والوحدة عبارة عن تصميم يعتمد على الوميض متعدد المراحل وتتألف من وحدتين سعة كل منهما ١٤٢٠٠ م^3/يوم (٣٫٧٥ مليون غالون في اليوم)، وكل وحدة لها ٤٤ مرحلة (٤٠ مرحلة لاسترداد الحرارة وأربع مراحل لطرد الحرارة) وتستخدم اعادة توزيع المحلول الملحي. وتبلغ الحرارة القصوى للتغذية بالمياه في سخان المحلول الملحي ١١٣ درجة مئوية (٢٣٥ درجة فهرنهايت)، ويستخدم الحامض لمقاومة تكوّن الرواسب في الوحدات (غوميز، ١٩٧٩).

وقد صممت الوحدات لاستخدام البخار الناتج من وحدة توليد الكهرباء المجاورة. ويستخرج البخار بين توربينات الضغط العالي والمنخفض التي عدّلت للسماح بهذا الاستخراج.

وبصفة عامة، أمكن لمنشأة ازالة الملوحة أن تعمل بحوالي ٦٣ في المائة من طاقتها المصممة. وتحتوي المياه الناتجة على مايقرب من ثلاثة أمثال حجم الجوامد المذابة المتوقعة من التصميم.

وكانت بعض مشاكل التشغيل الرئيسية خلال العشر سنوات الماضية تتعلق بأنابيب استرداد وطرد الحرارة، وتآكل غرفة الوميض، وسخان المحلول الملحي. فقد تراكمت نواتج التآكل، والقشور، وأوساخ صدأ النحاس الأحمر والنحاس في الأنابيب في مراحل استرداد الحرارة، مما قلل من نقل الحرارة ومن ثم هبط انتاج الوحدة. وقد جربت عدة وسائل لتنظيف الأنابيب خلال فترات التشغيل والايقاف وقد ثبتت أن اضافة نظام تابروج للتنظيف بكرات الاسفنج (باستخدام كرات لينة منتجة محليا) هو أحد حلول المشكلة.

وقد نتجت تعرية وتآكل أنابيب طرد الحرارة عن الرمل والطمي والكائنات الحية البحرية الموجودة في مياه البحر. وعانت المناطق والأقسام الداخلية الواقعة بين حجرات الوميض من التآكل الشديد في المادة المصنوعة من الصلب المعالج بالكربون، وقد نتج عن هذا التآكل تسرب الهواء الى الحجرات، مما يعجل بالتآكل ويحدّ من كفاءة نقل الحرارة. وقد استلزم الأمر حماية الصلب المعالج بالكربون في مناطق عديدة من الوحدة عن طريق تبطينة بصلب لايصدأ. (غوميز، ١٩٧٩).

وقد أحدثت مرات بدء التشغيل والايقاف المتكررة تأثيرا بالغا على الوحدة ونتج عنها تآكل شديد. ولاتزال الوحدة تعمل ولكنها تتطلب صيانة واصلاحات مستمرة بسبب التآكل.

وقد بنيت أقدم محطة تقطير أرضية فى نصف الكرة الغربى فى فان سلوبفيغ فى كوراساو (بجزر الأنئيل الهولندية) فى عام ١٩٢٨، وشيدت وحدة أخرى فى بنسترات عام ١٩٢٩ كما تم توسيع الوحدة الأولى، حتى وصلت السعة الكلية بحلول عام ١٩٣٢ الى ٤٠٠ م^{3}/يوم. وفى ١٩٤٨ وافقت حكومة كوراساو على تشييد ست وحدات تقطير أخرى فى موند و توبو، وتوسيع وحدة بنسترات، لتصل السعة الكلية الى ٢٧٠٠ م^{3}/يوم، ثم أجرى المزيد من التوسيع فى وحدة موند و نوبو فى عام ١٩٥٦ باضافة مبخرين طاقة كل منهما ١٠٠٠ م^{3}/يوم (٢٦٤٠٠٠ غالون فى اليوم) يتصلان بمحطة لتوليد الطاقة الكهربية. وبحلول عام ١٩٦٣ كانت وحدة بنسترات قد أغلقت وأجرى المزيد من التوسيع فى وحدة موند و نوبو لتصل طاقتها الى ٦٠٠٠ م^{3}/يوم (١ر٦ مليون غالون فى اليوم) بالنسبة للمياه النقية. وفى ١٩٧٦ أنشئت شركة المياه والكهرباء بكوراساو للاضطلاع بانتاج الطاقة الكهربية والماء فى موند و نوبو. وفى الفترة من عام ١٩٧٦ الى ١٩٨٢ أجرى المزيد من التوسيعات فى كل من طاقة توليد الكهرباء وانتاج المياه. وفى كانون الأول/ديسمبر ١٩٨٢ بدأ العمل فى الأشغال المدينة المتعلقة باقامة مبخر جديد طاقتة الانتاجية ١٠٠٠٠ م^{3}/يوم (٢ر٦ مليون غالون فى اليوم) ومن المتوقع أن يبدأ تشغيل هذا المبخر فى أوائل عام ١٩٨٤. وتتمتع جزر الأنئيل الهولندية بأطول خبرة عمل فى وحدات التقطير وبمقدورها أن تقدم معلومات مفيدة للمناطق النامية الأخرى (شركة المياه والكهرباء بكوراساو، ١٩٨٣).

٥ - التكاليف المعممة لوحدات التقطير

تتعلق التكاليف الرأسمالية الرئيسية المتصلة بوحدات التقطير الكبيرة بأسطح نقل الحرارة (وهى فى العادة أنابيب)، وصهريج الناقلة، والمضخات ومن خطوط الأنابيب، وتأتى بهذا الترتيب بصفة عامة. وحيث أن سطح نقل الحرارة يمثل واحدا من أهم العوامل فى التكلفة الرأسمالية للوحدة، فقد وجه جهد كبير صوب خفض تلك النفقات. أما بنود التكلفة الهامة خارج الوحدة فتتمثل فى المسحوب من المياه غير النظيفة، وتصريف المحلول الملحى وخزن الناتج.

وتتمثل التكاليف الرئيسية للتشغيل فى تكلفة الطاقة الحرارية اللازمة لانتاج البخار (أو أى مصدر طاقة أساسى آخر)، والعمال، والمواد الكيميائية والطاقة الكهربية الأخرى (للضخ، والمحركات، الخ). ويخص الطاقة الحرارية ما بين ٦٠ و ٨٠ فى المائة على الأقل من تكاليف التشغيل المخططة لوحدات الوميض متعددة المراحل والمتعددة النتائج من أحجام متوسطة (مؤسسة فلور الهندسية، ١٩٧٨).

وتتعلق التكلفة الرأسمالية الرئيسية بتكلفة سطح نقل الحرارة ، كما أن تكلفة التشغيل الرئيسية تتعلق بتكلفة الطاقة الحرارية . وعموما ، فانه اذا تناقصت احداهما ، يتعين زيادة الأخرى . ولذلك ، فان كل وحدة تمثل فى العادة توفيقا بين نوع وكمية سطح نقل الحرارة المركب فى الوحدة وبين كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانتاج كمية وحدة ما من المياه .

وتتعلق تقديرات التكاليف المستخدمة أدناه (أنظر الجدول ٢) بالوحدات التى تقام فى الولايات المتحدة الأمريكية . ويمكن الرجوع الى تحليل ومناقشة أكثر استفاضة لتلك التكاليف فى تقرير "ازالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة ، استكمال التكاليف" فى عام ١٩٨١ (ريد ، ١٩٨٢) وهو الذى قدرت على أساسه التكاليف فى هذا القسم .

الجدول ٢ : التقطير: تقديرات تكاليف ازالة ملوحة مياه البحر

(بآلاف الدولارات الأمريكية)

طاقة الوحدة بالمتر المكعب في اليوم	٣٨٠٠	٣٨٠٠	٣٨٠٠	١٩٠٠٠	١٩٠٠٠	٣٨٠٠٠
(بالمليون غالون في اليوم)	(١)	(١)	(١)	(٥)	(٥)	(١٠)
النوع	MSF/أ	MSF/ب	MED/حـ	MSF	MED	MSF	MED
مكافحة الترسّب	حمضي	غير حمضي	غير حمضي	حمضي	غير حمضي	حمضي	غير حمضي
التكاليف الرأسمالية المباشرة	٦٠٢٤	٦٤٤٠	٥١١٠	١٩٧٢٦	١٥٣٨٥	٣٦٣٧٠	٢٨١٠٥
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة							
الفوائد أثناء التشييد	٤٩٧	٥٣٢	١٦٤	١٨٠٨	١٢٦٥	٤٣٣١	٢٥٧٧
رأس المال العامل	٤٣٩	١٢٧	٨٩	١٩٢٦	٣٠٣	٢٧٣٨	٥٦٤
الطوارئ + المعمار والهندسة	٩٠٤	٩٦٧	٧٤١	٢٩٥٩	٢٣١٠	٥٤٥٥	٤٢٣٥
ادارة المشروع والتكاليف العامة والربح	٢٢٥٩	٢٤١٩	١٩١٦	٧٣٩٧	٥٧٧٣	١٣٦٣٩	١٠٥٣٩
التكاليف الرأسمالية الكلية	١٠١٢٣	١٠٤٨٥	٨٠٢٠	٣٣٨١٦	٢٥٠٤٦	٦٢٥٣٣	٤٦٠٢٠
التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة							
العمال (د)	٢٣٨	٢٣٨	٢١٧	٣٠٥	٢٥٢	٥٧١	٢٥٢
الطاقة ـ البخار (هـ)	٤٩٥	٥٩٤	٤٤٦	٢٤٧٥	٢٢٣٠	٤٩٥٠	٤٤٦٠
الطاقة ـ الكهرباء (هـ)	١١٣	٢٩٤	١٤٠	٥٦٥	٧٠٠	١١٣٠	١٤٠٠
المواد الكيميائية	٥٧	٦٧	٢٨	٢٨٦	١٤٠	٥٧٢	٢٨٠
تكاليف أخرى	٣٦	٣٦	٨٤	٨٦	٢٧٠	١٥٨	٥٠٠
التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة	٩٣٩	١٢٢٩	٩١٥	٣٧١٧	٣٥٩٢	٧٣٨١	٦٨٩٢
رسوم محددة (و)	١٨٢٢	١٨٨٩	١٤٤٤	٥٩٠٧	٤٥٠٨	١١٢٥٦	٨٢٨٤
التكاليف السنوية الكلية	٢٧٦١	٣١١٨	٢٣٥٩	٩٦٢٤	٨١٠٠	١٨٦٣٧	١٥١٧٦
تكلفة المياة							
دولار / للمتر المكعب	٢ر٣٧	٢ر٦٨	٢ر٠٣	١ر٦٥	١ر٣٩	١ر٦١	١ر٣١
دولار / للالف غالون	٨ر٩٠	١٠ر٠٥	٧ر٦٠	٦ر٢٠	٥ر٢٢	٥ر٩٥	٤ر٩٠
التكلفة الرأسمالية للوحدة							
دولار / للمترالمكعب	٢٦٧٢	٢٧٧٠	٢١١٨	١٧٨٥	١٣٢٢	١٦٥٠	١٢١٤
دولار / غالون في اليوم	١٠ر١٢	١٠ر٤٩	٨ر٠٢	٦ر٧٦	٥ر٠١	٦ر٢٥	٤ر٦٠

المصدر : مأخوذة بتصرف من :

S.A. Reed, Desalting Seawater and Brackish Waters: 1981 Cost Update (prepared for the United States Department of Interior, Office of Water Research and Technology) by Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1982).

الحواشي :

الافتراضات العامة المستخدمة في وضع هذه البيانات عن التكاليف واردة في الجدول ٣ أدناه .

كل تقديرات التكاليف بالدولارات الأمريكية حسب الوضع عام ١٩٨١ .

(أ) وحدة الوميض متعدد المراحل MSF التي تستخدم الحامض لمكافحة الترسّب، عامل الأداء = ١٢ ؛ أقصى درجة حرارة لسخان المحلول الملحي ١٢١ درجة مئوية (٢٥٠ درجة فهرنهايت) ؛ اعادة التوزيع بعامل تركيز مقدارة ٢ وعامل وحدة نسبته ٨٥ في المائة .

(ب) وحدة الوميض متعدد المراحل MSF التي تستخدم البوليفوسفات لمكافحة الترسب، عامل الأداء = ١٠ ؛ أقصى درجة حرارة لسخان المحلول الملحي ٩٠ درجة مئوية (١٩٤ درجة فهرنهايت) ؛ وعامل وحدة نسبته ٨٥ في المائة .

(ج) وحدة التقطير متعدد النتائج MED ذات الأنابيب الأفقية التي تستخدم أنابيب مصنوعة من الألومنيوم ؛ عامل الأداء = ١٢ ؛ أقصى درجة حرارة لسخان المحلول الملحي ٧٥ درجة مئوية (١٦٧ درجة فهرنهايت) ؛ وعامل وحدة نسبته ٨٥ في المائة .

(د) تشمل تكلفة العمال ٤٠ في المائة اضافية للتكاليف العامة والادارية .

(هـ) تكلفة الطاقة على أساس استخدام النفط كوقود بتكلفة ٣٢ دولارا للبرميل (٨ر٥ × $١٠^{٦}$ وحدة حرارية بريطانية للبرميل) ينتج البخار الأولي عند درجة حرارة ٥٣٨ مئوية (١٠٠٠ درجة فهرنهايت) بسعر ٨ر٩٨ دولار لكل ١٠ كيلو جول (٨ر٥٠ دولار لكل ١٠ وحدات حرارية بريطانية) . وتكلفة البخار اللازم لوحدة التقطير محسوبة على أساس ٢ر٣٠ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريكانية ، مع توليد الكهرباء في الموقع بتكلفة ٧ر٥ سنت لكل كيلوواط ساعة .

(و) على أساس استرداد رأس المال خلال ٣٠ عاما بفائدة ١٨ في المائة .

ويوضح الجدول ٢ توزيع التكلفة بالنسبة لعدد من وحدات التقطير تتراوح طاقاتها بين ٣٨٠٠ و ٣٨٠٠٠ $م^{٣}$ /يوم (بين ١ و ١٠ مليون غالون في اليوم) ويبين الجدول الأنواع الثلاثة الآتية من وحدات التقطير : وحدات الوميض متعدد المراحل المغذاة بالحامض، ووحدات الوميض متعدد المراحل غير المغذاة بالحامض (البوليفوسفات) ، ووحدات التقطير متعدد النتائج غير المغذاة بالحامض . وتعمل الوحدة المغذاة عند درجة حرارة قصوى لسخان المحلول الملحي تبلغ ١٢٠ درجة مئوية (٢٥٠ درجة فهرنهايت) ؛ وتعمل وحدة التقطير متعدد المراحل عند

٧٥ د رجة مئوية (١٦٧ د رجة فهرنهايت) ، وتعمل وحدة الوميض متعدد المراحل المغذاة بالبوليفوسفات عند ٩٠ د رجة مئوية (١٩٤ د رجة فهرنهايت) .

وتتراوح التكاليف الرأسمالية الكلية للوحدة بين ١٢١٤ د ولارا و ٢٧٧٠ د ولارا /م^3 /يوم (بين ٤٫٦٠ د ولار و ١١٫٤٩ للغالون فى اليوم) حسب الحجم والوسيلة المستخدمة لمكافحة الترسّب. وفى هذا النطاق ، تتميز وحدة الوميض متعدد المراحل المغذاة بالبوليفوسفات ذات سعة ٣٨٠٠ م^3 /يوم (١ مليون غالون فى اليوم) بأعلى تكلفة للوحدة ، وتتميز وحدة التقطير متعدد النتائج بسعة ٣٨٠٠٠ م^3 /يوم (١٠ مليون غالون فى اليوم) بأدنى تكلفة للوحدة .

وتتراوح تكاليف التشغيل (باستثناء استرداد رأس المال) بين ١٫٠٥ د ولار للمتر المكعب (٣٫٩٧ د ولار لكل ألف غالون) بالنسبة لوحدة الوميض متعدد المراحل المغذاة بالحامض ذات طاقة ٣٨٠٠ م^3 /يوم (١ مليون غالون فى اليوم) وهى أعلى تكلفة ، وبين ٠٫٥٩ د ولار للمتر المكعب (٢٫٢٣ د ولار لكل ألف غالون) بالنسبة لوحدة التقطير متعدد النتائج ذات طاقة ٣٨٠٠٠ م^3 /يوم (١٠ مليون غالون فى اليوم) . وتتراوح التكلفة الكلية للمياه (التى تشمل استرداد رأس المال) بين ٢٫٦٨ د ولار للمتر المكعب (١٠٫٠٥ د ولار لكل ألف غالون) وهى أعلى تكلفة ، وبين ١٫٣١ د ولار للمتر المكعب (٤٫٩٠ د ولار لكل ألف غالون) وهى أدنى تكلفة بالنسبة لنفس الوحدات .

وبصفة عامة ، فان التكاليف المقدرة لوحدات التقطير متعدد النتائج كانت أقل فى كل من تكاليف فئتى رأس المال والتشغيل ، وثمة خبرة كبيرة مستفادة فيما يتعلق بنوع وحدات الوميض متعدد المراحل التى تناولتها الدراسة بالمناقشة ، ولكن ثمة خبرة محدودة فقط فى وحدات التقطير متعدد النتائج ذات الأنابيب المصنوعة من الألومنيوم . وقد تم تركيب ستة من هذه الوحدات وبدأ تشغيلها فى فيرجين أيلاند ز التابعة للولايات المتحدة الأمريكية فى الثمانيات .

ويشمل الجدول ٣ حصرا للافتراضات العامة المستخدمة فى دراسة التكاليف التى قام بها ريد (١٩٨٢) وهى الأساس الرئيسى لافتراضات التكاليف المتعلقة بازالة الملوحة فى هذا المجلد .

الجدول ٣ : الافتراضات العامة المستخدمة فى الدراسة التى أجراها المعمل الوطنى فى أوك ريدج والمتعلقة بتكاليف ازالة الملوحة (ريد ، ١٩٨٢)

١ - تشمل التكاليف الرأسمالية المباشرة : اعداد الموقع (عدا الأرض) ، الهيكل

الأساسي (المرافق العامة، الطرق، نظم السحب والتصريف، والادوات الكهربائية، الخ)؛ والوحدة.

٢ - المواقع في الولايات المتحدة. ليس ثمة مشاكل رئيسية فيما يتعلق بتصريف المحلول الملحي أو اقامة نظم السحب أو التصريف.

٣ - تشمل التكاليف غير المباشرة الفائدة أثناء التشييد، وادارة المشروع، والتكاليف العامة والأرباح. سعر الفائدة ١١ في المائة على رأس المال أثناء فترة التشييد.

٤ - بلغت تكاليف الطوارئ بالاضافة الى الاتعاب المعمارية والهندسية ١٦ في المائة من التكاليف الرأسمالية المباشرة وغير المباشرة.

٥ - عامل تحميل الوحدة: ٨٥ في المائة بالنسبة لأنظمة مياه البحر؛ ٩٥ في المائة بالنسبة لأنظمة المياه الضاربة الى الملوحة.

٦ - تكاليف المواد الكيميائية بالدولار للكيلوغرام: مضادات الرغاوى ٢٫٣١ دولار؛ حامض الكبريتيك (١٠٠ في المائة) ٠٫٥٣ دولار؛ البوليفوسفات ٣٫٩٨ دولار؛ هكسا ميتا فوسفات الصوديوم ٠٫٧٠ دولار؛ برمنغنات البوتاسيوم ١٫٤٣ دولار؛ هيدروكسيد الصوديوم ٠٫٤٦ دولار؛ كبريتات الصوديوم ٠٫١٣ دولار؛ كلورين ٠٫٣٠ دولار.

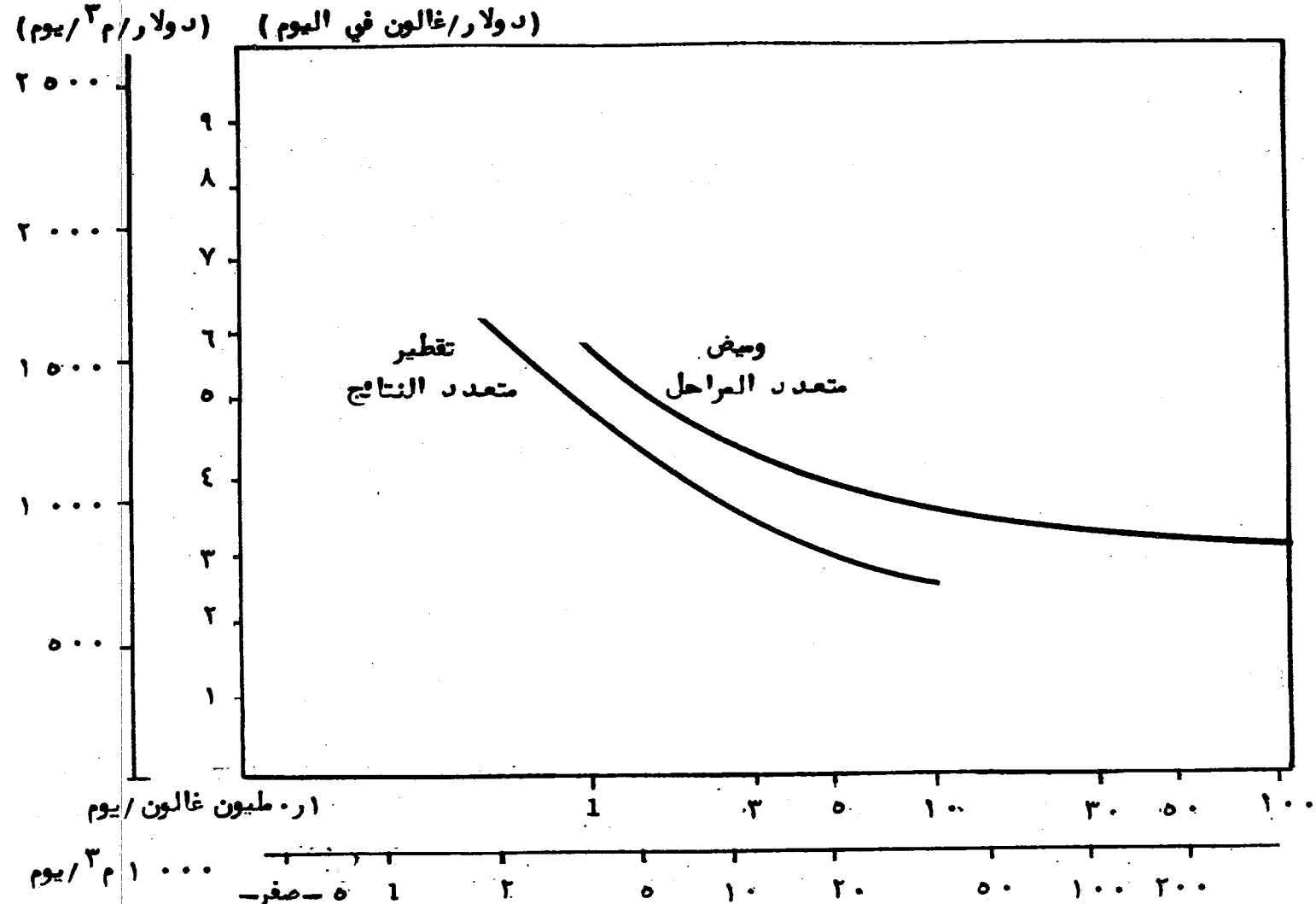
٧ - تكاليف احلال الأغشية محسوبة على أساس الثمن المحدد من قبل الشركات الصانعة وعمر الغشاء: ٧٫٥ سنوات للدليزة بالكهرباء؛ ٣ سنوات للأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة؛ و ٥ سنوات للأوزموزية العكسية لمياه البحر.

٨ - تكلفة التشغيل والصيانة محسوبة على أساس المدخلات من الشركات الصانعة والمنتفعين.

يبين الشكل ٣ أدناه تقديرات حديثة لتكاليف المعدات الرأسمالية مقابل الطاقة بالنسبة لوحدات التقطير المقامة في مواقع بالولايات المتحدة. وتتعلق التكاليف بمعدات الوحدة بما في ذلك الأشغال المدينة وكافة التكاليف غير المباشرة مثل الفائدة وادارة المشروع. وبصفة عامة، فان التكاليف الخاصة بوحدات بنيت وأقيمت خارج الولايات المتحدة أعلى بدرجة كبيرة، حيث يرجح أنها تشمل تكاليف عناصر غير العناصر المكونة للوحدات مثل خطوط الأنابيب، والخزانات، والمجمعات السكنية، ووحدات الطاقة الكهربية المساعدة، والنقل والتعريفة الجمركية المفروضة على المعدات المستوردة.

وقد وضع ريد (١٩٨٢) الشكل ٣ بدلا من مجرد اضافة التضخم الى أرقام

التكاليف في تقاريره السابقة بسبب حدوث زيادة ، على مدى السنوات العديدة السابقة ، في التكلفة الحقيقية لوحدات التقطير. ونتيجة لتحسن المواصفات وارتفاع معدلات الأداء ، يبدو أن الزيادة في التكاليف كانت أعلى منها بالنسبة للسلع الرأسمالية بصفة عامة (وود ، ١٩٨٢) ويتطلب تحسين المواصفات بصفة عامة المزيد من الاستخدام المكثف للمعادن غير الحديدية مثل التيتانيوم ، وسبائك النحاس الأحمر والنيكل ، والصلب الذي لا يصدأ ، حسبما تتطلبه الخبرة الميدانية . غير أن تزايد الثقة في تلك الوحدات يعتبر عاملا هاما في البلدان النامية ، حيث أنها تخفض تكاليف الصيانة والاصلاح بدرجة كبيرة على المدى الطويل .



الشكل رقم ٣ – تكلفة المعدات الرأسمالية : ازالة ملوحة مياه البحـــر بواسطة التقطيـــر

المصدر: مأخوذ بتصرّف من S.A. Reed, Desalting sea water and brackish waters; 1891 cost update (أعدّه لوزارة الداخلية بالولايات المتحدة الامريكية، مكتـــب البحث والتكنولوجيا، معمل اوك ريدج الوطني ١٩٨٢)

جيم - الديلزة بالكهرباء

١ - خلفية تاريخيـــة

يرجع استقصاء ظاهرة الأغشية ذات الانفاذية الأيونية الانتقائية الـــى تسعينات القرن التاسع عشر على الأقل (كوران وآخرون، ١٩٧٦). وقد تعلق الكثير من الأعمال المبكرة بخواص الخلايا الحية. فقد استحدثت علوم الحيـــاة المختلفة عمليات الفرز باستخدام مبدأ اجتذاب للخلايا المشحونة الى اليكـــترود قضيب لحام على شكل الكتروليت (منحل بالكهرباء)، بوصفها عمليـــة ديلـــزة بالكهرباء.

وبصناعة أغشية أيونية انتقائية من مواد مختلفة، تم انشاء وحدات عديـدة لتنقية المياه في أوروبا في الفترة من ١٩١٠ الى ١٩٣٠ (فرايدلاندر وريكلـــز، ١٩٦٦)، وكان استحداث أغشية تجمع بين انتقائية أيونية جيدة وخواص آليـــة جيدة يمثل مشكلة كبيرة. ففي عام ١٩٣٥ صنعت راتينجات التبادل الأيونـــي، وفي ١٩٤٠ انشئت وحدة متعددة الخلايا ذات نتاج متبادل وخلايا ملحيـــة مماثلة للموجودة حاليا (كوران وآخرون، ١٩٧٦).

وقد ظهرت صناعة الديلزة بالكهرباء الحديثة في خمسينـــات القـــرن العشرين في الولايات المتحدة حينما تم الوصول براتينجات التبادل الأيونـــي الى مرتبة الكمال، والحصول على براءة اختراعها (جودا وماكرى، ١٩٥٣). وفي شباط/ فبراير ١٩٥٢ عرضت شركة أيونكس المحدودة عملية الديلزة بالكهربـــاء على مستوى تجريبي كطريقة جديدة تستخدم الكهرباء في ازالة الملوحة من محلول ملحي بازالة الأملاح الذائبة. وقد جذبت الكهرباء الأيونات عن طريق أغشيـــة لدائنية خاصة أحتفظت بالأيونات، وأوجدت محلول منخفض الملوحة. وكان لذلك البيان العملي آثار بعيدة المدى فيما يتعلق بتكنولوجيا عملية ازالة الملوحـــة وتطويرها. فقد أوضح أنه يمكن انشاء طريقة عملية لازالة الملوحة استنادا الـــى مبدأ طبيعي غير غلى المياه وتكثيف البخار. وعلاوة على ذلك، فان استخـــدام أغشية بوليميرية اصطناعية في الديلزة بالكهرباء أحدث تطورات رئيسية في استخدام الأغشية في استعمالات أخرى من بينها: الأوزموزية العكسية والتبادل الأيوني. وساعد ذلك البيان العملي في اقناع حكومة الولايات المتحدة بتخصيص اعتمـــاد مالي لمرفق المياه الملحة الذي لعب دورا هاما في تنمية عملية ازالة الملوحـــة. على مدى ألـ ٣٠ سنة التالية.

وثمة جانب هام آخر هو أن الديلزة بالكهرباء منخفضة التكلفة نسبيـــا فيما يتعلق بازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة. وقد شجع توافر عمليـــة

لمعالجة هذه المياه على ايجاد سوق جديدة ، وأدى خلال العقدين التاليين الى فهرسة دقيقة للموارد الداخلية من المياه الضاربة الى الملوحة فى جزء كبير من العالم (كاتز، ١٩٧٧) وقد تمت أولى عمليات البيع التجارية لوحدة مياه ضاربة الى الملوحة للشركة العربية الأمريكية للنفط (أرامكو) فى ١٩٥٤ لامداد فريق للاستكشاف بالمياه . وقد اختصت مجموعة " الأولى " فى البحرين بأول استخدام محلى للديلزة بالكهرباء ، وكانت شركة نفط البحرين قد اشترت هذه الوحدة فى عام ١٩٥٥ ، ودخل عدد من وحدات أخرى نطاق الخدمة فى الخمسينات وأوائل الستينات من هذا القرن فى العديد من بلدان الشرق الأوسط لامداد معسكرات انتاج النفط والمنشآت العسكرية والصناعة بالمياه العذبة . وفى عام ١٩٥٨ استخدمت الديلزة بالكهرباء لأول مرة فى الولايات المتحدة لـلاستعمالات المحلية فى مدينة كولينغا بكاليفورنيا . وحذت محليات أخرى حذوها ، وسرعان ما أصبحت وحدات الديلزة بالكهرباء تستخدم فى معالجة مجموعة منوعة من المياه الضاربة الى الملوحة فى جميع أنحاء العالم .

وعلى الرغم من أن قدرا كبيرا من عمليات الاستحداث الأصلية تم فى الولايات المتحدة بواسطة شركة أيونكس المحدودة ، فان شركات صانعة أخرى استحدثت أغشية للتبادل الأيونى و/أو بدأت فى انتاج وحدات للديلزة بالكهرباء فى آواخر الخمسينات . بيد أن شركة أيونيكس المحدودة سيطرت على السوق، اذ انتجت قرابة نصف وحدات الديلزة بالكهرباء المعيارية وكافة وحدات انعكاس الديلزة بالكهرباء الانعكاسية فى العالم .

وقد بلغت أقصى سعة مقررة لازالة الملوحة بالديلزة بالكهرباء الى حوالى ٣١ ٠٠٠ م^3/ يوم (٨ مليون غالون فى اليوم) فى بداية ١٩٧٠ . وزادت هذه السعة بسرعة فى السبعينات كنتيجة ، فى المقام الأول ، لتحسينات تجارية مثل استحداث معدات ديلزة بالكهرباء باستخدام القطبية المعكوسة (كاتز، ١٩٧٧). وتناقش فى المرفق الثانى بالتفصيل الجوانب التقنية والهندسية .

٢ - اعتبارات تقنية

الديلزة بالكهرباء هى طريقة مستخدمة على نطاق واسع لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة . وتوجد حاليا منشآت فيما يزيد على ٢٦ بلدا تقدر سعتها الكلية ٢٧٣ ٠٠٠ م^3/ يوم (٧٢ مليون غالون فى اليوم) مستخدمة فى استعمالات صناعية محلية .

ويجرى استخدام عمليتين رئيسيتين ، أولاهما الديلزة بالكهرباء المعيارى التى استخدمت منذ الخمسنات . وثانيهما عملية انعكاس قطبى تعرف بالديلزة

بالكهرباء الانعكاسية ، وقد غدت متاحة تجاريا منذ أوائل السبعينات . حينما تم تصميم وتشغيل كلتا العمليتين كما ينبغى ، فقد أثبتا فعالتهما فى ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ومحاليل معينة ذات ملوحة عالية .

وهناك عدد ضئيل من الشركات الصانعة النشطة فى ميدان الديلزة بالكهرباء . وتسيطر على الصناعة شركة أيونيكس، التى هى المستحدث الأصلى لها فى الولايات المتحدة ، فى حين ينتج غالبية الوحدات الأخرى مصنعان يابانيان . وتكاد شركة أيونيكس المحدودة هى التى تقوم دون غيرها ببيع وحدات الديلزة بالكهرباء الانعكاسية منذ ١٩٧٣ . وتمثل هذه العملية حاليا ما يزيد قليلا عن نصف السعة المقررة فى العالم .

وتعتبر الديلزة بالكهرباء منافسا مباشرا لعملية الأوزموزية العكسية فى ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ولما كانت متطلبات الديلزة بالكهرباء من الطاقة ترتبط بشدة بالمحتوى الملحى للمياه ، فان عملية الديلزة بالكهرباء تعد عادة العملية الأقل تكلفة فى معالجة المياه الضاربة الى الملوحة ذات المستوى المنخفض من الأملاح الذائبة .

والأجزاء الرئيسية لوحدة الديلزة بالكهرباء هى : مقوم (لانتاج تيار مستمر) ، ورصيص من الأغشية ، ومضخة ذات ضغط منخفض لتوزيع المياه فى الجهاز وتصنع وحدات الديلزة بالكهرباء ، بوجه عام ، وفق أحجام معيارية تتراوح بين ٥٥ و٩٥٠ م^3/ يوم (١٥٠٠٠ و٢٥٠٠٠٠ غالونا فى اليوم) مع ضم وحدة أو أكثر لانتاج أحجام أكبر . ويمكن تكييف الأغشية والرصائص بحيث تلائم المياه التى تجرى معالجتها .

وتتراوح سعة الوحدة النموذجية بين ٢٠٠ و٧٥٠ م^3/ يوم (٥٣٠٠٠ - ٢٠٠٠٠٠ غالونا فى اليوم) . وتوجد أكبر وحدة من هذا النوع فى كورفو باليونان وتبلغ سعتها ١٥٠٠٠ م^3/ يوم (٤ مليون غالون فى اليوم) .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

فى السنوات الأخيرة ، حدث تقدم تكنولوجى رئيسى فى عملية الديلزة بالكهرباء فى مجالين : ادخال عملية الديلزة بالكهرباء الانعكاسية على المستوى التجارى ، والعول المتزايد الناجم عن ادخال تغييرات تصميمية يسيره قائمة على التجربة العملية .

(أ) عملية الديلزة بالكهرباء الانعكاسية

فى أعقاب التطور الذى حدث فى أواخر الستينات وأوائل السبعينات، أدخلت شركة أيونيكس المحدودة عملية الديلزة بالكهرباء الانعكاسية . وبحلول عام ١٩٧٤ حولت الشركة كل انتاجها تقريبا الى هذه العملية . وفى عام ١٩٨١ كانت الشركات الصانعة قد أقامت ٢٢٨ مصنعا بسعات تزيد على ٩٥ م^3/ يوم (٢٥٠٠٠ غالونا فى اليوم) فى شتى أرجاء العالم، تبلغ سعتها الكلية ١٣٩٠٠٠ م^3/ يوم (٣٦٫٧ مليون غالونا فى اليوم) (الرملى وكونغدون، ١٩٨١) . وهكذا ولأول مرة تفوقت عملية انعكاس الديلزة بالكهرباء على عملية الديلزة بالكهرباء من حيث السعة الانتاجية الكلية المقررة (سعة الأخيرة ١٣٥٠٠٠ م^3/ يوم للوحدات الأكبر من ٩٥ م^3/ يوم) .

(ب) الموثوقية

أسفرت سيطرة شركة واحدة (أيونيكس) على سوق الديلزة بالكهرباء خلال الـ ٣٠ سنة الماضية عن بعض مزايا تتمثل فى أن شركة أيونيكس ركزت، دون غيرها، على بناء نموذج معيارى واحد . وقد تجلى ذلك فى أن خط الانتاج الحالى للشركة يستخدم أجزاء كثيرة قابلة للتغيير فيما بين النماذج . وهكذا استطاعت شركة أيونيكس أن تركز على تحسين المكونات الأساسية والتعويل عليها . وتحققت هذه التحسينات من خلال البحث والتطوير وكذا من خلال خبرة ميدانية مكثفة .

ومع تزايد الثقة فى الكثير من معدات الديلزة بالكهرباء، المعروف الرئيسى لتطبيق هذه العملية هو أنها تتطلب قدرا أعلى من الطاقة قياسا بعملية الأوزموزية العكسية عند أعلى الأحجام الكلية للجوامد المذابة . الا انه من المتوقع أن تنخفض متطلبات الطاقة فى المستقبل من خلال تطوير وتحسين المكونات المختلفة للأغشية .

ومن بين التقنيات الجديدة المستحدثة لزيادة الموثوقية والفعالية : أغشية، وفلكات مباعدة محسنة، ومواد ومعدات أخرى مطورة . فقد أصبح متاحا فى عام ١٩٨٠ . على سبيل المثال، غشاء أنيونيا قائما على مركب كيميائى أليفاتى وليس أروماتى يمكن تبادله مع الأغشية الحالية، ومن المفترض أن له طاقة زائدة وخواص معدلة مضادة للاتساخ بالمقارنة بأغشية أخرى .

(ج) تحسينات في مجال التصميم

بغية تخفيض التكاليف الرأسمالية، خاصة بالنسبة للوحدات الضخمة، تمت دراسة بعض التغييرات التصميمية، قامت بمعظمها شركة أيونيكس بموجب عقد مع مرفق بحوث وتكنولوجيا المياه الذى تم حله الآن والذى كان تابعا لوزارة داخلية الولايات المتحدة. وتشمل هذه الدراسات استخدام أغشية أكبر حجما مع الاستخدام الأكثر فعالية لنطاق الأغشية. وتم تخفيض المقاومة الشاملة للرصيصه بدرجة كبيرة عن طريق زيادة مساحة المباعدة الهيدرولية والأغشية بما يقرب من ثلاثة أضعاف الحجم المعيارى التجارى المتاح فى الولايات المتحدة. وزيدت المساحة الغشائية الفعالة لكل زوج من الخلية بنفس النسبة، وأمكن زيادة استخدام المساحة الغشائية بحوالى ٤٠ بالمئة تقريبا من خلال استخدام تصميم جديد لمباعدة هيدرولية. وفى الوقت نفسه، جعلت المباعدة الجديدة أرفع من الفلكات التجارية الحالية لاحداث تخفيض كبير فى مقاومة المحلول لكل زوج من الخلية (ماتسون وليو، ١٩٨٢). وتؤدى هذه التحسينات الى تخفيض استهلاك الطاقة وزيادة ناتج المياه المستخلصة.

وقد شمل البحث الذى أجرى لحساب مرفق بحوث وتكنولوجيا المياه، دراسة لطرق استخدام الرصيصة بحيث يمكن اخراج طبقات داخل الرصيصة، بصورة مستقلة، لاجراء عملية الصيانة دون تفكيك أزواج الخلايا فى الطبقات التى تعلوها. ويمكن أن يوفر ذلك وقتا كبيرا أثناء الصيانة.

وعلاوة على ذلك، تبذل بعض الجهود فى الولايات المتحدة لاستخدام الديلزة بالكهرباء الى جانب خلايا كيميائية ضوئية لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة. وسيكون الاستخدام الأكثر فعالية من حيث التكلفة لهذه العملية القائمة على ازالة الملوحة بالطاقة الشمسية، فى المناطق النائية حيث يكون الوقود مكلفا ويصعب الحصول عليه.

(د) استخدام الحرارة العالية فى ازالة الجوامد المذابة فى الماء

بذلت جهود فى اليابان والصين والولايات المتحدة بشأن استخدام الديلزة بالكهرباء لازالة ملوحة مياه البحار. واستهدفت البحوث التى أجريت تحت رعاية مرفق بحوث وتكنولوجيا المياه فى الولايات المتحدة ازالة ملوحة مياه البحر بشكل اقتصادى باستعمال الديلزة بالكهرباء عند درجة حرارة عالية. وبنيت وحدة للديلزة بالكهرباء خاصة بمياه البحر سعتها ٢٠٠ م^3/ يوم (٥٣٠٠٠ غالون فى اليوم) ضمن المنشآت التجريبية لازالة الملوحة التابعة

لحكومة الولايات المتحدة فى رايتسفيل بولاية نورث كارولينا . وصممت الوحدة لازالة ملوحة مياه البحر عند درجة حرارة فى حدود ٦٦ درجة مئوية (١٥٠ درجة فهرنهايت) . واستفاد هذا التصميم من المقاومة المخفضة للأغشية وزيادة موصلية المياه عند درجات حرارة مرتفعة بغية تخفيض استهلاك الطاقة بدرجة كبيرة (ماكرى وآخرون ، ١٩٧٧ ، غولدستاين ١٩٧٩) . وكان الهدف العام لتجارب الولايات المتحدة هو تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية وصولا الى غاية مستهدفه هى ٩ر٧ كيلو واط/ ساعة لكل متر مكعب (٣٠ كيلو واط/ ساعة لكل ١٠٠٠ غالون) . واعتبارا من كانون الثانى/ يناير ١٩٨١ ، وضعت رصيصة من النموذج الأولى تستعمل أغشية كاملة الحجم وفرازات ذات حشية موضعا لسلسلة من الاختبارات بالمصانع عند درجة حرارة ٦٠ مئوية (١٤٠ درجة فهرنهايت) . وبالتقدير الاستقرائى للانتقال من النموذج الأولى الى مصنع كامل الحجم يعمل عند درجة حرارة ٦٦ مئوية (١٥٠ فهرنهايت) وجد أن الاستهلاك الكلى للطاقة المقابل ينخفض الى ٩ر٩ كيلو واط/ ساعة لكل متر مكعب (٥ر٣٧ كيلو واط/ ساعة لكل ١٠٠٠ غالون) . وفى مجال التطبيق العملى ، قد يتحقق مزيد من الانخفاض فى الطاقة الكهربائية اللازمة للمصنع الكبير . ويعتقد بوجه عام أن اختبارات المحطات برهنت على مقدرة عملية الديلزة بالكهرباء فى ازالة المعادن من مياه البحار باحتياجات تكاد تصل الى الأرقام الأصلية المستهدفة فيما يتعلق بالطاقة الكهربية (ماتسون ولوى ، ١٩٨٢) .

وهناك استخدام آخر محتمل لهذا النوع من استخدام الحرارة العالية فى ازالة ملوحة المياه الحرارية الجوفية . واختبرت وحدة تجريبية من هذا النوع فى موقع تجارب المياه الجوفية الحرارية التابع لوزارة الداخلية الأمريكية والكائن فى هولتسفيل باكاليفورنيا (بوغلى وآخرون ، ١٩٧٧) .

وقد أجريت بحوث على محاليل ملحية (وانتاج مياه صالحة للشرب) باستخدام الديلزة بالكهرباء بالاضافة الى التبادل الأيونى .

(هـ) تطورات أخرى

اشتركت الشركات اليابانية أيضا فى برنامج انمائى مكثف فى مجال الديلزة بالكهرباء . وكانت الصناعة اليابانية تستخدم الديلزة بالكهرباء فى انتاج الملح منذ أن أدخلت تلك العملية فى الخمسينات (يامبى ، ١٩٧٧) . والى جانب تنمية صناعة الملح ، استخدمت الشركات الديلزة بالكهرباء فى انتاج مياه صالحة للشرب من المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر ، وفى بعض الاستخدامات الصناعية ومعالجة المياه المستعملة فى المحليات .

وعمل اليابانيون على تطوير أغشية ومباعدات ذات وجهة رأسية فى مقابل الأغشية ذات الوجهة الأفقية المستخدمة بوجه عام فى الولايات المتحدة ، واستحدثوا التدفق الصفحى بدلا من المسار المتعرج الذى استخدمته شركة أيونيكس .

وفى الفترة من ١٩٧٢ الى ١٩٨١ أنشأت الشركات الصانعة اليابانية أربع وحدات للمياه فى المحليات تستخدم الديلزة بالكهرباء بسعة كلية قدرها ٢٠٠ر٢ م^3/ يوم (٦ر مليون غالون فى اليوم) و١١ وحدة أخرى للأغراض الصناعية تبلغ سعتها ٧٠٠ر٣٢ م^3/ يوم (٦ر٨ مليون غالون فى اليوم) (الرملى وكونغدون ، ١٩٨١) . وقامت صناعة الديلزة بالكهرباء فى اليابان بادخال بعض التطويرات التجريبية و/أو التجارية من بينها التنظيف الكيميائى الآلى ، والأغشية المتغايرة ، وأغشية مياه البحر والأغشية الكبيرة (كيش وآخرون ، ١٩٧٧ ، وكواهارا وآخرون ، ١٩٧٧ ، وسيتو وآخرون ، ١٩٧٧) .

٤ - التطبيق في البلدان النامية

تعتبر مبادئ تشغيل وحدة للديلزة بالكهرباء واضحة تماما . فالاستعمال الرئيسى لهذه الوحدات فى البلدان النامية سيكون فى المستقبل القريب فى مجال ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة . وكما هو الشأن بالنسبة لأية عملية لازالة الملوحة ، فانه من المهم للغاية انتقاء وتنمية مصدر المياه الأولية بطريقة ملائمة واختيار المعالجة التحضيرية المناسبة لتلك المياه ، ونظرا لأن الديلزة بالكهرباء هى عملية ازالة الملوحة الأكثر حساسية للطاقة فيما يتعلق بحجم الجوامد المذابة فى الماء ، فان مفتاح نجاحها الشامل هو امكانية التنبؤ (حبذا بالاختبار الدقيق) بالحجم الكلى للجوامد المذابة فى المصدر المائى على المدى الطويل ، ومن ثم بأداء الوحدة فى المستقبل .

ويحتاج تشغيل وحدات الديلزة بالكهرباء الى مستخدمين قادرين على تشغيل وصيانة المضخات والمحركات والمقومات والصمامات ومعدات التنشيط الآلى وتشمل المهارات اللازمة القدرة على تفكيك واعادة تجميع رصيصة الأغشية والقدرة على قراءة أجهزة القياس و/أو الرسوم البيانية ، وصنع قرارات خاصة بالعمليات البسيطة نسبيا على أساس تلك القراءات . وعلى الرغم من أن مجموعة المضخات والمواسير والصمامات الآلية تشكل تركيبا أكثر تعقيدا من وحدة الأوزموزية العكسية القابلة للمقارنة ، فان عملية الديلزة بالكهرباء توفر مزايا عديدة للبلدان النامية . أولها أنها نظام ضغط منخفض (٣ر٤ - ٨ر٤ غلاف جوى) (٥٠ - ٧٠ رطلا للبوصة المربعة) يستخدم مضخات معيارية (وليس مضخات ضغط عالى كما هو

الحال فى الأوزموزية العكسية) ويمكن صنع مجموعة الأنابيب والصمامات من مادة مثل كلوريد البوليفينيل الذى يمكن شراؤه واصلاحه بطريقة أكثر سهولة مما هو الحال بالنسبة لمواد مثل الصلب غير القابل للصدأ .

والميزة الثانية أنه فى حالة وجود مشاكل حادة خاصة بالتقشر والانسداد لا يمكن التخلص منها بالتنظيف الموضعى ، فان الرصيصة يمكن تفكيكها وتنظيفها يدويا ثم اعادة تجميعها . وقد تستغرق هذه المهمة وقتا طويلا وتحتاج الى عمل مكثف، الا أن الأيدى العاملة متوفرة بسهولة فى مناطق كثيرة . وعلاوة على ذلك ، فان هذا الاجراء الخاص بالتفكيك والتنظيف اليدوى ويعتبر ، فى الغالب، أكثر ارضاء بكثير من شراء وحدات جديدة ، وهو ما قد يغدو مطلوبا بالنسبة لوحدات الأوزموزية العكسية حينما تتسخ بشدة بالرواسب .

وعلاوة عن ذلك ، فان استخدام طريقة الديلزة بالكهرباء الانعكاسية يمكن أن يقضى تقريبا على استعمال المواد الكيميائية أثناء التشغيل مما يقلل من الحاجة الى شراء ونقل وخلط واضافة مواد كيميائية بصورة مستمرة . ويقلل هذا مشاكل الشراء والنقل الموجودة فى كثير من المناطق النامية ، بالرغم من أنه يضيف بالتأكيد بعض التعقيدات الاضافية فيما يتصل بالصمامات التى تعمل بالمحركات وما الى ذلك . ولذلك فان المواد المستهلكة الهامة الوحيدة اللازمة فى الاستخدام اليومى هى الكهرباء والمرشحات الملفوفة .

ويمكن لوحدة الديلزة بالكهرباء المصممة والمركبة على الوجه الملائم أن تعمل لساعات فى كل مرة مع توفر قدر يسير من العناية . وباستطاعتها أن تعالج الفاقد فى مجال الطاقة على نحو مرض، بيد أنها تحتاج بالتأكيد الى اشراف تقنى مدرب .

وكما سبق أن ذكرنا أعلاه ، فان أحد المزايا الأساسية لعملية الديلزة بالكهرباء هى موثوقيتها المؤكدة التى جعلتها ذات جاذبية خاصة فيما يتعلق بازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة فى البلدان النامية . ولاتزال المحطة البالغ سعتها ٢٥٠٠ م^3 / يوم (٦٦ر مليون غالونا فى اليوم) المنشأة فى ١٩٦٢ لتزويد بوكاى بأريزونا بالمياه ، تعمل بشكل مرض، وتم توسيعها عام ١٩٨٠ لمعالجة أقصى الحمولات. وتقف وحدات الديلزة بالكهرباء الأخرى التى ظلت تعمل على مدى سنوات عديدة موقف المنافسة من حيث التكلفة والموثوقية عند مستويات الملوحة المنخفضة ، مع الوحدات المماثلة لها فى الحجم التى تستخدم عمليات أخرى . مثال ذلك الوحدة المعيارية المنشأة أصلا فى جزيرة سانيبل بفلوريدا فى ١٩٧٣ والتى تم توسيعها منذ ذلك الحين لتصبح سعتها ٨٠٠٠ م^3 / يوم (٢ر١ مليون غالونا فى اليوم) . وقامت بتشغيل هذه الوحدة بشكل مكثف هيئة مياه الجزيرة فى ظل ظروف صعبة ، بيد أنه ثبت منافستها فى مجال ازالة ملوحة

المياه ذات الجوامد المذابة المنخفضة ، لوحدة الأوزموزية العكسية التى وضعت قيد الاستعمال فى نفس الجزيرة فى ١٩٨٠ (ديروفيتش، ١٩٨٢) . وتركزت مشاكل التشغيل فى وحدة الديلزة بالكهرباء حول اتساخ الرصيصات بسبب المعالجة التحضيرية غير الكافية ، وتأكسد المكونات، وتناقص امدادات المياه الجوفية . وقد استلزم هذا السبب الأخير انشاء أبار جديدة باستخدام تقنيات محسنة .

وقد أقيمت أولى وحدات الديلزة بالكهرباء الانعكاسية لبلدية كورفو باليونان كمشروع مشترك بين شركة أيونيكس المحدودة وشركة تيخنوم بأثينا ، بالتعاون مع المجلس المحلى . وبدأ تصميم الوحدة التى تبلغ سعتها ١٥٠٠٠ م^3/ يوم (٤ مليون غالون فى اليوم) فى ١٩٧٤ . وكان من المقرر أن تكون الوحدة أكبر ١٥ مرة من وحدات الانعكاسية القطبية التى استخدمت مؤخرا فى المجال التجارى . وأجريت اختبارات أداء للوحدة فى تشرين الأول / أكتوبر ١٩٧٧ . وأجريت لها عملية فحص دقيقة وصيانة كاملة فى شتاء ١٩٧٧ / ١٩٧٨ وبدأ التشغيل الكامل فى صيف ١٩٧٨ . وتعتبر وحدة كورفو وحدة " تغذية كيميائية صفر " - بمعنى أن العملية الانعكاسية لا تتطلب اضافة مواد كيميائية فى عملية ازالة الملوحة بالرغم من أن بعضا من حامض الموريا تيك يستخدم فى نظام التنظيف الموضعى (أندريادیس وآرنولد ، ١٩٧٨) . وعقب عملية الانعكاسية القطبية التى تحدث كل ١٨ دقيقة على فواصل زمنية غير منتظمة وفقا لوحدة القياس يتم تطهير كل من المحلول الملحى وحجيرات الناتج . ويؤدى هذا الى ايقاف استقطاب الأغشية ويزيل القشور الكلسية (آرنولد ، ١٩٧٩) .

وتعتبر مياه التغذية المتدفقة الى الوحدة مزيجا من مياه مصادر مائية جوفيه عديدة . ويتم ترشيح المزيج عبر مرشحات ملفوفة - ١٠ ميكرون ، وتعالج عبر الرصيصائص ثم تخزن فى مستودع قبل الاستعمال . ويبلغ اجمالى الجوامد المذابة فى مزيج المياه المخفف قرابة ١٤٠٠ جزء فى المليون ، ويصل معدلها فى المياه المنتجة حوالى ٥٠٠ جزء فى المليون . ويعاد توزيع المحلول الملحى المركز، وتأتى المياه التعويضية من نبع كرايسيس، الذى يعد أكثر المصادر المائية ملوحة (اندريادیس وآرنولد ، ١٩٧٨) .

ويوفر التصميم المعيارى لوحدة كورفو - المكونة من ست وحدات قياسية متوازية يحتوى كل منها على ١٠ رصائص غشائية مرتبة فى أربعة صفوف متوازية - المرونة للوفاء بالطلب الموسمى المتغير فى المحليات، والقدرة على توفير متطلبات الصيانة فى فترات ذروة التشغيل . وتعمل الوحدة حوالى تسعة أشهر فى السنة لتلبية الطلب الأعلى فى موسم السياحة ولكنها تتوقف عن العمل خلال فصل الشتاء مما يتيح فرصة لاجراء صيانة كاملة لها .

وقد وجهت بعض مشاكل التشغيل عند بدء العمل وفى الفترة الأولية للتشغيل ، تتعلق أساسا بالرصائص والأدوات المعدنية ، والعوامل الخارجية (آرنولد ، ١٩٧٩) . فبالنسبة للرصائص الغشائية كانت هناك بعض المشاكل الأولية نظرا لأن حدوث اختلافات يسيره فى المباعدات بين الاغشية تسبب فى ضعف توزيع التدفق الهيدرولى ، وبالتالى فى بعض الانسداد في الخلايا . وقد أمكن تخفيف حدة هذه المشاكل بتركيب مباعدات ذات سمك ملائم وأكثر اتساقا .

وكانت هناك بعض المشاكل الخاصة بالمعدات فيما يتعلق بالصمامات التى تعمل بضغط الهواء بالنسبة للنظام الانعكاسى . وتم تصحيح الوضع باعادة تشكيل-قدّ بعض المعدات التى تعمل بضغط الهواء وتركيب معدات اضافية لتجفيف امدادات الهواء فى دورة الهواء المضغوط .

وخارج نطاق النظام ، نجم انخفاض الانتاج والتوزيع عن عدم وجود مياه كافية ، وكثرة انقطاع الخطوط القديمة لنظام التجميع لتغذية الوحدات بالمياه . وأسفر السبب الأخير عن زيادة الجوامد والمواد الغروية الحديدية المعلقة فى مياه التغذية بعد اجراء الاصلاحات ، وتدفق المياه فى خطوط الأنابيب من جديد ، مما تمخض عن افساد نظام الوحدة وانسداد المرشحات الملفوفة قبل الآوان .

وأجرت بلدان أخرى تجارب مكثفة على عملية الديلزة بالكهرباء هى : اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية والصين والهند ، واستحدث كل منها أغشية تبادل أيونى خاصة به وصنع جهاز الديلزة بالكهرباء .

ففى الاتحاد السوفياتى تم تركيب آلاف وحدات الديلزة بالكهرباء فى المناطق السكنية والمجمعات الزراعية والمناجم ، الا أن الاساليب الحالية للديلزة بالكهرباء لا تستخدم الا فى ظل ظروف معينة بسبب استهلاكها العالى للطاقة . وتجرى تجارب لتحديد الصلة بين الحرارة وقيم الكثافات الحالية الحرجة ، وبارامترات التدفق الهيدرودنيامى عند التركيزات المنخفضة فى المياه المتدفقة وقد اعتبرت نتائج التجربة أساسا لنموذج أقرب الى الكمال والفعالية لتشغيل بارامترات وحدات الديلزة بالكهرباء عند درجة حرارة عالية . وحدد النموذج ظروفا يمكن فى ظلها استخدام درجات حرارة مرتفعة بالنسبة للمياه المعالجة لتخفيض استهلاك الطاقة والوصول بالانتاج الى الحجم الأمثل . ويمكن تسخين مياه التغذية اما من مصادر خارجية للطاقة أو من الحرارة المطلقة فى عملية ازالة الملوحة (سماغن وآخرون ، ١٩٨٣) .

وقد أجريت تجارب مماثلة فى الصين حيث تحقق تقدم كبير فى تقنيات الديلزة بالكهرباء فى السنوات الـ ٢٠ الماضية . وأوضحت تجارب حديثة أنه

حينما تجرى ازالة ملوحـ اه بها نفس اجمالى الجوامد المذابة ولكن فى درجات حرارة مختلفة ومن نوعية مختلفة ، فى نفس جهاز الديلزة بالكهرباء فان الكثافة النهائية للتيار تتنوع بشدة . وتؤثر قيمة الكثافة النهائية للتيار بدورها ، بشكل مباشر ، فى طاقة وحدة الديلزة بالكهرباء على ازالة الملوحة وكمية المياه العذبة المنتجة وتكاليف الانتاج . ولذلك يضع الصينيون طرقا لحساب آثار مختلف نوعيات المياه ودرجات الحرارة بالنسبة للكثافة النهائية للتيار (سونغ زوتانغ وشن غوانغ ، ١٩٨٣) . وقد تساعدهم هذه التجارب على التنبؤ بأداء وحدات الديلزة بالكهرباء على المدى الطويل ، وكذلك التنبؤ بالمعالجة التحضيرية الملائمة المطلوبة .

وقد استحدث الصينيون كذلك وحدات للديلزة بالكهرباء الانعكاسية للمياه الملحة للجزر الواقعة على طول الساحل . وكانت سعة الوحدة الأولى التى انشئت فى جزيرة ميشان فى ١٩٧٨ ، ٢٠٠ م^{٣} / يوم . وحققت أداء مستقرا فى فترة أولية مداها ٥٠٠ ١ ساعة باستهلاك طاقة قدرها ٢٠ كيلو واط ساعة / م^{٣} و٠٠٠ ٣٥ جزء فى المليون من المياه المزال ملوحتها لانتاج ٥٠٠ جزء فى المليون من المياه . وحينما تم تفكيك الوحدة لم يعثر على أية قشور سواء فى أقسام التركيز أو فى قسم القطب الكهربى (الالكترود) . وبغية تخفيض النفقات وتبسيط التشغيل ، تم تعديل الوحدة فى ١٩٧٩ من شكل مكون من ١٢ مرحلة فى ثلاث مجموعات الى شكل مكون من ١٠ مراحل فى مجموعتين . وتستهلك الوحدة المعدلة طاقة قدرها ١٨ر١ كيلو واط ساعة / م^{٣} من المياه عند درجة حرارة ٣١ مئوية . من هذه الطاقة استخدم ٢ر١٥ كيلو واط ساعة فى الديلزة بالكهرباء و٩ر٢ كيلو واط ساعة فى الضخ . وتعكس قطبية الالكترودات مرة كل ٢٤ ساعة . وقد أوضحت نتائج التشغيل الميدانى ما يلى :

(أ) ان تصميم الوحدة ناجح ، وأن أداءها مستقر ، ومن الممكن حل مشكلة نقص المياه فى هذه الجزر بهذا الطراز من الوحدات .

(ب) انه باستخدام سلك تيتانيوم مطلى بالروثنيوم مثل الأنود والكاثود ، وغسل أقسام الالكترود بدفقات عالية السرعة ، وبعكس القطبية بشكل دورى ، فان الوحدة لا تحتاج الى أحماض أثناء التشغيل .

(ج) انه يتعين معالجة المياه المنتجة اذا كانت ستستخدم للشرب (سونغ شى وبى كى شن ، ١٩٨٣)

وأخيرا ، فان معهد بهافناغار المركزى لأبحاث الملح والمواد الكيميائية البحرية ، بالهند استحدث وصنع مكونات وحدة للديلزة بالكهرباء من شأنها أن تفى باحتياجات سكان الريف فى الهند . فقد أنشئت وحدة للديلزة

بالكهرباء سعتها ١٤ م^3/ يوم (٣٧٠٠ غالونا فى اليوم) واستخدمت فى قرية موتاغوخاروالا بولاية غوجارات لمدة عام واحد تقريبا . وكان عامل التشغيل قروى تدرب على تشغيلها وتولى المعهد الاشراف . وكان مصدر مياه تلك المنشأة هو بئر القرية التى يبلغ اجمالى الجوامد المذابة فى مياهها ٤٠٠٠ جزء فى المليون . وخفضت وحدة الديلزة بالكهرباء هذا المعدل الى ١٠٠٠ جزء فى المليون واستخدم القرويون المياه المنتجة فى الشرب والطهى بارتياح (راو، ١٩٨٠) .

وقد وجد المعهد أن الديلزة بالكهرباء أفضل من الأوزموزية العكسية من حيث كونها الأسلوب الأقل استهلاكا للطاقة بالنسبة للمياه التى تتدرج ملحيتها بين ١٥٠٠ و٤٠٠٠ جزء فى المليون . وقد ثبتت بالفعل الجدوى التقنية للديلزة بالكهرباء باستخدام أغشية التبادل الأيونى المعدة فى المعهد ، وساندتها التجارب الميدانية على مدى فترة طويلة . كذلك اختبرت الظروف المثلى لاستخلاص مياه منتجة من ١٠٠٠ جزء لكل مليون من حيث الطاقة وكثافة التيار والجهد الكهربى . ووجد أن المياه الضاربة الى الملوحة يتدرج اجمالى الجوامد المذابة فيها بين ١٨٠٠ و٤٠٠٠ جزء فى المليون يمكن ازالة ملوحتها لانتاج مياه صالحة للشرب باحتياجات يسيرة جدا من الطاقة تتراوح بين ٥ر٠ و١ر٢ كيلو واط ساعة/ م^3 (٩ر١ - ٧ر٩ كيلو واط ساعة لكل ١٠٠٠ غالون) (هاركير وآخرون ، ١٩٨٢) .

٥ - التكاليف المعممة لوحدات الديلزة بالكهرباء

تعتبر الديلزة بالكهرباء الانعكاسية هى الشكل السائد الآن فيما يتعلق لعملية الديلزة بالكهرباء ، اذ استأثرت بكل منشآت الديلزة بالكهرباء فى السنوات الخمس الماضية تقريبا . ولذلك فان الارقام الواردة أدناه تتعلق بمعدات الديلزة بالكهرباء الانعكاسية . وان تكلفة تحويل المياه الضاربة الى الملوحة الى ميلة عذبة بالديلزة بالكهرباء الانعكاسية ، انما هى وظيفة الجوامد المذابة الكلية ، وتركيب المياه ، ودرجة الحرارة ، وعوامل أخرى . كما أن قدرة عملية الديلزة بالكهرباء الانعكاسية على العمل فى وحدات استخلاص عالية تعالج مياه التغذية ذات التركيزات العالية من السليكا أو كبريتات الكالسيوم يمكن أن تضفى على العملية بعض مزايا هامة من حيث التكلفة قياسا بالاوزموزية العكسية . ويتضمن الجدول ٤ تكاليف المياه المنتجة من وحدات نموذجية من وحدات ازالة الملوحة بالديلزة بالكهرباء الانعكاسية ، وضعت على أساس نوعين من مياه التغذية مختلفى التركيب ويحتوى هذان النوعان من المياه على ٢٠٧٦ جزء فى المليون و ٣٤٧٥ جزء فى المليون على التوالى وتعتبر أرقام التكلفة تقديرية فيما يتعلق بوحدات من المزمع اقامتها فى الولايات المتحدة . وبوسع المرء ان يجد تحليل ومناقشة أكثر شمولا لهذه التكاليف فى ريد (١٩٨٢) وهى أساس التكاليف المستخدمة فى هذا القسم .

الجدول ٤ - الديلزة بالكهرباء الانعكاسية (أ) : تقديرات تكلفة ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة
(بآلاف دولارات الولايات المتحدة)

سعة الوحدة	٣٨٠٠ م٣ / يوم (١ مليون غالون /يوم)		١٩٠٠٠ م٣ / يوم (٥ مليون غالون /يوم)		٣٨٠٠٠ م٣ /يوم (١٠ مليون غالون /يوم)		٩٤٦٠٠ م٣ /يوم (٢٥ مليون غالون /يوم)	
نوع التغذية بالمياه	١	٢	١	٢	١	٢	١	٢
التكاليف الرأسمالية المباشرة	١٢٦٢	١٤٣٦	٥٣٤٨	٦١١٣	٩٧١٩	١١١٣٣	٢١٤٦٦	٢٤٦٣٢
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة								
الفوائد اثناء الانشاء	٢٦	٢٩	١٧٧	٢٠١	٤٥٠	٥١٠	١٢٧٧	١٤٤٧
رأس المال العامل	٥٣	٧٢	٢٦٧	٣٠٦	٤٨٦	٥٥٦	١٠٧٣	١٢٣٢
الطوارئ + اتعاب المعمار والهندسة	٢١٤	٢٤٥	٩٢٧	١٠٥٩	١٧٠٤	١٩٥٢	٣٨١١	٤٣٧٠
التكاليف الرأسمالية الكلية	١٥٥٥	١٧٨٢	٦٧١٩	٧٦٧٩	١٢٣٥٩	١٤١٥١	٢٧٦٢٧	٣١٦٨١
تكاليف التشغيل والصيانة								
الأيدى العاملة (ب)	٥٩	٥٩	١١٩	١١٩	١٤٧	١٤٧	١٨٩	١٨٩
الكهرباء (٥ كيلوواط ساعة) (ج)	٩٦	١٧٩	٤٧٩	٨٩٣	٩٥٨	١٧٨٦	٢٣٩٥	٤٤٦٤
احلال الاغشية	١٩	٢٨	٩٢	١٣٩	١٨٥	٢٧٨	٤٦٣	٦٩٥
المواد الكيميائية والمرشحات	٢٢	٢٢	٩٧	٩٧	١٦٣	١٦٣	٤٠٧	٤٠٧
مواد اخرى	٤	٥	١٧	٢١	٣٢	٣٩	٧٠	٨٨
تكاليف الصيانة والتشغيل الكلية	٢٠٠	٢٩٣	٨٠٤	١٢٦٩	١٤٨٥	٢٤١٣	٣٥٢٤	٥٨٤٣
النفقات الثابتة (د)	٢٨٠	٣٢١	١٢١٠	١٣٨٢	٢٢٢٤	٢٥٤٧	٤٩٧٣	٥٧٠٣
التكاليف السنوية الكلية	٤٨٠	٦١٤	٢٠١٤	٢٦٥١	٣٧٠٩	٤٩٦٠	٨٤٩٧	١١٥٤٦
تكلفة المياه								
دولار / م٣	٣٦ر	٤٧ر	٣١ر	٤٠ر	٢٨ر	٣٨ر	٢٦ر	٣٥ر
دولار / ١٠٠٠ غالون	(١ر٣٨)	(١ر٧٧)	(١ر١٦)	(١ر٥٣)	(١ر٠٧)	(١ر٤٣)	(٠ر٩٨)	(١ر٣٣)

المصدر: مأخوذة بتصرف من

A.S. Reed, Desalting Seawater and Brackish Waters: 1981 Cost Update op sit.

الحواشي:

بخصوص الافتراضات العامة المستخدمة فى وضع بيانات التكلفة هذه، انظر الجدول ٣ .

كافة تقديرات التكاليف بدولارات الولايات المتحدة الامريكية بأسعار ١٩٨١ .

مياه التغذية رقم ١ : اجمالى الجوامد المذابة ٢٠٧٦ جزء فى المليون - تستخدم نظام الديلزة بالكهرباء الانعكاسية على مرحلتين (مشار اليها بالمياه رقم ٣ فى ريد، ١٩٨٢) .

مياه التغذية رقم ٢ : اجمالى الجوامد المذابة ٣٤٧٥ جزء فى المليون - تستخدم نظام الديلزة بالكهرباء الانعكاسية على ثلاث مراحل (مشار اليها بالمياه رقم - ٤ فى ريد، ١٩٨٢) .

(أ) الديلزة بالكهرباء الانعكاسية، عامل الوحدة ٩٥ بالمئة، درجة حرارة مياه التغذية ٢١ درجة مئوية (٧٠ درجة فهرنهايت) .

(ب) تشمل تكاليف الايدى العاملة نسبة ٤٠ بالمئة اضافية كنفقات عامة وادارية .

(ج) الاستهلاك الكهربائي لوحدة سعتها ٣٨٠٠م٣ /يوم يقدر بـ ٥ر١ كيلوواط ساعة/م٣ (٥ره كيلوواط ساعة/١٠٠٠ غالون) فيما يتعلق بالمياه رقم ١ و ٧ر٢ كيلوواط ساعة/م٣ (٣ر١٠ كيلوواط ساعة/١٠٠٠ غالون) فيما يتعلق بالمياه رقم ٢ .

(د) يتم استرداد رأس المال على ثلاثين سنه بفائدة ١٨ بالمئة .

وقد اختير نظام للد يلزة بالكهرباء الانعكاسية مكون من مرحلتين لمعالجة المياه رقم ١ ، ونظام مكون من ثلاث مراحل للمياه رقم ٢ . وللاغراض التحليلية ، يفترض أن كلا النظامين يعملان على استخلاص من ٨٠ الى ٨٧ بالمئة ، وان كلا منهما صمم لتحقيق ناتج قدره ٥٠٠ جزء من المليون من اجمالى الجوامد المذابة .

وتزداد التكاليف الرأسمالية الكلية للد يلزة بالكهرباء الانعكاسية حسب عدد المراحل . وتأسيسا على البيانات الواردة فى الجدول ٤ ، فانه من المقدر أن التكاليف الرأسمالية الكلية تتفاوت من ٤٧٠ د ولار /م^3 /يوم (١٫٧٨ د ولار غالون /يوم) بالنسبة لـ ٣٨٠٠م^3 /يوم (مليون غالون يوميا) بنظام مكون من ثلاث مراحل لازالة ملوحة المياه التى من الصعب معالجتها (المياه رقم٢) ، الى تكاليف منخفضة قدرها ٣٣٥ د ولار/م^3 /يوم بالنسبة لنظام مكون من مرحلتين لازالة ملوحة ٩٤٦٠٠م^3 /يوم من المياه سهلة المعالجة نسبيا (المياه رقم ١) . وتتراوح تكاليف التشغيل المقدره (بدون استرداد رأس المال) لنفس الوحدات بين ٢٢ر د ولار /م^3 (٨٤ر د ولار/ ١٠٠٠ غالون) بالنسبة لنظام مكون من ثلاث مراحل لمعالجة المياه رقم ٢ ، وحد أدنى قدره ١١ر٠ د ولار/م^3 (٤١ر/ ١٠٠٠ غالون) بالنسبة للنظام الكبير الذى يعالج المياه رقم ١ .

وقد قدرت التكاليف الكلية للمياه بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة التى تزال ملوحتها بالد يلزة بالكهرباء الانعكاسية فى ١٩٨١ شاملة تكاليف التشغيل ورسوم رأسمالية وضعت على أساس كافة المدخلات الأخرى . وتتراوح التكاليف التقديرية بين حد أدنى قدره ٢٦ر د ولار/م^3 (٩٨ر د ولار/ ١٠٠٠ غالون) للوحدة الكبيرة المعالجة للمياه رقم ١ ، وحد أعلى قدره ٤٧ر د ولار/م^3 (٧٧ ر ١ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) لوحدة سعتها ٣٨٠٠م^3 /يوم (١ مليون غالون / يوم) تعالج المياه رقم ٢ .

دال - الأوزموزية العكسية

١ - خلفية تاريخية

ان ازالة ملوحة المياه بالاوزموزية العكسية ، عملية غشائية يتم فيها فصل مياه محلول ملحى مضغوط عن المواد المذابة ، وتدفقها عبر غشاء ملائم . وعلى الرغم من أن الضغط الاوزموزى مرتبط مباشرة بالعملية ككل ، فان الاوزموزية العكسية ليست كما قد يلوح ضمنا من الاسم -أوزموزية معكوسة (سوريراجان ، ١٩٨٠) . وقد استكشفت الظواهر الغشائية على مدى سنوات عديدة ، مثال ذلك التجارب التى اجراها أبى نوليه على الانتشار من خلال الاغشية الحيوانية ، التى نشرت عام ١٧٤٨ . الا انه حتى وقت قريب ندر أن تم حتى مجرد النظر فى استخدام تلك الأغشية فى معالجة المياه .

وفي أوائل الخمسينات أجريت تجارب تحت اشراف وزارة الداخلية الأمريكية ، أوضحت أن أغشية خلات السليولوز المعدة اصطناعيا لها خواص رفض الملح وانفاذ الماء ، الامر الذى جعلها ذات جاذبية ممكنة بوصفها أغشية شبة مسامية لاغراض ازالة الملوحة (شركة الانظمة الغشائية ، ١٩٨٢) . وقد أوضح ريد وبريتون أثناء عملهما فى جامعة فلوريدا فى أوائل الخمسينات أن أغشية خلات السليولوز يمكن استخدامها فى ازالة ملوحة المياه . وأنتجا غشاء شوبطيا غليظ القوام له خواص جيدة من حيث رفض الملح الا أن المياه تنساب من خلاله ببطء* (بريتون ، ١٩٥٧) . وقد حدث هذا فى نفس الوقت تقريبا الذى تم فيه العمل بالد يلزة بالكهرباء على المستوى التجارى فى الولايات المتحدة بواسطة شركة أيونيكس المحدودة فى بوسطن، ماساتشوستس .

وفي وقت لاحق فى الخمسينات ، أجرى سيدنى لوب وس . سوريراجان بحوثا فى جامعة كاليفورنيا لمعالجة الأغشية الرديئة المسام بحيث يتم تغيير أحد أسطحها وانتاج غشاء يجمع بين خاصية رفض الملح وتحقيق الحد الاقصى لتدفق المياه . وانتهت البحوث الاخرى التى أجراها سوريراجان وأخرون بانتاج غشاء غير متماثل مكون من خلات البسليولوز كان بمثابة قاعدة الاساس لتنمية الاوزموزية العكسية تجاريا بوصفها عملية لازالة الملوحة (لوب وسوريراجان ، ١٩٦١) وفى أواخر الستينات غدت مجموعة كبيرة من الأغشية متاحة بالفعل أو فى سبيلها الى الخروج من المعامل الى الاسواق التجارية . وكان الشكل العام ومراقبة الجودة هما المشكلتين الكبيرتين اللتين يوجههما صانعو الاغشية الاوائل . فقد كان عليهم أن يجدوا طريقة عملية لدعم وتشكيل الغشاء بحيث يسمح له بمقاومة الضغوط العالية المتضمنة (الغلاف الجوى ٢٧ - ٦٨) (٤٠٠ الى ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة) بينما يسمح للماء بالمرور من خلاله . وكانت هناك أيضا مشكلة كيفية الحفاظ على جودة الغشاء اثناء نقله من المختبر الى الانتاج التجارى ، وهى مشكلة مستمرة حتى اليوم (باريت، ١٩٨٢) .

وقد كانت أغشية الاوزموزية العكسية الاولى عبارة عن الواح صغيرة فى حجم ورق الكتابة ، ثم تطورت الى الوحدة المعيارية المكونة من لوح واطار: رصيصة من أغشية مزدوجة ، يفصل بين كل زوجين منها فلكات لدائنية منسوجة (باريت ١٩٨٢) . وفيما بين ١٩٦٦ و ١٩٦٨ كانت أنظمة ازالة الملوحة التى تستخدم الاغشية التى تأخذ شكل اللوح والاطار والشكل الانبوبى والشكل الحلزونى متاحة للاستعمال التجارى . ومن بين الاشكال الثلاثة ثبت أن الشكل الحلزونى أقدر

---

* التدفق الغشائي : كمية المياه التى يمكن أن تمر من خلال مساحة معينة من الأغشية فى وحدة زمنية محددة . ويعبر عنها عادة بـ سم^3 / سم^2 / ثانية (غالون / قدم مربع / يوم) .

على البقاء تجاريا وتطور الى حد كبير على يد شركة جنرال أتوميك المحدودة (الشركة العالمية للمنتجات البترولية حاليا) فى سان دييغو بكاليفورنيا بموجب عقد مع مرفق المياه الملحة بالولايات المتحدة.

وعملت شركات كيميائية كبيرة على استحداث أغشية من الالياف الدقيقة المجوفة. وفى أوائل السبعينات، قامت شركة أ. أ. د.وبون نيمور وشركاه، بادخال أغشية قابلة للبقاء والبدء من انتاجها تجاريا باستعمال مادة متعددة الأميد وغير متماثلة. وقد وجهت جهود شركة دوو للمواد الكيميائية أثناء تلك الفترة الى الانتاج التجارى لاغشية قاعدتها ثلاثى خلات السليولوز.

وتعتبر الأغشية الحلزونية والاغشية المصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة، هى بوجة عام، الاكثر استخداما تجاريا بشكل متواتر، وهى متوفرة على نطاق واسع لازالة ملوحة المياه بغية جعلها صالحة للشرب. ذلك أنه بوضع كمية كبيرة من الاغشية فى وعاء صغير، مع دعم الاغشية الهشة حتى يمكن استخدام ضغوط التغذية العالية (ما يصل الى ٦٨ غلاف جوى أو ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة)، تستطيع الشركات الصانعة للانماط المعيارية من الالياف المجوفة والانماط الحلزونية الملفوفة المضى فى تطبيقاتهم لانتاج الاف الغالونات فى اليوم. وتشكل هذه الانماط المعيارية تقدما كميا على الأنظمة الاصلية ـ اللوح والاطار ـ التى لاتستطيع انتاج سوى بضع غالونات من المياه فى اليوم (باريت، ١٩٦٢). وفى أوروبا، أمكن استحداث شكل محسن من النظام الذى يستخدم اللوح والاطار بيد أنه لايستخدم استخداما رئيسيا فى الوقت الحاضر. ولاتزال الأغشية الانبوبية تنتج بكميات صغيرة لاستعمالها فى نواح خاصة تشمل عادة معالجة المياه المستعملة، ولكنها لاتنتج على نطاق واسع.

وقد أنتجت الأغشية، لدى استحداثها، انتاجا تجاريا لازالة ملوحة المياة الضاربة الى الملوحة فقط. وتحتاج الاغشية الخاصة بمياه البحار الى ضغط أعلى بكثير وامكانيات لرفض الملح، كما ان استحداثها استغرق وقتا اطول. فقد استحدثت على المستوى التجريبى فى السبعينات واقيمت بضع وحدات صغيرة للبيان العملى. وخلال الفترة ١٩٧٧ - ١٩٧٨ بدأت شركات عديدة فى انتاج أغشية لمياه البحار بكميات تجارية مستخدمة اما أغشية مصنوعة من الياف دقيقة مجوفة متعددة الأميد أو مؤلفة من أشرطة رقيقة حلزونية الشكل. ويرد فى المرفق الثالث ادناه وصفا للجوانب التقنية والهندسية للازموزية العكسية.

وتتمثل أكبر المنشآت الآن فى وحدة سعتها ٢٠٠٠ر٠٠٠ م^3/يوم (٣ر٥ مليون غالون فى اليوم) تولت اقامتها حكومة مالطه، تستخدم أغشية مصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة، وحدة سعتها ١٢ر١٠٠ م^3/يوم (٢ر٣ مليون غالون فى اليوم) فى جده، المملكة العربية السعودية، ووحدة سعتها ٣٠٠٠ م^3/يوم

(٨ر مليون غالون في اليوم) في بونتا مورون ، بفنزويلا تستخدم الالياف الدقيقة المجوفة . وقد بدأ تشغيل تلك الوحدات في ١٩٨٢ ، و ١٩٧٨ ، و ١٩٨٠ على التوالي .

٢ - اعتبارات تقنية

تطورت عملية الاوزموزية العكسية لتصبح وسيلة عملية قابلة للتطبيق في ازالة ملوحة كل من المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار . وبحلول عام ١٩٨١ ، استخدمت فيما يزيد على ٦٣ بلدا بسعة قصوى مقررة تزيد على ٠٠٠ر٤٧٥ر١م^{3}/يوم (٣٩٠ مليون غالون في اليوم) في كل من الاستعمالات الصناعية والمحلية .

وتستخدم أشكال الأغشية الملفوفة الحلزونية والاغشية المصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة ، على السواء ، على نطاق واسع في ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار . وهناك ١٤ سنة تقريبا من الخبرة التجارية في استعمال تلك الاغشية بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة وحوالى ست سنوات بالنسبة لمياه البحار وقد ثبتت بما فيه الكفاية موثوقية الوحدات الخاصة بالمياه الضاربة الى الملوحة المصممة والمركبة والمشغلة على الوجه الأمثل . ولا يزال جاريا تجميع بيانات عن المنشآت الخاصة بمياه البحار . وتتراوح سعة الوحدة الاوزموزية العكسية النموذجية بين ٧٦٠ و ٢٣٠٠ م^{3} /يوم (من ٢ر الى ٦ر مليون غالون للمتر) . ويمكن بناء الوحدات بأى حجم تقريبا بالنظر الى التنويع الواسع لاحجام الاغشية (والسعات) المتاحة . وتبلغ سعة الوحدة الغشائية المعيارية المستخدمة بوجة عام في الوحدات الكبيرة ٧٦٠م^{3} /يوم (٢٠٠٠٠ غالون في اليوم) ومن السهل تجميع وحدات بمضاعفات هذه السعة .

ومن السهل تجميع المكونات الرئيسية لوحدة أوزموزية عكسية في مصنع ثم شحنها الى موقع الوحدة الذى ستجمع فيه . وتعمل الوحدات بوجه عام تحت ضغط غلاف جوى ١٧ - ٣٠ (٢٥٠ - ٤٥٠ رطلا للبوصة المربعة) بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة ومن ٥٤ الى ٦٨ غلاف جوى (٨٠٠ الى ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة) بالنسبة لمياه البحار . ويتمثل المطلب الرئيسي للطاقة اللازمة لهذه الوحدة في مضخة لانتاج هذا الضغط العالى .

ويبلغ العمر المحدد للاغشية ، في ظل الظروف المؤاتية ، حوالى خمس سنوات للمياه الضاربة الى الملوحة ، وثلاث سنوات أو أكثر لمياه البحار . وفي ظل الظروف غير المؤاتية يمكن أن ينخفض عمر الغشاء الى بضعة شهور . وقد ووجهت مشاكل رئيسية خاصة بالاتساخ والاضرار الأخرى التي تلحق بالاغشية فتقصر من عمرها أو تغير ، على نحو غير موات ، خواصها المتعلقة برفض الملح أو بانسياب الماء عبرها . وتتعلق تلك المشاكل بوجه عام بمياه التغذية والمعالجة التحضيرية و/أو مواد التشييد .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

حقق الاستعمال التجارى للأوزموزية العكسية نموا سريعا منذ أوائل السبعينات . وظهرت الأغشية الحلزونية والاغشية المصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة بوصفها الاشكال الأكثر قابلية للبقاء تجاريا فى مجال الانتاج الكبير الحجم للمياه الصالحة للشرب. وتوجد الآن هيئة لها خبرة بالاغشية الخاصة بالمياه الضاربة الى الملوحة . وقد ظلت بعض الوحدات تعمل طيلة ١٠ سنوات مدللة بذلك على أنه من الممكن اطلة بقاء الاغشية . وقد ثبت أن استعمال الاوزموزية العكسية فى ازالة ملوحة مياه البحار قابلة للتطبيق تجاريا فى السنوات الأخيرة مع انشاء بعض الوحدات الكبيرة واستحداث أغشية جديدة . وفيما يلى موجز للتحسينات الرئيسية التى تمت فى السنوات الاخيرة .

(أ) الاوزموزية العكسية بالنسبة للمياه الملحة

تمثل التطور التكنولوجى الكبير للاوزموزية العكسية فى العقد الأخير فى استخدامها التجارى فى ازالة ملوحة المياه التى يتراوح اجمالى الجوامد المذابة فيها من ١٠٠٠٠ الى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون . وقد استخدمت الاغشية المصنوعة من الالياف الدقيقة المجوفة والحلزونية فيما يتعلق بمعالجة مياه البحار فى منتصف السبعينات واستخدمت فى استعمالات متنوعة لازالة الملوحة . ولا توجد بيانات تشغيلية كافية لتأكيد العمر المتصور لاغشية مياه البحار، ولكن أغلب الشركات الصانعة تقدم ضمانات مدتها ثلاث سنوات على الأقل بالنسبة لاغشية مياه البحار المركبة فى وحدات مصممة ومشغلة بصورة ملائمة، وهناك منشآت تجاوزت هذا العمر. ويتضمن المرفق الثالث أدناه تفاصيل استعمالات الاوزموزية العكسية لمياه البحار.

ومع تركيب عدد من الوحدات فى أوائل الثمانينات تتراوح سعتها بين ٤٠٠٠ و ١٢٠٠٠ م^3/يوم (من ١ر١ الى ٢ر٣ مليون غالون فى اليوم) تكتسب الشركات الصانعة الآن خبرة فى التشغيل التجارى لوحدات الاوزموزية العكسية لمياه البحار . ولما كانت اغلبية الانشاءات تخص وحدات المياه الضاربة الى الملوحة فان المسائل الرئيسية تتوقف على مواد الانشاء، والمضخات، والتشغيل الطويل الاجل لمضخات الضغط العالى .

(ب) الوحدات الكبيرة الحجم

يجرى حاليا تصميم وبناء وحدات الوزموزية العكسية التى تتراوح سعتها بين ٨٠٠٠ و٢٠٠٠٠م^3 (من ٢ الى ٣ر٥ مليون غالون فى اليوم) على نحو نمطى

لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار . على السواء وقد اقيمت مرافق الاوزموزية العكسية لمياه البحار فى فنزويلا ومالطه والمملكة العربية السعودية والولايات المتحدة الامريكية . وانشئت وشغلت وحدات أوزموزية عكسية للمياه الضاربة الى الملوحة لمعالجة ما يصل الى ٦٠٠٠٠ م^{3}/يوم (١٦ مليون غالون فى اليوم) ويجرى تصميم وتشييد وحدات تعالج ما يصل الى ٣٧٠٠٠٠ م^{3}/يوم (٩٨ مليون غالون فى اليوم) .

(ج) تطوير الاغشية

حدث تطور كبير فى تكنولوجيا الاغشية التجارية . وتوجد الآن أغشية متنوعة للغاية متاحة للاستخدام بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحار على السواء من الشكلين الشهيرين : الالياف الدقيقة المجوفة ، والحلزونى وكذا من التصميمات الأقل استعمالا التى تأخذ شكل اللوح والاطار ، والانبوبية .

وقد وفر الانتاج الواسع الانتشار للاغشية المؤلفة من أشرطة رقيقة منذ ١٩٧٨ تقريبا ، عائلة جديدة من الاغشية يمكن أن تتنوع خواصها من حيث رفض الملح والمقاومة الكيميائية وانسياب المياه عبرها لتلبى استخدامات معينة . واستخدمت بنجاح تلك الأنماط من الاغشية التى تنتج حاليا فى الشكل الحلزونى فى معالجة مياه البحار والمياه الضاربة الى الملوحة والمياه المستعملة . وأظهرت هذه الإغشية قدرات أكبر على تحمل التغذيات المرتفعة الحرارة ، ودرجة تركيز ايونات الهيدروجين المرتفعة والمنخفضة ، والاتساخ العضوى (ماتسون ولوند ستروم ١٩٧٩) .

وقد ظهرت فى الاسواق بأحجام تجارية منذ ١٩٨٢ تقريبا الاغشية التى تعالج المياه الضاربة الى الملوحة عند ضغط منخفض تماما يتراوح بين ١٣٫٦ و ١٧ غلاف جوى (٢٠٠ الى ٢٥٠ رطلا للبوصة المربعة) . وتعمل منشأه سعتها ٣٨٠٠ م^{3}/يوم (١ مليون غالون فى اليوم) بنجاح فيما يبدو منذ أوائل ١٩٨٣ فى فينيسيا وفلوريدا .

ومن بين التطبيقات الهامة التى استعملت فيها أغشية مؤلفة من أشرطة دقيقة : وحدة لمياه البحار سعتها ١٢٠٠٠ م^{3}/يوم (٣٫٢ مليون غالون فى اليوم) فى جده بالمملكة العربية السعودية ومنشأة لمعالجة النفايات الصناعية فى مصنع لصباغة النسيج فى بنسلفانيا ووحدة لمعالجة المياه المستعملة سعتها ٩٥٠٠ م^{3}/يوم (٢٫٥ مليون غالون فى اليوم) للاستعمال فى محطة لتوليد الطاقة فى نيومكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية .

ومن بين التحسينات الأخرى الخاصة بالاغشية ، انتاج أغشية رطبة جافة

يمكن شحنها جافة (ولكن دون اختبار) الى موقع الوحدة، وبذلك ينخفض الوزن واحتمالات التحلل البيولوجي. وقد بذلت بعض الانشطة الرامية، الى انتاج اغشية من أنماط أكبر حجما، مثل الاغشية الحلزونية البالغ قطرها ٣٠ سم (١٢ بوصة) سعيا الى تخفيض التكاليف الاجمالية.

(د) استرداد الطاقة

ادت الضغوط العاليه (٥٤ - ٦٨ غلاف جوى أو ٨٠٠ - ١٠٠٠ رطل على البوصة المربعة) التى تتطلبها الاوزموزية العكسية لمياه البحار الى التشجيع على اجراء استقصاء حول استخدام مختلف أنظمة استرداد الطاقة للاستفادة من جزء كبير منها فى التخلص من الملح من تيار المحلول الملحى. ذلك أن حجم الفاقد من الضغط بين مياه التغذية وتفريغ المحلول الملحى فى نموذج للاغشية المعيارية الخاصة بمياه البحر يكون عادة ١ر٥ الى ٣ غلاف جوى (٢٢ - ٤٤ رطلا على البوصة المربعة) ويفرغ تيار المحلول الملحى فى الغالب عند حوالى ٥٤ غلاف جوى (٨٠٠ رطل على البوصة المربعة) وتم التسليم منذ أمد طويل أن حوالى ٧٠ بالمئة من المحلول الملحى الذى يفرغ عند هذا الضغط العالى انما هو بمثابة تبديد كبير للطاقة. الا أن هذه المشكلة لم تعالج تجاريا حتى أصبحت الاوزموزية العكسية لمياه البحار قابلة للتنفيذ على نطاق واسع.

وهناك امكانية عالية لاسترداد الطاقة، وقد يكون من الممكن الحصول على طاقة مستردة تصل الى (٢ر٦ كليوواط ساعة/م^3 (١٠ كليوواط ساعة/١٠٠٠ غالون) من المياه المنتجة. وقد جربت مجموعة متنوعة من أجهزة استرداد الطاقة مثل التوربينات الدافعة (بيلتون)، والمضخات العكسية الدوران وأجهزة التسييل فيما يتعلق بهذا النوع من الاستعمال. ويمكن أن تستخدم هذه الاجهزة الضغط العالى لتيار المحلول الملحى لانتاج طاقة (بالتدوير أو بطريقة أخرى) يمكن أن تستخدم فى اطلاق طاقة عمود التدوير الى المضخة الرئيسية، وتشغيل مولد لتوفير الطاقة الكهربائية، أو خفض كمية الطاقة الاضافية اللازمة لايجاد الضغط الاولى لمياه التغذية. واقترح كذلك نوع جديد من التوربينات معروف بالتوربين الثنائى الطور لاسترداد الطاقة فى أنظمة الاوزموزية العكسية.

وتقدم حاليا شركتان للمضخات، على الاقل، أزواج من المضخات التوربينية الرأسية للاوزموزية العكسية، وتعمل المضخة الثانية كجهاز لاسترداد الطاقة. وتتعلق التكاليف الاضافية بالمضخة الثانية اساسا. وتوفر الانظمة قدرات على استرداد الطاقة تتراوح بين ٧٠ و ٩٠ بالمئة حسب حجمها. وبأسعار الطاقة فى ١٩٨١ يمكن لتلك الاجهزة أن تخفض المياه الخالية من الملوحة بما يتراوح بين ١٠ و ٢٠ بالمئة لوحدة سعتها ٩٠٠ر١م^3/يوم (٥٠٠٠٠٠ غالون فى اليوم) (أندين، ١٩٨١).

٤ - التطبيق في البلدان النامية

ان مبادئ تشغيل وحدة الاوزموزية العكسية واضحة نسبيا . بيد أن نجاحها النهائي يتوقف على التنمية المناسبة لمصدر المياه الاولى وانتقاء المعدات المناسبة والمعالجة التحضيرية السليمة والتشغيل الحذر . ويمكن أن تحدث مشاكل اذا نقص أي واحد من هذه العوامل .

ويحتاج تشغيل الوحدة الى ملاك قادر على تشغيل وصيانة المحركات والمضخات، وخلط المواد الكيميائية وقراءة العدادات والرسوم البيانية وصنع قرارات بسيطة نسبيا خاصة بالعملية تقوم على أساس هذه القراءات .

ويمكن أن تتأثر معدات الأوزموزية العكسية على نحو معاكس بالاهمال المقرون بالمعاملة التحضيرية غير الكافية لمصدر المياه الاولى ، واضافة المواد الكيميائية وضبط التدفقات وما الى ذلك . ويمكن أن تتسخ الاغشية بسرعة ولا تقوم بأداء وظيفتها ، وقد يتطلب خطأ خطير احلال كل أو بعض الاغشية .

وبالرغم من أن احلال الاغشية قد يكون مكلفا ، فانه يتعلق بجزء من الوحدة يتوقع أن لا يتجاوز عمره من ثلاث الى خمس سنوات في ظل الظروف المؤاتية . ولذلك فانه ربما يكون من الممكن تحمل احدى الكوارث ماليا . ومن جهة أخرى فانه اذا حدثت كارثة في وحدة تقطير فان تكاليف الاصلاح قد تكون أعلى بكثير، خاصة وأن المعدات تقام عادة لتستمر من ١٥ الى ٢٠ سنة .

وتنشأ احدى مزايا الاوزموزية العكسية من تكنولوجيتها اللامركزية المعيارية ويمكن لشبكات الاوزموزية العكسية اللامركزية الصغيرة أن تتجنب بعض التكاليف الضخمة أساسا اللازمة لنقل المياه من وحدة التجهيز المركزية أو اليها .ويعني انشاء شبكات الاوزموزية العكسية المعيارية انه من الممكن تركيب وحدة صغيرة بداءة واضافة طاقة اضافية بسهولة على نحو ما يمليه الطلب على المياه والاموال . ويتيح هذا للبلدان النامية أن تنمي مصادر مائية متمركزة محليا بدلا من الاستثمار في مشاريع الموارد المائية التقليدية المركزية مع اقامة شبكات توزيع واسعة .

واذا نحينا جانبا وحدات الاوزموزية العكسية الكبيرة المشار اليها فيما سبق ، فان العمل يجرى في البلدان النامية بشبكات الاوزموزية العكسية الصغيرة الحجم، اما المناطق الريفية كمجتمعات الصيد المحلية على طول السواحل البحرية أو في مناطق نائية باستخدام مياه آبار ضاربة الى الملوحة . وأقيمت شبكات صغيرة للاوزموزية العكسية لمياه البحار في منطقتي البحر المتوسط والكاريبي للاستخدام بالدرجة الاولى خلال الموسم السياحي .

وركزت أنشطة حديثة في الشرق الاوسط بعض الاهتمام على الاوزموزية

العكسية كخيار آخر قابل للتطبيق لاستخدامه كجزء من المحاولات الرامية الى تلبية احتياجات المنطقة من المياه . وحتى عام ١٩٧٩ تقريبا لعبت الاوزموزية العكسية دورا متواضعا الى حد ما في برنامج ازالة الملوحة في المملكة العربية السعودية وكانت قاصرة تقريبا على استعمالات المياه الضاربة الى الملوحة والوحدات التي لاتزيد سعتها على ٣٨٠٠ م^3/يوم (١ مليون غالون في اليوم) . الا أنه مع اتمام وحدتي جده والرياض تبدل الموقف، ويتوقع المراقبون أن وحدات سعتها من ١٩٠٠٠ الى ٩٥٠٠٠ م^3/يوم (٥ الى ٢٥ مليون غالون في اليوم) سيتم باقامتها في اوائل الثمانينات . وفي عام ١٩٨٣ كان اجمالي الطاقة الانتاجية لكافة وحدات ازالة الملوحة في المملكة العربية السعودية ٢ر٥ مليون م^3 / يوم (٦٦٠ مليون غالون في اليوم) تقريبا من بينها ٥٠٠٠٠٠ م^3/يوم (١٣٠ مليون غالون في اليوم) أنتجتها وحدات الاوزموزية العكسية .

وكانت أول وحدة كبيرة للاوزموزية العكسية لمياه البحار في المملكة العربية السعودية عبارة عن منشأة سعتها ١٢٠٠٠ م^3/يوم دخلت حيز التشغيل الكامل في جده في كانون الثاني/يناير ١٩٧٩ . والمنشأة مقامة في موقع على ساحل البحر الأحمر وتحصل على امداداتها من المياه الاوليه من مدخل لمياه البحر بعيدا عن الشاطئ . وهي وحدة تعمل على مرحلتين باستخدام أغشية دقيقة وحلزونية ملفوفة . وبعد مرور المياه عبر الاغشية، تعالج المياه المنتجة بالكلور للتطهير، باضافة الكالسيوم بكميات متوازنة ثم تنقل المياه الى شبكة التوزيع الخاصة بمدينة جده .

وبغض النظر عن وحدة مياه البحار في جده، فان اغلب وحدات الاوزموزية العكسية في المملكة العربية السعودية عبارة عن وحدات صغيرة سعتها ٥٠٠ م^3/يوم (١٣ر مليون غالون في اليوم) أو أقل تستخدم في ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة أو خدمة المجتمعات المحلية الصغيرة أو الفنادق أو المستشفيات أو الصناعة وأقيم حول مدينة الرياض عدد من وحدات الاوزموزية العكسية الأكبر لمعالجة المياه الجوفية في الابار المحلية والقريبة . واجريت دراسات خاصة بأداء وحدة سالبوخ من تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٧٩ الى كانون الثاني/يناير ١٩٨٢، وأداء وحدة بيوايب من تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٨٠ الى كانون الثاني/يناير ١٩٨٢ (فوتشيك ١٩٨٣) .

وقد عملت وحدة سالبوخ التي تبلغ سعتها ٣٨٠٠٠ م^3/يوم (١٠ مليون غالون في اليوم) على نحو طيب للغاية، بوجه عام، خلال فترة الدراسة . وحدثت حالات توقف قليلة كانت في الاساس نتيجة لعدم تسليم المواد الكيميائية . وكان سجل سير عمل الوحدة وفقا للخطة جيدا بشكل ملحوظ، ٩٨ر٩ في المئة . وبلغ استرداد المياه في وحدة الاوزموزية العكسية ٨٨ في المئة بينما كان اجمالي استرداد الوحدة للمياه/ ٨٧ر٤ في المئة .

ولم تعمل وحدة بيوايب البالغ سعتها ٠٠٠ ٤٥ م^{3} /يوم (١٢ مليون غالون في اليوم) على نحو طيب مثل وحدة سالبوخ . وترجع الاسباب الرئيسية لذلك الى نقص الامدادات الكافية من المياه الاولية والى الصعوبات التقنية التى أخرت البدء واعاقت الاداء . وشملت تلك الصعوبات صمامات تصريف غير سليمة وخراطيم مسربة للضغط العالى وسوء اداء العدادات . واسفرت تلك المشاكل عن سير المصنع وفق الخطة بنسبة ضعيفة الى حد ما هى ٧ر٧٨ فى المئة والى ملوحة مرتفعة الى حد ما فى محتوى المياه المنتجة (حوالى ١٠٢٠٠ جزء فى المليون) وفضلا عن ذلك فان تكاليف المياه فى وحدة بيوايب كانت أعلى بكثير منها فى وحدة سالبوخ بالنسبة للمياه الاقل جودة (فوتشسيك ، ١٩٨٣) .

وبدأت شركة عربية سعودية فى صناعة شبكات الاوزموزية العكسية . وأنشأت تلك الشركة ، " الكوثر لمعالجة المياه فى جده"، مؤسسة فرعية فى كاليفورنيا ، وهى تستفيد من نقل التكنولوجيا بين الولايات المتحدة والمملكة العربية السعودية الذى يفى باحتياجات سوقها من معدات ازالة الملوحة فى العالم العربى .

وباستطاعة الشركة الجديدة تصميم وصناعة وحدات أوزموزية عكسية معيارية كبيرة وصغيرة من ٢٥ الى ١٠٠٠ م^{3} /يوم (٦٠٠ر٦ غالون الى ٢٦ر مليون غالون فى اليوم) للاستعمالات المحلية والصناعية وكذا فى الفنادق والمستشفيات ومعسكرات التشييد والعمليات الصناعية العالية النقاوه ومعالجة المياه الملوثة واعادة استعمال المياه فى الزراعة .

وفى عام ١٩٧١ ، أنشأت حكومة المكسيك لجنة مركزية لتوجيه برامجها الخاصة بازالة الملوحة . وقد نقلت هذه اللجنه المعروفة أصلا باسم لجنة تحسين المياه الملحة ، كجزء من عملية حكومية لاعادة التنظيم ، وسميت من جديد باسم الادارة العامة لتحسين المياه الملحة والطاقة الشمسية .

وخلال السبعينات قامت هذه اللجنة بتجميع وتركيب حوالى ١٩ وحدة أوزموزية عكسية سعتها ١٥ م^{3} /يوم (٤٠٠٠ غالون فى اليوم) فى المجتمعات المحلية الريفية ، بنيت بمواد محلية نسبتها ٦٥ فى المئة مع استخدام أغشية مستوردة . واجرت اللجنة تجارب على صناعة أغشية أنبوبية للوحدات الصغيرة الحجم . وعملت كذلك فى تجميع وحدات حلزونية ملفوفة . وتعتبر وحدات الاوزموزية العكسية هذه رخيصة نسبيا ومتضامة ولا تحتاج الى بنيه اساسية كبيرة . كذلك قامت اللجنة ببناء وحدة للمياه البحر سعتها ٣٠ م^{3}/ يوم (٨٠٠٠ غالون فى اليوم) فى سانتا روزاليتا ، ووحدة مماثلة سعتها ٣٠ م^{3}/ يوم (٨٠٠٠ غالون فى اليوم) فى كوزوميل لمعالجة المياه الضاربة الى الملوحة والمياه الملوثة . وتستتخدم كلا الوحدتين شبكات للأغشية من طراز اللوح والاطار ، وأقيمتا وفقا لاتفاق تعاون تقنى بين ألمانيا (جمهورية - اتحادية) والمكسيك . ووفقا للأرقام المكسيكية (جيبس، ١٩٨٢) يمكن للوحدات

الصغيرة الحجم أن تنتج مياها عذبة بسعر ٠ر١ دولار تقريبا للمتر المكعب (٠ر٢ دولار للألف غالون) بالمقارنة مع وحدات الوميض المتعدد المراحل الأكبر ((٠٠٠ ١ م^{٣} / يوم) (٢٦ر مليون غالون فى اليوم)) التى تنتج مياها بسعر ٠ر٥٤ دولار للمتر المكعب (١٧ دولارا / ٠٠٠ ١ غالون) . وقد عجلت التكاليف المنخفضة للأوزموزية العكسية باستخدامها فى المجتمعات المحلية فى المكسيك والبلدان الجافة الأخرى .

كذلك ابتكرت المكسيك استعمال الطاقة الشمسية فى ازالة الملوحة . وكانت وحدة أوزموزية عكسية من الطراز البدائى تعمل بالطاقة الشمسية فى قرية كونسيبسيون ديل أورو الجبلية منذ أيار/ مايو ١٩٨٠ . ويعتبر انشاء وحدات للطاقة الشمسية كهذه باهظة التكاليف بيد أن تكاليف التشغيل منخفضة للغاية أساسا . وسوف تكون هذه الوحدات تنافسية فقط فى المناطق النائية حيث تكون تكاليف احضار الوقود التقليدى (الديزل) عالية جدا ويتمثل السبيل الى استخدام وحدات الأوزموزية العكسية الشمسية بنجاح فى المناطق النائية فى انتاج وحدة يعول عليها للغاية وتستلزم قدرا ضئيلا من الصيانة . ومن غير المعروف بالتأكيد ما اذا كان انشاء وحدات لازالة الملوحة بواسطة الادارة العامة لتطوير المياه الملحة والطاقة الشمسية قد وفرت لهما الأموال بالفعل ، ولكنها أتاحت لهما بالتأكيد فرصة لتخفيض الحاجة الى القطع الأجنبى وتنمية التكنولوجيا وأساليب الانتاج داخل بلديهما . ويمكن أن يكون لهذا وحده قيمة كبيرة .

ويجرى بناء أكبر وحدة فى العالم فى " يوما " بأريزونا ، بمقتضى اتفاق بين حكومتى الولايات المتحدة والمكسيك . وتستهدف هذه الوحدة البالغ سعتها ٠٠٠ ٣٧٠ م^{٣} / يوم (٩٨ مليون غالون فى اليوم) تخفيض ملوحة مياه نهر كولورادو التى تدخل الى المكسيك لاستعمالها بعد ذلك فى الزراعة فى ذلك البلد . ومن المقرر أن تنتج الوحدة مياها يتراوح اجمالى الجوامد المذابة فيها بين ٣٠٠ الى ٦٠٠ جزء فى المليون عند موقع دخول النهر الى المكسيك .

ولسوء الحظ ، انه بسبب الاستقطاعات الكبيرة فى ميزانية مشاريع ازالة الملوحة فى الولايات المتحدة ، لم تنته عملية بناء وحدة يوما . وسيستمر العمل فيها فى ١٩٨٣ و١٩٨٤ ، بيد أن العمل فى بناء المرفق الذى ستوضع فيه معدات ازالة الملوحة لن يبدأ قبل عام ١٩٨٥ وسيتأخر التشغيل الكامل حتى ١٩٨٨ أو ١٩٨٩ . ومن جهة أخرى فانه نظرا لأن عام ١٩٨٣ كان غزير الامطار فان ازالة ملوحة مياه النهر لم تكن لازمة حتى اذا كان انشاء الوحدة قد تم فى الموعد الأصلى (تقرير ازالة ملوحة المياه ، ٧ نيسان/ أبريل ١٩٨٣) .

٥ - التكاليف المعممة لوحدات الأوزموزية العكسية

لا يمكن التنبؤ بدقة بالتكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل فيما يتعلق بنظام الأوزموزية العكسية بدون معرفة التفاصيل الخاصة بأغراض الاستعمال المحددة . ففى غالبية الحالات سوف تتحدد عناصر تكلفة الأوزموزية العكسية الى حد كبير حسب موقع الوحدة وسعتها ومعدل الجوامد المذابة فى مياه التغذية ونوعية المياه المطلوب انتاجها .

وتتسم عملية الأوزموزية العكسية بوجه عام بانخفاض تكاليفها الرأسمالية عنها بالنسبة لوحدات التقطير المماثلة لها فى الحجم . وعلاوة على ذلك فان وحدة الأوزموزية العكسية ستستهلك بوجه عام طاقة أقل من وحدة تعمل بالوميض المتعدد المراحل الوحيد الهدف . ومن الممكن تخفيض استهلاك الطاقة بدرجة أكبر اذا استخدمت أساليب استرداد الطاقة . وتحتاج وحدة سعتها ٠٠٠ ١٩ م^{٣}/ يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) تقريبا من ٩ر٧ الى ٦ر١٠ كيلو واط ساعة/ م^{٣} من المياه العذبة المنتجة استنادا الى نسبة استرداد قدرها ٣٠٪ فى الظروف القياسية (بوهلند ، ١٩٨٠) . والمطلب الرئيسى للطاقة خاص بالضخ بضغط عال الى الأغشية بالرغم من أن الطاقة ضرورية لوظائف الوحدة الأخرى مثل ضخ مياه التغذية وخلط المواد الكيميائية وضخها والاضاءة ومراقبة الأحوال المناخية وضخ المياه المنتجة . تستخدم الكهرباء بوجه عام بوصفها المصدر الأساسى للطاقة ، بيد أن هناك مصادر أخرى تستخدم مثل محركات الديزل أو المحركات البخارية المزودة بوسائل آلية مباشرة لادارتها .

ومع تنمية مرافق الأوزموزية العكسية الخاصة بمياه البحر تتراوح سعتها بين ٠٠٠ ٤ و٠٠٠ ٢٠ م^{٣}/ يوم (١ر١ الى ٣ره مليون غالون فى اليوم) ، فانه تجرى مناقشات كثيرة حول ما اذا كانت الأوزموزية العكسية ستحل أيضا محل التقطير فيما يتعلق بمياه البحر .

وفى هذا الصدد ، يتعين توخى الدقة فى دراسة تكاليف عمليتى الأوزموزية العكسية والتقطير فيما يتعلق بمعالجة مياه البحر . ويمكن أن تستخدم فى العمليتين أنواع مختلفة من الطاقة ذات عناصر تكلفة مختلفة . والغرض الهام هو تحديد التكلفة الكلية للطاقة وليس ضرورة تحديد كمية الطاقة المستخدمة . وعلى أية حال فانه ربما يكون هناك على الدوام مكان لوحدة التقطير فى مجال عمليات ازالة ملوحة مياه البحر خاصة وأن تشغيلهما يعد أقل حساسية بدرجة كبيرة لنوعية مياه التغذية الوافدة ، كما يمكنها استخدام طاقة منخفضة التكلفة فى شكل بخار منخفض الضغط من التوربينات ، وكذلك الحرارة المتبددة الأخرى . بيد أنه فى الكثير من المنشآت الوحيدة الغرض فان الأوزموزية العكسية لمياه البحر

أو توليفة من الأوزموزية العكسية والتقطير قد تكون أكثر اقتصادا (ساكينجر، ١٩٨٠) . ولا يمكن تقرير الجدوى الاقتصادية الفعلية لكل عملية الا على أساس دراسة حالة كل موقع على حدة .

وتتعلق أرقام التكاليف المقدمة أدناه خاصة بوحدات مقامة فى الولايات المتحدة . وتوجد تحليلات ومناقشات أكثر تفصيلا لهذه التكاليف فى ريد (١٩٨٢) وكانت الأساس لتقدير التكاليف فى هذا القسم .

(أ) الأوزموزية العكسية لمياه البحر

وفقا للتكاليف المستكملة التى أعدها ريد (١٩٨٢)، تراوحت التكاليف الرأسمالية الكلية لوحدات الأوزموزية العكسية لمياه البحر فى ١٩٨١ بين ٣ر٠٧٠ و١ر١٦٠ من دولارات الولايات المتحدة للمتر المكعب فى اليوم (٤ر٢ - ١١ر٦٣ دولار للغالون فى اليوم) من السعة المقررة للمرافق والتى تتراوح بين ٣٨ الى ١٩ ٠٠٠ م^3/ يوم (١ر الى ٥ غالون فى اليوم) . وقد وضعت هذه القيم على أساس أسعار المعدات فى الولايات المتحدة بما فى ذلك تكاليف الانشاء والتكاليف الرأسمالية غير المباشرة . وفى السنوات الأخيرة ظلت تكاليف أنظمة الأوزموزية العكسية لمياه البحار دون تغيير تقريبا كنتيجة للمنافسة القوية فى الأسعار بين موردى المعدات . ويتضمن الجدول ٥ التكاليف الكلية لشبكات الأوزموزية العكسية لمياه البحر المنشأة فى الولايات المتحدة .

الجدول ٥ - الأوزموزية العكسية . (أ) تقديرات تكلفة ازالة ملوحة مياه البحر
(بالاف دولارات الولايات المتحدة)

	٣٨ م٣/ يوم (١٠٠٠٠ غالون في اليوم)	٣٨٠ م٣/ يوم (١٠٠٠٠٠ غالون في اليوم)	٣٨٠٠ م٣/ يوم (١مليون غالون في اليوم)	١١٤٠٠ م٣/ يوم (٣مليون غالون في اليوم)	١٩٠٠٠ م٣/يوم (٥مليون غالون في اليوم)
التكاليف الرأسمالية المباشرة	٩٤	٦٧٣	٤ ٢٧٠	١١ ١٧٢	١٧ ٢٦٠
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة					
الفوائد أثناء الانشاء	٢	١٥	١٤٤	٥٢٨	٨٢٥
رأس المال العامل	٥	٣٤	٢١٤	٥٥٩	٨٦٣
الطوارئ + أتعاب المعمار والهندسة	١٦	١١٥	٧٤٠	١ ٩٦١	٣ ٠٣٢
التكاليف الرأسمالية الكلية	١١٧	٨٣٧	٥ ٣٦٨	١٤ ٢٢٠	٢١ ٩٨٠
التشغيل والصيانة في السنة					
الأيدى العاملة (ب)	٦	٢١	١١٩	١٧٥	٢٠٣
الكهرباء عند ٥ سنت/ كيلو واط ساعة (ج)	٦	٥٩	٥٩٠	١ ٧٦٨	٢ ٩٤٨
احلال الأغشية	٤	٣٤	٣١٠	٨٣٨	١ ٣٩٦
المواد الكيمائية والمرشحات	١	١٠	٨٠	٢٢٣	٣٧٢
مواد أخرى	—	٦	٣٥	٩٦	١٥٠
التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة	١٧	١٣٠	١ ١٣٤	٣ ١٠٠	٥ ٠٦٩
الرسوم الثابتة (١٨ في المئة)	٢١	١٥١	٩٦٦	٢ ٥٦٠	٣٩٥٦
التكاليف السنوية الكلية	٣٨	٢٨١	٢ ١٠٠	٥ ٦٦٠	٩ ٠٢٥
تكليف المياه :					
دولار/ م٣	٣ر٢٨	٢ر٤١	١ر٨١	١ر٦٢	١ر٥٤
دولار/ ١٠٠٠ غالون	١٢ر٢٨	٩ر٠٤	٦ر٧٧	٦ر٠٨	٥ر٨٢

المصدر : أخذت بتصرف من أ. س. ريد ، " ازالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة" ، ١٩٨١ (التكاليف المستكملة) مرجع سابق .

الحواشي :

بالنسبة للافتراضات العامة المستخدمة في انشاء بيانات التكلفة هذه ، انظر الجدول ٣ .

كافة تقديرات التكاليف بدولارات الولايات المتحدة في ١٩٨١ .

(أ) الأوزموزية العكسية لمياه البحر المعالجة لمياه التغذية البالغ حجمها ٣٥٠٠٠ جزء في المليون بنسبة استرداد تبلغ ٣٠ في المئة وعامل الوحدة بنسبة ٨٥ في المئة ، ودرجة حرارة ٢١ مئوية (٧٠ درجة فهرنهايت) .

(ب) تشمل تكلفة الأيدى العاملة ٤٠ في المئة اضافية للتكاليف العامة والادارية غير المباشرة .

(ج) يفترض أن استهلاك الكهرباء لوحدة سعتها ٣٨٠٠ م٣/ يوم هو ١٠ كيلو واط ساعة/ م٣ (٣٨ كيلو واط ساعة/ ١٠٠٠ غالون) .

وتختلف التكاليف التشغيلية لأنظمة الأوزموزية العكسية لمياه البحر من قرابة ١٫٤٥ دولار الى ٨٥ر من الدولار / م^3 (٥٠ره دولار الى ٣٫٢٠ دولار / ١٠٠٠ غالون) عبر مجال يتدرج من ٣٨ م^3 / يوم (١٠٠٠٠ غالون فى اليوم) الى ١٩٠٠٠ م^3 / يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) . واذا اشتمل النظام على استرداد الطاقة فان استعمال الكهرباء يمكن أن ينخفض الى حوالى ٣ره كيلو واط ساعة / م^3 (٢٠ كيلو واط ساعة / ١٠٠٠ غالون) . وعند الـ ٥ر من الدولار / كيلو واط ساعة ، سوف يسفر ذلك عن وفورات تكاد تساوى التكاليف التقديرية لاحلال الأغشية . وهناك اهتمام في أوساط موردى المعدات بادخال أجهزة لاسترداد الطاقة فى الأنظمة الكبيرة للأوزموزية العكسية بالرغم من أن ذلك يواجه بحقيقة أنه سيضيف الى التكاليف الرأسمالية ودرجة تعقد المرفق .

وينبغى ملاحظة أن استعمال ١٠ كيلو واط ساعة / م^3 كأساس لحساب تكاليف الطاقة افتراض محافظ . ذلك ان استعمال الطاقة هو ، فى المقام الأول ، وظيفة المضخات المجمعة وكفاءة المحرك ، وسوف تختلف حسب حجم الوحدة وعوامل أخرى . وبوجه عام ، فانه كلما كبر حجم الوحدة كان من المرجح بدرجة أكبر امكان ايجاد تآلف بين الأحجام المعيارية للمحرك والمضخات والأغشية .

ويوضح الجدول ٥ التكاليف الكلية للمياه فيما يتعلق بشتى أحجام شبكات الأوزموزية العكسية لمياه البحر فى ١٩٨١ ، شاملة نفقات التشغيل وكذا رسم رأسمالى يحدد على أساس تكاليف المعدات والانشاء . وتأسيسا على هذه البيانات فان تكاليف المياه الكلية فى شبكات الأوزموزية العكسية لمياه البحر تتباين من ٣٫٢٨ دولار / م^3 (١٢٫٥٨ دولار / ١٠٠٠ غالون) لشبكة صغيرة سعتها ٣٨ م^3 / يوم (١٠٠٠٠ غالون فى اليوم) الى ١٫٥٤ دولار م^3 (٨٢ره دولار / ١٠٠٠ غالون) فى شبكة أكبر سعتها ١٩٠٠٠ م^3 / يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) . وبالنسبة للوحدات المستخدمة لأنظمة استرداد الطاقة ، ربما تزيد التكاليف الرأسمالية بنسبة ١٠ فى المئة ، فى حين يمكن أن تنخفض تكاليف التشغيل (غير شاملة لاسترداد رأس المال) من ١٥ الى ٣٠ فى المئة حسب حجم الوحدة ونوعية جهاز استرداد الطاقة المستخدمة وتكلفتها .

(ب) الأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة

يوضح الجدول ٦ تكاليف المعدات والتكاليف التشغيلية وتكاليف المياه المنتجة لوحدات تمثيلية للأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة . وقد وضعت البيانات على أساس مياه تغذية تتراوح ملحيتها بين ٢٠٠٠و٠٠٠ ٥ جزء للمليون من اجمالى الجوامد المذابة التى لا تحتوى على مقومات مثل السليكا

والباريوم والسترونتيوم فى تركيزات من شأنها أن تمنع تشغيل وحدات الأوزموزية العكسية عند معدل استرداد قدره ٨٠ فى المئة .

وتختلف التكاليف الرأسمالية الكلية لشبكات الأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة بين ٣١٨ م^3/ يوم (٢٠ر١ دولار/ غالون فى اليوم) لشبكة سعتها ٨٠٠ ٣ م^3/ يوم (١ مليون غالون فى اليوم) الى ٢١٨ دولار/م^3 (٨٢ر من الدولار/ غالون فى اليوم) لشبكة سعتها ٦٠٠ر٩٤ م^3/ يوم (٢٥ مليون غالون فى اليوم) . وقد أمكن المحافظة على ميل الأسعار الى الاستقرار فيما يتعلق بوحدات الأوزموزية العكسية لمياه البحر وكذلك فيما يتعلق بشبكات الأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة . وقد أمكن تعويض التضخم عن طريق ما أحدثته هذه المنافسة من تأثير .

وتختلف تكاليف التشغيل من ٢٤ر من الدولار/م^3 (٩١ر من الدولار/ ١٠٠٠ غالون) الى ١٨ر من الدولار/ م^3 (٦٨ر من الدولار/ ١٠٠٠ غالون) بالنسبة للأحجام نفسها وكانت الزيادة فى النطاق الأساسى للتكاليف فى الفترة من ١٩٧٩ الى ١٩٨١ تتعلق بتكاليف الطاقة الكهربائية التى تضاعفت فى الولايات المتحدة . ولا يعتبر استرداد الطاقة هاما بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة قدر أهميته بالنسبة لشبكات الأوزموزية العكسية لمياه البحر ، لأن وحدات المياه الضاربة الى الملوحة تعمل عند معدلات استرداد أعلى بكثير وعند مستويات ضغط أدنى من وحدات مياه البحر . وفى هذه التقديرات يفترض معدل استرداد قدره ٨٠ فى المئة مع افتراض ضغوط أعلى مع المعدلات الأعلى لاجمالى الجوامد المذابة . والضغط النموذجى المستخدم فى ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة هو ٢٧ درجة مئوية (٤٠٠ رطل للبوصة المربعة) بينما تتراوح ضغوط التشغيل بالنسبة للأوزموزية العكسية لمياه البحر حاليا من ٥٤ الى ٦٨ غلاف جوى (٨٠٠ الى ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة) . ويبدو أن تطوير أغشية ضغط عالى جديدة (١٧ غلاف جوى) هو بمثابة اتجاه مستقبلى هام لادخال تخفيضات أساسية فى تكاليف وحدات المياه الضاربة الى الملوحة . وينبغى لاستعمال تلك الأغشية ، حينما تكون مياه التغذية ملائمة ، من أن يؤدى الى تخفيض تكاليف الطاقة بسبب الضغوط الأدنى المطلوبة لمياه التغذية ، بيد انه من المحتمل فى الوقت نفسه أن يؤدى الى زيادة تكاليف احلال الأغشية بالنظر الى تكلفة فرق سعر هذه الأغشية الخاصة .

ومن ثم فان تكاليف المياه (شاملة استرداد رأس المال) بالنسبة للأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة تتراوح من ٤١ر من الدولار الى ٣٠ر من الدولار/ م^3 (٥٤ر١ دولار الى ١١ر١١ دولار/ ألف غالون) بالنسبة لأحجام الوحدة التى تتراوح بين ٨٠٠ ٣ الى ٠٠٠ ٩٥ م^3/ يوم (١ الى ٢٥ مليون غالون فى اليوم) .

الجدول ٦ - الأوزموزية العكسية . (أ) تقديرات تكلفة ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة
(بآلاف دولارات الولايات المتحدة)

	٣٨٠٠ م٣/ يوم (١ مليون غالون في اليوم)	٤٠٠ر١١ م٣/يوم (٣ مليون غالون في اليوم)	٠٠٠ ١٩ م٣/يوم (٥ مليون غالون في اليوم)	٠٠٠ ٣٨ م٣/يوم (١٠ مليون غالون في اليوم)	٦٠٠ ٩٤ م٣/يوم (٢٥ مليون غالون في اليوم)
التكاليف الرأسمالية المباشرة	٩٧٦	٢ ٤٨٧	٣ ٨٤١	٦ ٠٧٦	١٦ ٠٨٦
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة					
الفوائد في فترة الانشاء	١٦	٦٨	١٠٧	٢٧٥	٨٦٠
رأس المال العامل	٤٩	١٢٤	١٩٢	٣٤٣	٨٠٤
حالات الطوارئ + أتعاب المعمار والهندسة	١٦٧	٤٢٩	٦٦٢	١ ١٩٨	٢ ٨٤٠
اجمالي التكاليف الكلية لرأس المال	١ ٢٠٨	٣ ١٠٨	٤ ٨٠٢	٨ ٦٨٣	٢٠ ٥٩٠
التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة					
الأيدي العاملة (ب)	٦٠	٧٤	١١٩	١٤٧	١٨٩
الكهرباء (٥ سنت/ كيلو واط ساعة (ج)	١٣٩	٤١٦	٦٩٤	١ ٣٨٧	٣ ٦٥٠
احلال الأغشية	٦٢	١٥٨	٢٣٣	٤٦٥	١ ١٦٣
المواد الكيميائية والمرشحات	٥٢	١٣٠	١٨٦	٣٤١	٨٥٣
مواد أخرى	٣	٨	١٢	٢٦	٦٢
التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة	٣١٦	٧٨٦	١ ٢٤٤	٢ ٣٦٦	٥ ٩١٧
الرسوم الثابتة (د)	٢١٧	٥٥٩	٨٦٥	١ ٥٦٣	٣ ٧٠٦
التكاليف السنوية للمياه	٥٣٣	١ ٣٤٥	٢ ١٠٩	٣ ٩٢٩	٩ ٦٢٣
تكاليف المياه :					
دولار/ م٣	٤٠ر	٣٤ر	٣٢ر	٣٠ر	٢٩ر
دولار/ ٠٠٠ ١ غالون	١ر٥٣	١ر٢٩	١ر٢٢	١ر١٣	١ر١١

المصدر : مأخوذة بتصرف من أ. س. ريد ، " ازالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة ، ١٩٨١ (التكاليف المستكملة) ، مرجع سابق .

الحواشي :

للاطلاع على الافتراضات العامة المستخدمة في انشاء بيانات التكلفة هذه ، انظر جدول ٣ .

كافة تقديرات التكاليف بدولارات الولايات المتحدة في ١٩٨١ .

(أ) الأوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة ، من ٠٠٠ ٢ الى ٠٠٠ ٥ جزء في المليون من مياه التغذية بنسبة استرداد قدرها ٨٠ في المئة ، ٢١ درجة مئوية (٧٠ درجة فهرنهايت) .

(ب) تشمل تكلفة الأيدي العاملة ٤٠ في المئة للتكاليف العامة والادارية غير المباشرة .

(ج) يفترض أن استهلاك الكهرباء لوحدة سعتها ٣٨٠٠ م٣/ يوم هو ٢ر١ كيلو واط ساعة/ م٣ (٨ كيلو واط ساعة/ ٠٠٠ ١ غالون) .

(د) استرداد رأس المال على ثلاثين سنة بفائدة ١٨ في المئة .

هاء - اعتبارات اقتصادية

ان الاختيار السليم لنظام لازالة الملوحة أوأى شبكة للموارد المائية فى أى بلد ، بصرف النظر عن مستوى التنمية به ، هو أكثر من مجرد أن يكون معقولا اقتصاديا فى مرحلة الدراسة النظرية ، انه نظام يعمل حينما يتم انشاؤه ويستمر فى العمل ويقدم الانتاج المستصوب بالنوعية وبالكمية المتوقعتين على مدى العمر المخطط للنظام .

وتعتبر ازالة ملوحة المياه وسيلة ممتازة لتمكين منطقة ما من استغلال مصادر المياه ، التى كانت فى الماضى ملحة للغاية ، للاستهلاك الآدمى . بيد أن هذا يتطلب استثمارا رأسماليا كبيرا ، وسيظل تشغيل النظام بحاجة الى اعتمادات للطاقة والمواد الكيميائية الايدى العاملة والاصلاحات وعمليات الاحلال . ويتعين أن توضع فى الاعتبار التكاليف الاولية والمستمرة الممكنة لانها يمكن أن تؤثر على الاستهلاك والاقتصاد المحلى . ويوضح الجدولان ٧ و ٨ التكاليف الرأسمالية والتشغيلية التقديرية لمختلف عمليات ازالة الملوحة التى تعالج مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة والتى تبلغ سعتها من ٣٨٠٠ و ١٩٠٠٠م^3/يوم (١ و ٥ مليون غالون فى اليوم) فى الولايات المتحدة فى ١٩٨١ . وتوضح الأقسام من ألف - دال من هذا الفصل البيانات المتعلقة بسعات الوحدات الاخرى .

وتشير البيانات الواردة فى الجدول ٧ الى أنه فيما يتعلق بازالة ملوحة مياه البحر ، تتميز الوحدة النموذجية للاوزموزية العكسية لمياه البحر ، من حيث التكلفة ، على كلتا عمليتى التقطير عند سعة ٣٨٠٠م^3/يوم (١ مليون غالون فى اليوم) . الاأنه عند السعة ١٩٠٠٠م^3/يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) ، تتميز وحدة التقطير المتعدد النتائج ، من حيث التكلفة ، على نموذج الاوزموزية العكسية لمياه البحر ، فى حين تنتج وحدة الاوزموزية العكسية مياها أرخص الى حد ما من التى تنتجها وحدة وميض متعدد المراحل من نفس الحجم . بيد أنه لابد من النظر فى البيانات بحذر بالغ حيث أن الاقتصاديات يمكن أن تتغير بسهولة حسب الافتراضات . وثمة أهمية خاصة للتكاليف المخصصة للطاقة والكيفية التى يجرى بها تخصيص تلك التكاليف بين محطات توليد الكهرباء وازالة الملوحة فى المرافق ذات الغرض المزدوج . وعلاوة على ذلك ، فانه طبقا لتقديرات ريد (١٩٨٢) ، يبدو أن وحدات الوميض المتعدد المراحل التى تستخدم وقودا غير النفط لتسخين غلاياتها ، تنتج مياها أرخص من المياه التى تنتجها وحدات الاوزموزية العكسية لمياه البحر عند الحجم ١٩٠٠٠ م^3/يوم .

ويتضمن الجدول ٨ التكاليف التقديرية لانتاج وحدات نموذجية للمياه الضاربة الى الملوحة .

الجدول ٧ - مقارنة التكاليف التقديرية لمرفقين نموذجيين لازالة ملوحة مياه البحر سعتهما ٣٨٠٠م٣/يوم (١مليون غالون/يوم) و ١٩٠٠٠م٣/يوم (٥ مليون غالون/يوم)
(بآلاف دولارات الولايات المتحدة)

سعة الوحدة م٣/يوم (مليون غالون/يوم)	٣٨٠٠ ١	٣٨٠٠ ١	٣٨٠٠ ١	١٩٠٠٠ ٥	١٩٠٠٠ ٥
	وميض متعدد المراحل (أ)	الاوزموزية العكسية لمياه البحر (ب)	تقطير متعدد النتائج (ج)	وميض متعدد المراحل (أ)	الاوزموزية العكسية لمياه البحر (ب)	تقطير متعدد النتائج (ج)
التكاليف الرأسمالية المباشرة	٦٠٢٤	٤٢٧٠	٥١١٠	١٩٧٢٦	١٧٢٦٠	١٥٣٨٥
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة						
الفوائد في فترة الانشاء	٤٩٧	١٤٤	١٦٤	١٨٠٨	٨٢٥	١٢٦٥
رأس المال العامل	٤٣٩	٢١٤	٨٩	١٩٢٦	٨٦٣	٣٠٣
التكاليف الطارئة+ أتعاب المعمار والهندسة	٩٠٤	٧٤٠ (د)	٧٤١	٢٩٥٩	٣٠٣٢ (د)	٢٣١٠
ادارة المشروع، تكاليف عامة وارباح	٢٢٥٩		١٩١٦	٧٣٩٧		٥٧٧٣
التكاليف الرأسمالية الكلية	١٠١٢٣	٥٣٦٨	٨٠٢٠	٣٣٨١٦	٢١٩٨٠	٢٥٠٣٦
التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة						
الايدى العاملة (هـ)	٢٣٨	١١٩	٢١٧	٣٠٥	٢٠٣	٢٥٢
الطاقة - البخار	٤٩٥		٤٤٦	٢٤٧٥		٢٢٣٠
الطاقة - الكهرباء (و)	١١٣	٥٩٠	١٤٠	٥٦٥	٢٩٤٧	٧٠٠
المواد الكيميائية والمرشحات	٥٧	٨١	٢٨	٢٨٦	٣٧٢	١٤٠
احلال الاغشية		٣١٠			١٣٩٦	
مواد اخرى	٣٦	٣٥	٨٤	٨٦	١٥٠	٢٧٠
التكاليف الكلية للتشغيل والصيانة	٩٣٩	١١٣٥	٩١٥	٣٧١٧	٥٠٦٨	٣٥٩٢
الرسوم الثابتة (و)	١٨٢٢	٩٦٦	١٤٤٤	٥٩٠٧	٣٩٥٦	٤٥٠٨
التكاليف السنوية الكلية	٢٧٦١	٢١٠١	٢٣٥٩	٩٦٢٤	٩٠٢٤	٨١٠٠
تكاليف المياه						
دولار/م٣	٢ر٣٧	١ر٨١	٢ر٠٣	١ر٦٥	١ر٥٤	١ر٣٩
دولار/ألف غالون	٨ر٩٠	٦ر٧٧	٧ر٦٠	٦ر٢٠	٥ر٨٢	٥ر٢٢
التكاليف الرأسمالية للوحدة						
دولار/م٣	٢ر٦٧٢	١ر١٢٣	٢ر١١٨	١ر٧٨٥	١ر١٥٦	١ر٣١٨
دولار/غالون/يوم	١٠ر١٢	٥ر٣٧	٨ر٠٢	٦ر٧٦	٤ر٤٠	٥ر٠١

المصدر: أخذت بتصرف من أ. س. ريد، "ازالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة"، ١٩٨١ (التكاليف المستكملة)، مرجع سابق.

الحواشي:

يتضمن الجدول ٣ الافتراضات العامة المستخدمة في انشاء بيانات التكلفة هذه.

كافة تقديرات التكاليف بدولارات الولايات المتحدة في ١٩٨١.

(أ) وحدة تعمل بالوميض المتعدد المراحل: وحدة وميض متعدد المراحل تستخدم احماضا لمكافحة القشور، عامل الاداء = ١٢، درجة الحرارة القصوى لسخان المحلول الملحي ١٢١ درجة مئوية (٢٥٠ درجة فهرنهايت) واعادة التوزيع بمعامل تركيز ٢ وبمعامل وحدة ٨٥ في المئة. غلاية تسخين بالنفط. يستخدم البخار بسعر ٣٠ر٢ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريكانية.

(ب) مرفق يعمل بالاوزموزية العكسية لمياه البحر، مياه تغذية يبلغ اجمالي الجوامد المذابة فيها ٣٥ ٠٠٠ جزء في المليون، نسبة الاسترداد ٣٠ في المئة، معامل الوحدة الصناعية ٨٥ في المئة، درجة الحرارة ٢١ مئوية (٧٠ درجة فهرنهايت)، لاتسترد الطاقة.

الجـــدول ٧ (تابع)

تتمة الحواشي:

(ج) تقطير متعدد المراحل: وحدة أنابيب أفقية متعددة النتائج تستخدم أنابيب ألومنيوم، وتعالج مياه التغذية بعناصر غير حمضيه، معامل الاداء = ١٢؛ درجة الحرارة القصوى لسخان المحلول الملحى ٧٥ درجة مئوية (١٦٧ درجة فهرنهايت)؛ معامل الوحدة ٨٥٪؛ فلاية احتراق بالزيت تستخدم البخار بسعر ٢٫٣٠ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريكانية.

(د) يشمل رسوم الادارة والنفقات غير المباشرة والارباح.

(هـ) تشمل تكاليف الايدى العاملة ٤٠ فى المئة اضافية للنفقات العامة والادارية غير المباشرة.

(و) تولد الكهرباء فى الموقع بتكلفة ٧٫٥ سنت كليوواط ساعة لوحدات الوميض المتعدد الدرجات والتقطير المتعدد النتائج، وتشترى بسعر ٥ سنت كليوواط ساعة لوحدة الاوزموزية العكسية لمياه البحر.

(ز) على اساس استرداد رأس المال على ٣٠ سنة بفائدة ١٨ فى المئة.

الجد ول ٨ - مقارنة تقد يرات التكاليف لوحد تين نموذجتيين لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة سعتهما ٣٨٠٠م٣/يوم (١مليون غالون) و ١٩٠٠٠م٣ / يوم (٥ مليون غالون فى اليوم)
(بالاف د ولارات الولايات المتحدة)

سعة الوحدة م٣ /يوم (مليون غالون /يوم)	٣٨٠٠ (١)	٣٨٠٠ (١)		١٩٠٠٠ (٥)	١٩٠٠٠ (٥)	
	الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة (أ)	الد يلزة بالكهرباء للمياه الضاربة الى الملوحة (ب)		الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة (أ)	الد يلزة بالكهرباء للمياه الضاربة الى الملوحة (ب)	
		١	٢		١	٢
التكاليف الرأسمالية المباشرة	٩٧٦	١٢٦٢	١٤٣٦	٣٨٤١	٥٣٤٨	٦١١٣
التكاليف الرأسمالية غير المباشرة						
الفوائد اثناء الانشاء	١٦	٢٦	٢٩	١٠٧	١٧٧	٢٠١
رأس المال العامل	٤٩	٥٣	٧٢	١٩٢	٢٦٧	٣٠٦
حالات الطوارئ + الهندسة والمعمار (ج)	١٦٧	٢١٤	٢٤٥	٦٦٢	٩٢٧	١٠٥٩
التكاليف الرأسمالية الكلية	١٢٠٨	١٥٥٥	١٧٨٢	٤٨٠٢	٦٧١٩	٧٦٧٩
تكاليف التشغيل والصيانة السنوية						
الايدى العاملة (د)	٦٠	٥٩	٥٩	١١٩	١١٩	١١٩
الكهرباء (هـ)	١٣٩	٩٦	١٧٩	٦٩٤	٤٧٩	٨٩٣
المواد الكيميائية والمرشحات	٥٢	٢٢	٢٢	١٨٦	٩٧	٩٧
احلال الاغشية	٦٢	١٩	٢٨	٢٣٣	٩٢	١٣٩
مواد اخرى	٣	٤	٥	١٢	١٧	٢١
تكاليف التشغيل والصيانة الكلية	٣١٦	٢٠٠	٢٩٣	١٢٤٤	٨٠٤	١٢٦٩
الرسوم الثابتة (و)	٢١٧	٢٨٠	٣٢١	٨٦٥	١٢١٠	١٣٨٢
التكاليف السنوية الكلية	٥٣٣	٤٨٠	٦١٤	٢١٠٩	٢٠١٤	٢٦٥١
تكاليف المياه						
د ولار /م٣	٤٠ر	٣٦ر	٤٧ر	٣٢ر	٣١ر	٤٠ر
د ولار لكل ١٠٠٠ غالون	١ر٥٣	١ر٣٨	١ر٧٧	١ر٢٢	١ر١٦	١ر٥٣
تكاليف وحدة رأس المال						
د ولار /م٣	٣١٨	٤٠٩	٤٦٩	٢٥٣	٣٥٤	٤٠٤
د ولار للغالون فى اليوم	١ر٢١	١ر٥٥	١ر٧٨	٩٦ر	١ر٣٤	١ر٥٣

المصدر: أخذت بتصرف من أ. س. ريد، "ازالة ملوحة مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة"، ١٩٨١، مرجع سابق.

الحواشي:

الافتراضات العامة المستخدمة فى انشاء بيانات التكاليف هذه مدرجة فى الجد ول ٣.

كافة تقد يرات التكاليف بد ولارات الولايات المتحدة فى ١٩٨١.

(أ) الاوزموزية العكسية، اجمالى الجوامد المذابة فى مياه التغذية من ٢٠٠٠ الى ٥٠٠٠ جزء فى المليون، نسبة الاسترداد ٨٠ فى المئة، معامل الوحدة ٨٠ فى المئة، د رجة الحرارة ٢١ مئوية (٧٠ د رجة فهرنهايت).

الجـــــدول ٨ (تابع)

تتمة الحواشي :

(ب) الدلزة بالكهرباء الانعكاسية، نسبة الاسترداد ٨٠ فـــي المئـــة؛ معامل الوحدة ٩٥ في المئة، درجة الحرارة ٢١ مئوية (٧٠ درجة فهرنـــهايت) ؛ مياه التغذية رقم ١ : ، اجمالي الجوامد المذابة ٢٠٧٦ جزء في المليون، تستخدم نظام المرحلتين (المشار اليه على أنه المياه رقم ٣ في ريد ، ١٩٨٢) . ميـــــاه التغذية رقم ٢ : اجمالي الجوامد المذابة ٣٤٧٥ جزء في المليون، تستخدم نظام الثلاث مراحل (المشار اليه على أنه المياه رقم ٤ في ريد ، ١٩٨٢) .

(ج) تشمل رسوم الادارة .

(د) تتضمن تكاليف الايدي العاملة ٤٠ في المئة اضافية للكاليف العامـــة والادارية غير المباشرة .

(هـ) الكهرباء بمعدل ٥ر من الدولار/كيلوواط ساعة . يفترض أن استهلاك الكهرباء للاوزموزية العكسية ٢ر١ كيلوواط ساعة/م^3 ، والدلزة بالكهرباء الانعكاسية ٥ر١ كيلوواط ساعة/م^3 بالنسبة للمياه رقم ١ و ٧ر٢ كيلوواط ساعة/م^3 بالنسبة للميـاه رقم ٢ .

(و) على أساس استرداد رأس المال على مدى ٣٠ سنة بفائدة ١٨ فـــي المئـــة .

وتشير هذه البيانات الى أن الد يلزة بالكهرباء والاوزموزية العكسية قابلة للمقارنة فى حد ود هذين الحجمين وتتوقف على اجمالى الجوامد المذابة ومدى صعوبة معالجة المياه . وبالنسبة للمياه التي تحتوى على قد ر أقل من اجمالى الجوامد المذابة ، تكون الد يلزة بالكهرباء أقل تكلفة للوحدة الانتاجية الواحدة . وعند مستويات أعلى من اجمالى الجوامد المذابة يكون للاوزموزية العكسية ميزه من حيث التكلفة .

وسوف تضاهى التكاليف التقريبية ، بوجه عام (شاملة رسوم استرداد رأس المال) التى تتراوح بين ٢٥ر من الد ولار و ٥٠ر من الد ولار/م^3 (من ١ د ولار الى ٢ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة وبين ٣٠ر١ د ولار و ٣٠ر٣ د ولار/م^3 (من ٩٠ر٤ د ولار الى ١٢ر٣٠ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) بالنسبة لمياه البحر. التكاليف العامة (رسوم رأس المال ، والتشغيل والصيانة) لوحدات ازالة الملوحة التى تتراوح سعاتها بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠٠م^3/يوم (حوالى ٥ر الى ١٠ مليون غالون /يوم) فى حالة ما اذا تم بناؤها فى الولايات المتحدة . وفيما يتعلق بالوحدات الصغيرة المقامة فى البلدان النامية ، يمكن أن تزيد تكاليف تشغيلها الى مايزيد على ١ د ولار/م^3 (٤ د ولارات/ ١٠٠٠ غالون) لوحدات ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة وما يصل الى ٨ د ولار/م^3 لمحطات ازالة ملوحة مياه البحر (٣٠ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) . وبخصوص بنود مثل تنمية مياه التغذية (حقول الآبار- هياكل السحب) يمكن أن يؤدى تخزين المياه ونقل المحلول الملحى الى اضافة تكلفة أخرى تتراوح بين ٢٥ر من الد ولار الى ٣٠ر١ د ولار/م^3 (من ١ د ولار الى ٥ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) . وستكون التكاليف فى البلدان النامية بوجه عام ضعف التكاليف فى الولايات المتحدة على الاقل بسبب رسوم الاستيراد ونقل مستلزمات الوحدة والتنمية الأكثر كثافة للموقع ورسوم الادارة وشراء قطع الغيار .

وسواء طلب من العملاء دفع الثمن بالكامل أو ما اذا قامت الحكومة أو غيرها بدعم التكاليف فانه سوف يتعين تحويل موارد نقدية من أولويات اقتصادية أخرى لتستخدم فى هذا الغرض على مدى حياة المشروع .

ويمكن أن يؤدى الاستثمار فى منطقة تعانى نقصا فى المياه الى الشروع للمرة الاولى فى تنمية امدادات وفيرة من المياه ، ولما كان الامر على هذا النحو فانه من المهم أن تتم التنمية بحرص . ويتمثل السبيل الى نجاح اية تنمية من هذا القبيل لمورد مائى كبير فى الادارة السليمة للمياه استنادا الى دراسة شاملة للموارد المائية ووضع خطة واقعية للتنمية الاقتصادية وتشمل الادارة السليمة للمياه كل مجال أنشطة الموارد المائية التى تمتد من اختيار المصدر وتنمية واستخدام المياه وتصريف المحلول الملحى .

١ - تقييم العرض والطلب

في اجراء دراسة لتخطيط الموارد المائية، تدرس عامة العرض الحالي والممكن من الجوانب الاقتصادية والتقنية وتحلل، بالاضافة الى الطلب المحتمل على المياه من جانب كل المستعملين. ويتعين جرد وتقييم الموارد المائية الحالية والممكنة المتاحة في منطقة معينة، شاملة كافة مصادر المياه العذبة والملحة. وينبغي تحديد حجم التنمية ونوعيها وتكاليفها ونتائجها، وكذلك الحال بالنسبة لتحويل المياه وذلك فيما يتعلق بكافة المصادر الممكنة.

ويتعين تقدير الطلب بدقة لان التكاليف الممكنة المضافة للمياه المزال ملوحتها (اذ وزعت على المستهلك) يمكن أن تؤثر على استعمال المياه بدرجة كبيرة. وليس من الممكن فحسب أن تكون هذه المياه غالية بالنسبة للاستهلاك المحلي، ولكن التكاليف العالية يمكن أيضا أن تؤثر على نوعية الصناعات التي تجتذبها والانتعاش الاقتصادي للصناعات المستخدمة لها. ومن الواضح أن الصناعات التي تحتاج الى كميات كبيرة من المياه المنخفضة التكاليف لها تستطيع أن تبقى بسهولة ان تظل نائمة اذا حملت على دفع التكاليف الحقيقية للمياه الخالية من الملوحة، خاصة مياه البحر المزال ملوحتها. ولما كان الطلب سوف يتأثر بالتكلفة المتطوره من جانب المستهلك، فان السياسة التي سوف تستخدم لتحديد السعر الذي سيفرض على المستهلكين مقابل المياه ينبغي التحقق منها في وقت مبكر. وبغض النظر عن التكاليف المتوقعة بالنسبة للمستهلك، سوف يتوقف الطلب على المياه على عوامل كثيرة، بما في ذلك المناخ والثقافة وطرق التوزيع والاستعمالات (شاملة الاستعمالات الزراعية والصناعية والمنزلية) وامكانية الحصول على المياه ومدى توفرها. وفي بعض المناطق التي تعاني نقصا في المياه، قد يكون من الأوفر استحداث نظام يتضمن بنوعين أو أكثر من المياه التي توزع كل على حده، وينهض بأعباء التوزيع والاستعمال للمياه الصالحة للشرب وغير الصالحة للشرب على السواء. ولتحليل هذه الامكانية، ينبغي تقدير توقعات الطلب على استعمالات المياه الصالحة للشرب وغير الصالحة للشرب، كل على حدة، في المستقبل.

٢ - عوامل مرتبطه باختيار العملية

بعد تقييم التصور العام لموارد المياه، ينبغي دراسة العوامل الواردة في الاجزاء التالية وتقييمها قبل اختيار العملية المناسبة لازالة الملوحة وسعة الوحدة وليس ثمة طريق معين للوصول الى القرار الصحيح. وكما هو الشأن بالنسبة لاي مشروع يتضمن نفقات رأسمالية ونفقات تشغيل، يتعين أن يلعب التقييم الاقتصادي دورا هاما، ولكنه لا ينبغي أن يكون هو العامل الوحيد. اذ يتعين

ممارسة الحكم المبنى على استعراض شامل لمختلف العوامل الموضوعية والذاتية بغية تحديد التكاليف والفوائد والنتائج الطويلة الاجل لمشروع مقترح .

(أ) مصدر المياه غير المعالجة

ان تعيين وتحديد خصائص المصدر (أو المصادر) الممكن للمياه غير المعالجة، يعد جزءا رئيسيا من اختيار العملية . ويمكن أن تتغير يوميا أو موسميا كمية ونوعية المصدر المائى، كما أن معرفة ما اذا كان ذلك يحدث بالفعل، ومدى التغييرات، تعتبر أمورا هامة فى اختيار العملية وتصميم وتشغيل المرفق الناجح على المدى الطويل .

ولسوء الحظ ان كثيرا من مشاريع ازالة الملوحة تتألف من استحداث مصدر مياه التغذية وتركيب وحدة لازالة الملوحة فى آن واحد بموجب نفس العقود المتزامنة وفى معظم الحالات، يكون من الافضل كثيرا استحداث المصدر المائى أولا كيما يتم تحديد خصائصه بوضوح ، ثم الانتقال الى الاختيار النهائى و / أو تصميم مرفق ازالة الملوحة، وشرائه وتركيبه . وقد لا يغير هذا العملية المختاره ولكنه قد يغير المعالجة التحضيرية و /أو الطاقة المطلوبة . ويكاد يكون الانتهاء من هذه التغييرات قبل توقيع عقد المزايدة العقد أرخص على الدوام من محاولة ادخال تعديلات وترتيبات عرضية فى العقود فى موعد لاحق ومن المعروف أن وحدات ازالة الملوحة كانت تشترى وتركب ثم تكتشف أن مصدر مياه التغذية غير كاف و / أو غير مناسب .

(ب) المياه المنتجة

ينبغى تحديد كمية ونوعية المياه المزمع انتاجها عن طريق ازالة الملوحة وسوف تعتمد الكمية المطلوبة والطاقة الانتاجية للوحدة على طلبات الاستهلاك وطاقة التخزين وما اذا كانت المياه سوف تستخدم فى زيادة مصادر أخرى .

وينبغى توخى الدقة عند التفكير فى تحديد نوعية المياه المرغوب فيها من مرفق ازالة الملوحة . وقد لا يكون الافتراض الآلى بأن محتوى اجمالى الجوامد المذابة يصل الى ٥٠٠ جزء فى المليون (المعيار الذى حددته منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب) ملائما . ولكى يتحدد بدقة المستوى الملائم لاجمالى الجوامد الثابتة، ينبغى النظر فى عوامل كثيره، تشمل مدى الامدادات الأخرى الممزوجة مع المياه والمذاق المفضل للسكان المستخدمين للمياه، ونمط المعالجة اللاحقة المزمع استخدامها ، وامكانية اعادة استخدام المياه المستعملة المنتجة، والاستعمالات الخاصة للمياه، كاستعمالها فى الصناعة أو الزراعة .

(ج) تحديد الموقع واعداده

يتطلب اختيار موقع وحدة ازالة الملوحة الى دراسة متأنية، حيث أن الموقع الأمثل قد يسفر عن تخفيضات كبيرة فى التكاليف. ومن بين العوامل التى ينبغى أخذها فى الحسبان: توفر المياه غير المعالجة، وتصريف المحلول الملحى، ونقل المياه المنتجة الى المستهلكين، وتوفر الوقود أو مصادر أخرى للطاقة. وتشمل الاعتبارات الأخرى: السمات الجيولوجيه للموقع، ومدى تعرضه للرياح، والاملاح والفيضانات، توفر مرافق معالجة الشحنات ومواد البناء والعمال ولا تشكل الوحدات التى تقام على الشواطئ، فى العادة، مشاكل كبيرة كتلك التى تشكلها الوحدات المقامة فى الداخل.

وبالاضافة الى توفير اعتمادات مالية لشراء الموقع، ستكون هناك حاجة الى اعتمادات مالية اضافية لتمهيد الطرق وانشاء شبكة الصرف وشبكة المجارير والاسيجة، واذا لزم الامر، حوض للسفن ومحطة سكك حديدية وأماكن انتظار السيارات ومن المستصوب اتخاذ اللازم نحو توفير أسطح من الاسمنت أو الاسفلت فى مناطق العمل حسب الحاجة.

وتتناقص تكاليف اعداد الموقع، بوصفها نسبة من التكاليف الرأسمالية الكلية المباشرة، كلما تزايد حجم الوحدة وعلى سبيل المثال، فانه فيما يتعلق بوحدات الوميض المتعدد المراحل تنخفض تكاليف اعداد الموقع من حوالى ٥ فى المئه من التكاليف الرأسمالية الكلية المباشرة للوحدات التى تتراوح طاقاتها من ٣٨٠٠ الى ٩٥٠٠ م^3/يوم (١ - ٢ر٥ مليون غالون فى اليوم) الى ١ر٥ فى المئه للوحدات الكبيرة (٣٨٠٠٠ م^3/ يوم). وتتراوح النسبة المئوية لتكاليف اعداد موقع وحدات الاوزموزية العكسية لمياه البحر بين ٦ر٥ فى المئه لوحدة سعتها ٣٨ م^3/يوم و ٢ر٥ فى المئه من اجمالى التكاليف الرأسمالية المباشرة لوحدة سعتها ١٩٠٠٠ م^3/يوم (٥ مليون غالون فى اليوم) (ريد، ١٩٨٢).

(د) المياه غير المعالجة: السحب والضخ

توجد اختلافات جوهرية فى التصميم والتكاليف بين الوحدات المقامة على شاطئ البحر والمقامة فى الداخل المستخدمة للمياه الضاربة الى الملوحة. فعلى شاطئ البحر، يمكن أن يكون نظام سحب المياه غير المعالجة اما على شكل بنيه رأسية فى المياه العميقة نسبيا أو عدد من أبار السحب بالقرب من الساحل. ويتوقف اختيار نظام السحب على الظروف المحلية.

وفى حين يمكن، فى بعض الاحيان، الحصول على مياه البحر باستخدام

ابار بحرية متاخمة للشاطئ ، فان السمات الجيولوجية للموقع أو كمية المياه المطلوبة لا تلائم فى الغالب هذه الطريقة فى الحصول على مياه البحر بالنسبة للوحدات الكبيرة . وفى هذه الحالات يمكن انشاء نظام سحب مياه البحر مباشرة الى الوحدة .

ويتعين أن يوجد مرفق السحب فى منطقة يمكن فيها سحب المياه ذات النوعية العالية ، وتجذب الطمى والرمل والنقايات المتحللة والمعلقة الطافية وكذا الكائنات الحية البحرية وتحتاج البنية الرأسية الى مصافى واقية لمنع المواد العضوية والرمال من الدخول فى المياه . وعند النظر فى تحديد موقع مرافق سحب المياه غير المعالجة ، ينبغى أن يؤخذ فى الحسبان كذلك التلوث المحتمل لمياه البحر من أماكن تصريف مياه المجارير أو من المنتجات النفطية . وستطلب هذا دراسة تيارات المياه ودرجة حرارتها وتعكرها وجوانبها البيولوجية . وقد يساعد الموقع والتشييد الملائمين فى الحصول على مياه مناسبة فى درجة الحرارة ودرجة الملوحة المستصوبتين .

وفيما يتعلق بوحدات الاوزموزية العكسية ، توجه عادة ميزه قاطعة فى استخدام أبار ساحلية لتوفير مياه التغذية من ماء البحر لوحدات ازالة الملوحة (لاتور ، ١٩٨٠) . ويجرى- تقليديا - امداد محطات ازالة الملوحة بالماء بواسطة أنابيب أو بحيرات أو نظم سحب ساحلية . ولم تستخدم الآبار الشاطئية لأن كيريتات الايدروجين فى المياه المسحوبة من الآبار تؤثر تأثيرا معاكسا على معدات ازالة الملوحة . الا أنه يمكن بالعناية التغلب على هذه المشكلة بالنسبة لوحدات الاوزموزية العكسية ، وثمة عدد من المزايا لاستخدام الآبار الشاطئية . فاذا شيدت على النحو الملائم فانها يمكنها أن تزود بمياه تقل فيها مواد مثل الأحياء المائية والنقايات والرمال التى يمكن أن تسبب اتساخ الاغشية . وتؤدى الطبقات التى تمر عبرها المياه المتدفقة من البحر الى البئر الى ترشيح المياه وتقليل الحاجة الى المعالجة التحضيرية فى أغلب الأحيان (بوهلان ، ١٩٨٠) . واذا كانت الآبار الشاطئية هى الطريقة الوحيدة للحصول على مياه البحر للتغذية ، فان طاقتها المحدودة أو وجود كبريتات الايدروجين قد يحول دون استعمال التقطير ، بينما تحتاج بعض عمليات مثل الوميض المتعدد المراحل والتقطير المتعدد النتائج الى كميات كبيرة من مياه التبريد لتعمل .

ويمكن أن تؤثر نوعية مياه التغذية على اختيار العملية . ففيما يتعلق بمياه البحر، اذا ظهر أن انشاء نظام للسحب المباشر من البحر هو الطريقة الوحيدة للعملية للحصول على مياه التغذية، فانه يتعين النظر بجدية في استخدام عملية تقطير أكثر قدرة على تحمل المواد المعلقة في مياه التغذية . تستخدم وحدات صغيرة للتقطير بتضاغط البخار في الغالب في المنتجعات الساحلية لهذا الغرض . والبديل لذلك، في حالة استخدام الأوزموزية العكسية، هو اتخاذ التدابير المتعلقة بعمليات المعالجة التحضيرية الخاصة، مما سيضيف الى التكاليف وقد يغير اقتصاديات المشروع .

وعند النظر في ازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة، يلزم اجراء تحليل شامل لنوعية المياه حيث توجد بعض مقومات مثل الباريوم والاسترنشيوم والسليكون التي يمكن أن تؤثر تأثيرا معاكسا على معامل استرداد الوحدة . ويمكن عادة أن تحافظ عملية الديلزة بالكهرباء على معامل الاسترداد الأعلى الخاص بمياه التغذية الصعبة أكثر منه بالنسبة لعملية الأوزموزية العكسية . ويمكن أن يؤثر معامل الاسترداد تأثيرا كبيرا على الاقتصاديات .

وتعتبر درجة حرارة مصدر المياه هامة في ازالة ملوحة كل من مياه البحر والمياه الضاربة الى الملوحة . وعلى الرغم من أن المياه التغذية الدافئة بعض المزايا من الناحية النظرية، فان معظم أغشية الأوزموزية العكسية تعاني من مشاكل هيكلية في معالجة المياه الدافئة ((أكثر من حوالي ٣٥ درجة مئوية (٩٥ درجة فهرنهايت)) . ومع ذلك فان المياه الدافئة يمكن أن تكون مفيدة في حالة ازالة الملوحة بعملية الديلزة بالكهرباء حيث أنها تقلل من كمية الطاقة المطلوبة، بينما لا تتولد عنها مشاكل هيكلية بنفس الدرجة . ويمكن أن تؤثر درجة حرارة مياه التغذية المتاحة للتقطير على فعالية وحدات الوميض المتعدد المراحل حيث أن نفس المياه تستخدم كمياه تبريد لتثبيت الحرارة التفاضلية بين مسخن الملحلول الملحي والمراحل النهائية .

وقد قدرت التكاليف الكلية لمرافق السحب والتصريف لمحطة سعتها ١٩٠٠٠٠ م^3/ يوم (٥ مليون غالون في اليوم) في الولايات المتحدة في عام ١٩٨١ بما يتراوح بين حوالي ٢٨٠٠٠٠ دولار لمحطات الأوزموزية العكسية أو الديلزة الكهربائية الانعكاسية و٦٥٦٠٠٠ دولار لمحطة تعمل بالوميض متعدد المراحل متوسط أو ٨٥٠٠٠٠ دولار لمحطة تقطير متعدد النتائج (ريد، ١٩٨٢) . وتتراوح النسبة المئوية من التكاليف الرأسمالية الكلية المباشرة المصروفة على مرافق السحب والتصريف بين ٤ في المئة و٧ في المئة من التكاليف الرأسمالية الكلية .

(هـ) حجم الوحدات

يمكن أن تكون المياه الخالية من الملوحة مصدرا وحيدا أو مصدرا رئيسيا أو مصدرا تكميليا لامدادات المياه داخل احدى المناطق . وسوف يتعين ، حينما تكون ازالة الملوحة هى المصدر الوحيد للامدادات ، اجراء دراسات دقيقة لمعرفة مدى امكانية استبدال السعة القصوى للمحطة بمخزون اضافى .

واذا كانت المياه التى أزيلت ملوحتها هى المقوم الرئيسى فى نظام امداد بالمياه يحصل كذلك على كميات محدودة من المياه العذبة من مصادر جوفية يعول عليها ، فان التكلفة المثلى لخلط المياه ربما تنجم عن الابقاء على محطة ازالة الملوحة عند الحمولة الأساسية وتلبية الاحتياجات القصوى من مصادر تقليدية . وسوف يخفض ذلك من تكاليف المياه المنتجة فى محطة ازالة الملوحة وقد يقلل الحاجة الى الطاقة القصوى المأمونة للتخزين الى الحد الذى يمكن به الحصول على تلك المياه من المصدر التقليدى .

وفى الحالات التى تكون ازالة الملوحة فيها مصدرا تكميليا للامداد داخل نظام مائى ، فان تشغيل المحطة عند مستوى الحمولة الأساسية لا ينبغى بالضرورة أن يكون هو أكثر الحلول توفيرا للنفقات . فعلى سبيل المثال ، لا تعمل محطة لوك - أون - باى فى هونغ كونغ الا حينما يكون هناك عجز فى المياه الواردة من المصادر التقليدية . وحينما تستخدم محطة ازالة الملوحة لتلبية طلب الحمولة الذروى فقط فان النفقات السنوية الثابتة ستكون شديدة الوطأة على تكلفة المياه التى أزيلت ملوحتها مما يجعلها غالية نسبيا . الا أن التكلفة الاجمالية للمياه فى المزيج المائى قد تظل منخفضة نسبيا .

وسوف يتوقف اختيار أفضل محطة لموقع معين ، الى حد بعيد ، على الوفور نسبيا من رأس المال والطاقة . وقد يكون من المستصوب فى منطقة تنخفض فيها نسبيا أسعار الفائدة أو تتمتع بشروط تساهلية من جانب الحكومة المانحة أو البنك الدولى ، ويتاح فيها رأس المال بسهولة ، بناء محطات عالية الكفاية ذات طاقة اضافية لمعالجة النمو المستقبلى المتوقع . وقد ترى المناطق التى تعانى نقصا نسبيا فى رأس المال ولكنها تتمتع بمصادر للطاقة المدعومة غير المرتفعة التكلفة نسبيا أن تخفض الانفاق الرأسمالى الى الحد الأدنى من خلال تصميم محطة أقل كفاية من حيث الطاقة . وفى الغالب ، تحتاج التصميمات الأكثر كفاية من حيث الطاقة الى اهتمام أكبر بالتشغيل ، ويمكن أن تكون ذات اتجاه يؤدى الى زيادة وقت التوقف (المعامل الأدنى) ، مما قد يؤثر تأثيرا معاكسا على تكاليف الانتاج .

وتصل سعات مرافق ازالة الملوحة الحالية إلى حوالى ٩٥٠ ٠٠٠ م^{٣}/يوم (٢٥٠ مليون غالون فى اليوم) . وتنطبق اقتصاديات الحجم، على وجه التحديد على محطات الوميض المتعدد المراحل الكبيرة . وكما يمكن أن يبين الجدول الوارد أدناه، فان التكاليف الرأسمالية الكلية التقديرية للمتر المكعب فيما يتعلق بمحطات الوميض المتعدد المراحل انخفضت من ٢ر٦٦٤ دولار عند الطرف الأصغر من المقياس المدرج الى ١ر٤٤٨ دولار عند الطرف الاكبر. وتكشف تكاليف الصيانة والتشغيل السنوية المتنبأ بها عن اتجاهات مماثلة.

الحجم (م^{٣}/ يوم)	٣٨٠٠	٩٥٠٠	١٩٠٠٠	٣٨٠٠٠	٩٥٠٠٠	١٩٠٠٠٠	٣٨٠٠٠٠
عناصر التكلفة							
التكاليف الرأسمالية الكلية (دولار م^{٣}/ يوم)	٢٦٦٤	١١٩٨٤	١٧٨٠	١٧٨٠	١٥٤٥	١٤٦٣	١٤٤٨
التكاليف السنوية للصيانة والتشغيل (دولار/ م^{٣})	٦٧٠	٥١١	٤٥٠	٤٣٥	٤٠١٢١	٣٩٣	٣٩٠

المصدر : ريد ، ١٩٨٢ .

ولا تتميز اقتصايات الحجم بهذا الوضوح بالنسبة لمحطات الاوزموزية العكسية المعيارية بدرجة أكبر من حيث البناء ، بيد أنه يمكن تحقيق وفورات فى أى نمط للمحطات الكبيرة الحجم عن طريق التخفيضات النسبية فى تكاليف الموظفين والتكاليف العامة الاخرى . وربما تتكبد تكاليف زائدة فى نقل الماء المنتج من المحطات الكبيرة التى يبعد موقعها عن المراكز السكانية .

ويتوقف الحجم النهائى لمحطة ازالة الملوحة المطلوبة على : (أ) الاحتياجات الحالية (ب) معدل نمو السكان (ج) الاستهلاك المتوقع للفرد (د) معدل النمو الصناعى والاستهلاك (هـ) التكاليف النسبية للامداد بالمياه (و) انخفاض الكفاية الكلية للمحطة بمضى الوقت (ز) القرارات المتعلقة بنظام الانابيب المزدوجة، احداهما لمياه عالية الجودة لاستعمالات مثل الشرب والطهى، والاخرى لمياه أقل جودة تستعمل فى أغراض أخرى . وبمجرد أن توضع كل هذه العوامل فى الحسبان، يكون من الممكن تقرير موقع المحطة واتخاذ القرارات الاقتصادية الضرورية اللازمة لاختيار نوع العملية والتصميم المحدد للمحطة.

وعند ما تتقرر احتياجات احدى المناطق من المياه ، تصبح مشكلة الوفاء بهذه الاحتياجات مشكلة توازن بين شتى العوامل وصولا الى الترتيب الاقتصادى الأنسب . وفى كثير من الحالات ، سيكون هناك مرفق للمياه ويكون توسيع وربما تحديث هذا المرفق قيد النظر ومن ثم فان مشاكل تلبية احتياجات مائية معينة تمتد من الاحلال الكامل لمحطة عتيقة الى اضافات متزايدة للمرافق القائمة . وفى حالات أخرى سوف تفتح محطات ازالة الملوحة مجالات وأنشطة جديدة . وهكذا تتوقف طاقة المحطة بشدة على المتطلبات المعينة للمنطقة التى تقام فيها .

ويختلف الطلب على المياه فى أى موقع داخل فترة زمنية قدرها ٢٤ ساعة وطبقا للمواسم ، ومن سنة الى أخرى . ولا تسفر الاختلافات اليومية عن مشاكل جادة حيث أن بعض المخزون يكون لازما على الدوام لمواجهة الحمولات القصوى وحالات التوقف . وتعتبر الاختلافات الموسمية أكثر جدية . فعلى سبيل المثال، قد تكون الاحتياجات اليومية فى الصيف فى بعض المناطق ضعف أو ثلاثة أمثال المتطلبات اليومية فى الشتاء . ويزيد الطلب أثناء الموسم السياحى الشتوى فى جزر الكاريبى ، أو الموسم السياحى الصيفى فى الجزر اليونانية ، على سبيل المثال ، على المياه عن ضعف الطلب عليها فى غير هذا الموسم . وعموما ، تكشف المناطق السكنية عن اختلاف أكثر من المناطق الصناعية مع تماثل الاستهلاك الاجمالى .

ومن أجل مواجهة التفاوتات فى الطلب، يكون من المستصوب على الدوام ايجاد توازن بين معامل الحمولة الأساسى للمحطة وحجم صهاريج التخزين والمرافق الاحتياطية المتاحة . واذا كان من المقرر أن تكون المرافق الجديدة مرافق اضافية للمرافق القائمة ، فمن المرجح أن يكون هناك مخزون كاف بالفعل . وهكذا يصبح تشغيل مرافق المياه مجرد مسألة ابقاء التكاليف الكلية عند الحد الأدنى من خلال الاستخدام المتنوع للمرافق الكلية . وحينما تمثل وحدة جديدة مرفقا جديدا تماما ، فانه يتعين ايجاد توازن بين المخزون وبين حمولة المحطة للوصول الى أفضل توليفة للمجال المحدد قيد النظر .

(و) الكفاية والموثوقية

تتوقف الموثوقية المطلوبة من محطة لازالة الملوحة على عوامل محلية ، خاصة ما اذا كانت هناك مرافق تكميلية متاحة للامداد بالمياه يمكن استخدامها فى الأغراض الاحتياطية . واذا كانت موارد المياه التكميلية كافية لتلبية الحجم الأقصى للطلب حينما تكون محطة ازالة الملوحة قيد التشغيل ، فانه سيكون من الممكن تخفيض سعة المخزون التى قد تكون ضرورية ، من نواح أخرى ، كضمان ضد تعطل

المحطة الرئيسية . وعندما تكون موارد المياه التكميلية غير متاحة يكون من الضرورى اقامة محطة ذات موثوقية أكبر بالاضافة الى سعة تخزين كافية .

وتبدى صناعة ازالة الملوحة ميلا مستمرا نحو زيادة كفاية مختلف عمليات ازالة الملوحة بغية تخفيض تكاليف التشغيل . وتشمل أمثلة هذا الاتجاه محطات التقطير المصممة بمواصفات أداء أعلى ، ومرافق الاوزموزية العكسية المزودة بنظم استرداد الطاقة. بيد أن المحطات ذات الكفاية الاعلى تتجه الى أن تكون أكثر تعقيدا ، الى حد ما ، فى التصميم والتشغيل ، وتحتاج بالتالى الى عناية أكبر فى التشغيل والصيانة. واذا تم التغاضى عن هذه العناية الاضافية ، فان مشاكل تشغيليه جادة يمكن أن تنجم عن ذلك ، من شأنها التقليل من أية فوائد متوقعة.

وينبغى أن تكون امكانية الوثوق فى تشغيل موضع قلق بالغ لأنه بصرف النظر عن كفاية المحطة عندما تكون فى مرحلة التشغيل ، فان موثوقيتها تكون صفر حينما تكون المحطة متعطلة . وهذا يشكل أهمية خاصة فى البلدان النامية حيث قد يكون من الصعب تعبئة أعداد كافية من موظفى التشغيل المدربين ، وخاصة حينما تعتمد احدى المناطق بشكل أساسى على المرفق فى توفير امداداتها من المياه . وفى مثل هذه الحالات يكون من الصعب عادة الحصول على موارد بديلة كما يكون الحصول عليها مكلفا للغاية . وتزداد الموثوقية بوجه عام عن طريق التصميم السليم والمواد الجيدة وبساطة التشغيل .

وثمة مؤشر جيد على موثوقية المحطة يتمثل فى أداء المحطات القائمة ذات الحجم المحدد وعملية التشغيل فى ظل ظروف مماثلة . ويمكن تقييم أداء تلك المحطات وقدراتها ومشاكلها على أحسن وجه عن طريق : (أ) زيادة المحطات الجارى تشغيلها وفحص بيانات وسجلات الاصلاح و(ب) بحث تشغيل المرافق مع موظفى التشغيل وممثلى الشركات الصانعة .

وسوف تتوقف درجة الموثوقية اللازم توفيرها ، الى حد ما ، على الفئات المختلفة للمستهلكين المرتبطين بالنظام المائى . وسيتم تعزيز الموثوقية باقامة عدد من وحدات ازالة الملوحة وليس وحدة واحدة كبيرة . وسيتضمن ذلك بالطبع التضحية ببعض الوفورات ولكن هذا يمكن اعتباره جزءا من تكلفة تعزيز الموثوقية .

(ز) تصريف المياه الملحة

تعالج عمليات ازالة الملوحة الوارد وصفها فى الفصول السابقة المياه الملحة وتنتج تيارا مائيا ينخفض فيه اجمالى الجوامد المذابة ، وتيارا ملحيا (أو طاردا) تكون نسبة تركيز اجمالى الجوامد المذابة فيه أعلى بكثير منه بالنسبة لمياه التغذية .

ويتعين تصريف التيار الملحى فى مكان ما . وفيما يتعلق بالمرافق التى تقع بالقرب من الشاطئ ، لا يشكل الصرف بوجه عام أى مشكلة . ويتعين وجود نظام لتصريف المحلول الملحى من محطات ازالة الملوحة المنشأة على مقربة من البحر . وينبغى أن يكون نظام التصريف بعيدا بما فيه الكفاية عن نظام سحب المياه غير المعالجة لكى لا تحدث اعادة توزيع . وقد يحتاج هذا الى دراسة لاتجاه التيارات وقوتها .

وفيما يتعلق بالمرافق الموجودة فى الداخل ، يمكن أن يمثل تصريف المحلول الملحى مشكلة خطيرة ، ذلك أن تصريف المحلول الملحى بطريقة غير سليمة ، بما يحتويه من درجة عالية من الملوحة يمكن أن يلوث المياه الجوفية أو المياه السطحية الموجودة . وهو بوجه عام مالح الى حد أنه لا يصلح لأغراض الرى وبالتالى فان خيارات الصرف محدودة . وتتضمن بعض الطرق التى استخدمت ، التبخير فى برك شمسية أو مبخرات حرارية تقليدية أو حقن مناطق محدودة من المياه الجوفية شديدة الملوحة ، أو نقل المحلول الملحى الى مسطح من المياه الملحة .

وربما يحدث التصريف فى مجرى مائى ما ، وفى مجرى من المياه الضاربة الى الملوحة ، مشاكل تلوث كيميائى قد تمتد أميالا كثيرة فى اتجاه المجرى . وتعتبر برك التبخير هى أكثر الطرق شيوعا للتخلص بأمان من المحلول الملحى ولكنها مكلفة وتحتل حيزا كبيرا . ويتعين تقدير تكلفة البرك مقابل نفقات استخدام وتشغيل نظام لازالة الملوحة له قدرة عالية على الاسترداد يقلل الى الحد الأدنى من كمية المحلول الملحى المتخلف (ولكن ليس كمية الملح كلها) وحجم نظام التصريف النهائى .

وهناك خيار آخر يتمثل فى احتجاز المحلول الملحى عن طريق آبار حقن وذلك فيما يتعلق بالمحطات المقامة فى الداخل . وليست كافة المناطق ملائمة لحقن المحلول الملحى بأمان وستكون هناك حاجة الى اجراء مسح هيدروجيولوجى للمنطقة اذا كان هناك تفكير فى حقن المحلول الملحى تحت سطح الأرض عن طريق الآبار . واذا شيد مرفق الحقن على نحو غير سليم ، فانه يمكن أن يلوث المياه الجوفية فى منطقة كبيرة . بيد أنه بالتشييد والتشغيل السليمين ، فقد يمثل حقن المحلول الملحى فى الطبقات الواقعة تحت سطح الأرض أنسب حل عملى لمشاكل التصريف فى الداخل . ويتعين أن يوضع فى الحسبان أثناء التخطيط أنه لم يتوفر بعد قدر كبير من الخبرة الطويلة الأجل فى تصريف المحاليل الملحة بأمان من مرافق ازالة الملوحة المقامة فى الداخل .

ولا ينبغى السير قدما فى مشروع الا اذا تم تحديد طريقة مقبولة لتصريف المحلول الملحى . ولا يكتمل التقييم الاقتصادى لأى نظام لازالة الملوحة بدون

أن يشمل تكاليف عملية تصريف المحلول الملحى . وحينما يمثل تصريف المحلول الملحى مشكلة خطيرة فانه يمكن أن يؤثر على الاختيار النهائى للعملية وقابلية المشروع للبقاء .

وقد يكون من الممكن فى بعض الحالات استرداد بعض العناصر الكيميائية الثمينة من المحلول الملحى . ويتوقف ذلك على السوق المحلية والظروف المناخية . واذا كان من المتوخى استخلاص منتجات جانبية ، فقد يظل من غير العملى استعمال محطة لازالة الملوحة فى الحصول على تركيزات عالية من متخلفات المحلول الملحى لأن ذلك يطرح فى المقام الأول مشاكل خاصة بالمعالجة والتقشر نظرا للاقتراب من حدود الذوبانيه . وسيكون من الأفضل ضخ المحلول الملحى الى أحواض وترك الترسيب والتجفيف النهائى يتم بالتبخير الشمسى . وكنموذج لكميات الملح المتاحة ، فان التيار الملحى الذى يمر من محطة سعتها ٨٠٠ ٣ م^{٣} / يوم (١ مليون غالون فى اليوم) مقامة على شاطئ البحر يمكن أن ينتج من ١٥٠ ٠٠٠ الى ٢٥٠ ٠٠٠ كغم ملح فى اليوم .

(ح) <u>النقل والتوزيع</u>

من الممارسات الجارية النظر الى التكاليف فى المحطة على أنها التكلفة النهائية الفعالة للمياه التى أزيلت ملوحتها ، الا أنه فى حين يشير هذا ، على وجه الخصوص، الى تكاليف الانتاج فانه لا يدخل فى حسابه تكاليف النقل من مكان المحطة الى مدخل شبكة التوزيع . وبغض النظر عن أن المتطلبات المكانية للمحطة قد تستدعى استثمارات كبيرة فى النقل . فان هذا البند قد يصبح هاما لدى مقارنة ازالة الملوحة بالنسبة لمصدر بديل قد يكون أقرب الى مركز الاستهلاك أو أبعد منه . ومن ثم يتعين ادراج هذا البند لدى حساب اجمالى تكاليف المياه من أى مصدر شاملة ازالة الملوحة .

وقد أثيرت مسألة ما اذا كانت تكاليف الانتاج وتكاليف النقل ينبغى حسابها كرقم موحد أم يحسب كل منهما على حدة لدى تحديد تكلفة المياه المسلمة سائبة . واذا كانت المقارنة بين مختلف طرق الانتاج أمرا مستصوبا وكانت تكلفة النقل تمثل بندا كبيرا ، يكون من الواضح وجوب حساب كل منهما على حده . وعلاوة على ذلك فان معدل الترسيب ليس متماثلا فى كل من خطوط الأنابيب ومحطات ازالة الملوحة ، كما أن نفس الفاصل الزمنى غير قابل للتطبيق بالنسبة لكليهما . ويمكن أن تستهلك محطة منتجات خلال ٢٥ سنة الا ان خط الأنابيب يكون عمره المثمر أطول بكثير .

ويمكن أن تمثل تكاليف نقل المياه التى أزيلت ملوحتها عنصر تكلفة كبير استنادا الى كمية المياه والمسافة وتضاريس المنطقة ، ويتعين النظر فيه فى المراحل الأولى من تخطيط السعة الجديدة أو الاضافية .

وقد يصلح الجدول ٩ كنموذج توضيحى لكيفية حساب تكاليف نقل المياه .

وقد لا يتعين من جهة أخرى ادراج تكاليف التوزيع فى الحسابات المقارنة حيث أنها ستكون نفس التكاليف بصرف النظر عن مصدر التموين على الرغم من أنها ربما تمثل فى كل الحالات عنصرا كبيرا أو رئيسيا فى تكلفة المياه التى تنقل الى المستهلكين .

ويمكن أن يكون قسم التوزيع فى شبكة للمياه أساسيا وبسيطا كالمياه المحمولة باليد من صنبور مركب على أحد الصهاريج ، أو يكون معقدا كشبكة كاملة للتوزيع عبر أنابيب . وينبغى أن يكون نمط شبكة التوزيع معروفا منذ بداية المشروع حيث أنه سيؤثر على الاستهلاك .

وحيثما يجرى التوزيع باستخدام شبكة أنابيب موجودة بالفعل يكون من الحكمة أن تحدد كمية المياه التى تصل الى المستهلك بالفعل من المياه الداخلة فى شبكة التوزيع . ويمكن أن تؤدى شبكة التوزيع السيئة التصميم والانشاء و/أو الصيانة الى فقد جزء كبير من المياه الداخلة فى الشبكة ولا تستطيع بعض أنظمة التوزيع فى منطقة الكاريبى التى تستخدم مياها ازيلت ملوحتها كمصدر رئيسى أن تقدم حسابا عن نسبة ٤٠ الى ٥٠ فى المئة من المياه الداخلة فى الشبكة ويرجع هذا الى مجموعة من العوامل كالتسرب والتوصيلات غير المباحة والعدادات غير الدقيقة ، مما يؤدى الى ايرادات أدنى وتكاليف متزايدة للوحدة .

وكجزء من أى شبكة للتوزيع ، ينبغى أن تشتمل الشبكة على مخزون كاف لتلبية الطلب الأقصى و/أو اتاحة الفرصة للتوقف فى وحدة ازالة الملوحة لاجراء عمليات صيانة مخططة كافية واصلاحات غير المخططة .

الجدول ٩ - تكاليف نقل المياه : طريقة للحساب

أ - متوسط معدل التدفق السنوى ..... ـــــ م٣/ يوم (مليون غالون فى اليوم)

ب - اجمالى المفقود من الطاقة الناتج عن احتكاك السائل بالأنبوب ..... ـــــ م/ كم × عدد الكيلو مترات

ج - صافى فرق الارتفاع ..... ـــــ م

د - اجمالى العلو المطلوب (ب + ج) ..... ـــــ م

هـ - الطاقة المطلوبة عند ٠ر٤ كيلو واط ساعة/ ٨ر٣ م٣ (١٠٠٠ غالون) لكل ٥ر٣٠ م علو

$$\frac{\text{٠ر٤} \times \text{أ} \times \text{د}}{\text{١٠٠}}$$ ..... ـــــ كيلو واط ساعة

و - تكاليف الطاقة فى مصانع y لكل كيلو واط ساعة (y.e/a) ..... ـــــ سنتات لكل م٣

ز - التكاليف الكلية لخطوط الأنابيب ..... ـــــ دولار كم × عدد الكيلو مترات

ح - النفقات الثابتة السنوية عند z فى المئة (z.g/a) ..... ـــــ سنتات/ م٣ (١٠٠٠ غالون)

ط - التكاليف الكلية للمسافة المتضمنة (و + ح) ..... ـــــ سنتات/ م٣ (١٠٠٠ غالون)

المصدر : Adapted from Water Desalination; Proposals for a Costing Procedure and Related Technical and Economic Considerations (United Nations Publication) Sales No. 65.11.B.5 .

حاشية : البارامترات كالنفقات السنوية الثابتة وتكاليف الكهرباء وتكلفة الكيلو متر الواحد من الأنابيب سوف يتعين تعديلها فى كل حالة حسب الظروف المحلية .

٣ - اعتبارات الطاقة

فيما يتعلق بمعظم عمليات ازالة الملوحة ، تستأثر تكاليف الطاقة بنسبة ٤٥ الى ٨٥ فى المئة من تكاليف الصيانة والتشغيل اليومية الخاصة بالمياه المنتجة ، ومن ١٥ الى ٤٠ فى المئة من اجمالى التكاليف السنوية شاملة الرسوم الرأسمالية . ويتضمن الجدول ١٠ النسب المئوية التقريبية المنفقة على الطاقة فى عينة نموذجية من محطات ازالة الملوحة فى الولايات المتحدة . ومع زيادة المحطات من حيث الحجم تزداد النسب المئوية للتكاليف المنفقة على الطاقة . ولذلك فانه بالنسبة لمحطات الوميض المتعدد المراحل ذات الحجم الكبير جدا ، ربما تكون تكاليف الطاقة أكثر من ٨٥ فى المئة من تكاليف التشغيل والصيانة . وبالرغم من ان الطاقة تستغل بعملية خاصة لانتاج كمية معينة من المياه يمكن تقديرها بشئ من الدقة ، فان تكاليف تلك الطاقة تختلف بشدة بين العمليات والمواقع، الأمر الذى يتوقف على مصدر الطاقة ومعدلات الحرارة والاستخدام السابق وطريقة المحاسبة المستخدمة . وبالتالى يتعين التحقق من تكاليف الطاقة على أساس مواصفات الموقع . ويمكن أن تكون التكاليف الحقيقية للطاقة فى حدود ١٠ر. من الدولار الى ٣٠ر من الدولار لكل كيلوواط ساعة وأكثر فى البلدان النامية خاصة حينما تستخدم مولدات صغيرة . وعلى أية حال ، يلزم اجراء تقدير دقيق للغاية لتكاليف الطاقة بالنسبة لمحطة وعملية معينتين ، حيث أنه سيظل المتغير الأكثر أهمية فى تكاليف انتاج المياه .

(أ) اختيار مصدر للطاقة لازالة الملوحة

يتوقف اختيار عملية لازالة الملوحة على عوامل كثيرة، ولكن من بين العوامل الرئيسية : نوع الطاقة المتاحة، والعرض، ومخرجات المحطة المطلوبة . وتتطلب بعض العمليات نوعا معينا من الطاقة ذلك أن مصانع التقطير (الوميض المتعدد المراحل، والتقطير المتعدد التأثير) تستخدم في المقام الأول بخارا مستمدا من غلاية أو مصدر تسخين آخر بالاضافة في أغلب الاحيان الى وحدة لتوليد الطاقة الكهربية . وتعمل محطات الاوزموزية العكسية بوجه عام بالكهرباء كمصدر أساسي للطاقة بينما تستخدم محطات الدليزة بالكهرباء الانعكاسية تيارا مستمرا . وتعمل مبخرات ضغط البخار بالكهرباء أو البخار ذى الضغط العالي أو وسائل تدوير تعمل بالديزل .

ويمكن الحصول الطاقة الخاصة بتشغيل المحطة من مصادر متنوعة، الأمر الذى يتوقف على تصميم المحطة وموقعها الجغرافي وعوامل أخرى . ومن المفضل أن تستند المقارنة الاقتصادية الملائمة لمختلف مصادر الطاقة الى تكاليف الطاقة وليس الى تكاليف الوقود للطن الواحد .

ويتعين النظر كذلك في مسألة ما اذا كانت الطاقة تشترى من مصدر خارجي للاستخدام في محطة لازالة الملوحة، أو ما اذا كانت تولد في الموقع كجزء من مشروع موحد . وتنطبق هذه الاعتبارات كذلك على مسألة امدادات الكهرباء المطلوبة لادارة ملحقات المحطة المختلفة . وتستخدم أنظمة التقطير الكبيرة عادة البخار المستخرج من طرق التوربين منخفض الضغط من محطة لتوليد الكهرباء حيث ينتج البخار اللازم للتوربين بواسطة غلاية تسخن بالنفط أو الغاز الطبيعي أو الفحم . وفيما يتعلق بالمحطات الغشائية تشترى عادة الكهرباء من مرفق محلي بالاسعار السائدة في المنطقة على الرغم من أن محركات الدفع المباشر قد استخدمت لتوليد الطاقة لبعض وحدات الاوزموزية العكسية لمياه البحر . وللاغراض الخاصة بتقدير التكلفة، ينبغي أن تكون تكاليف الطاقة المستخدمة هي متوسط التكاليف السنوية للطاقة محسوبا من اجمالي الطاقة المشتراه واجمالي المبلغ المدفوع.

(ب) الوميض المتعدد المراحل في مواجهة الاوزموزية العكسية

تعتبر امكانية تخفيض استخدام الطاقة هي العامل الرئيسي الذى يشجع استخدام الاوزموزية العكسية لمياه البحر على استخدام أنظمة الوميض المتعدد المراحل لازالة ملوحة مياه البحر خاصة فيما يتعلق بالمحطات الصغيرة الحجم .

وعلى الرغم من أنه يبدو، نظريا، أن وحدات الاوزموزية العكسية لمياه البحر تستخدم طاقة أقل من وحدات الوميض المتعدد المراحل لانتاج كمية مياه

الجدول ١٠- محطات ازالة الملوحة : النسبة المئوية التقديرية للتكاليف المنفقة على الطاقة

حجم المحطة / نوع المحطة	٣٨٠م٣/يوم (١٠٠٠٠٠ غالون في اليوم)		٨٠٠ ٣م٣/يوم (١ مليون غالون في اليوم)		٠٠٠ ١٩ م٣/يوم (٥ مليون غالون في اليوم)		٠٠٠ ٣٨م٣/يوم (١٠ مليون غالون في اليوم)		٠٠٠ ١٩م٣/يوم (٥٠ مليون غالون في اليوم)		٠٠٠ ٣٨٠م٣/يوم (١٠٠ مليون غالون في اليوم)	
	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية	نسبة مئوية من التشغيل والصيانة	نسبة مئوية من اجمالي التكاليف السنوية
وميض متعدد المراحل التسخين بالنفط	...	...	٦٥	٢٢	٨٢	٣٢	٨٢	٣٣	٨٥	٣٤	٨٦	٣٦
تقطير متعدد النتائج التسخين بالنفط	...	...	٦٤	٢٥	٨٢	٣٦	٨٥	٣٩	...	...	...	...
الاوزموزية العكسية للمياه البحر (استرداد الطاقة)	٤٥	٣١	٥٢	٣٣	٥٨	٣٨						
الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة	...	...	٤٤	٢٦	٥٦	٣٣	٥٩	٣٥	٦٢	٣٨	...	...
الديلزة بالكهرباء الانعكاسية												
رقم ١	...	...	٤٨	٢٠	٦٠	٢٤	٦٥	٢٦	...	...	...	...
رقم ٢	...	...	٦١	٢٩	٧٠	٣٤	٧٤	٣٦	...	...	...	...

المصدر : Adapted from A.S., Reed, Desalting Sea Water and Brachish Waters; 1981 Cost Update up, cit.

-103-

متكافئة ، فان الموضوع ليس بهذه السهولة . فالاوزموزية العكسية لمياه البحر تستخدم طاقة د واره (محرك يعمل بالكهرباء في العادة) لزيادة ضغط مياه التغذية الى د رجة (تتراوح بين ٥٤ و ٦٨ غلاف جوى (من ٨٠٠ الى ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة)) يمكن معها ازالة ملوحتها بفعاليه باستخدام الاغشية . ويحتاج التقطير باستخدام عملية الوميض المتعدد المراحل الشائعة الى طاقة حرارية لرفع د رجة الحرارة والمحتوى الحرارى لمياه التغذية كى تغلى وتنتج بخارا يمكن تكثيفة الى ماء عذب.

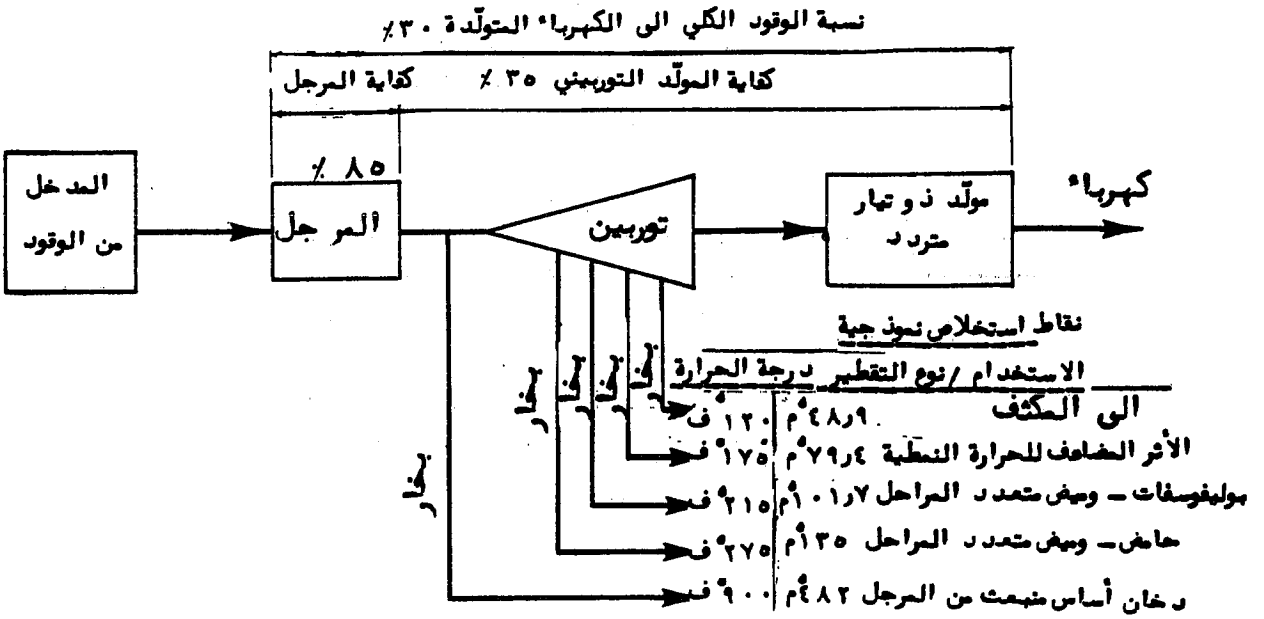
واذا اختزلت تلك الطاقات الى مصطلحات عامة مثل كيلوواط ساعة فان متطلبات الاوزموزية العكسية لمياه البحر من الطاقة ستكون حوالى ٩ كيلوواط ساعة/م^3 (٣٤ كيلوواط ساعة/١٠٠٠ غالون) و ٦٣ كيلوواط ساعة/م^3 (٢٤٠ كيلو واط ساعة/١٠٠٠ غالون) فيما يتعلق بوحدة تعمل بالوميض المتعدد المراحل تتميز بالكفاءة . الا أنه على الرغم من أن وحدة الاوزموزية العكسية لمياه البحر تتمتع فيما يبد و بميزة استهلاكها لطاقة قدرها حوالى ٨٠٠ فى المئة ، فان الطاقات ليست متكافئة من حيث التكلفة . فالطاقة الحرارية خاصة البخار المنخفض الضغط المستخرج من توربين يمكن أن تكون اقل تكلفة بد رجة كبيرة من الطاقة الكهربائية . واذا كان اختيار احدى عمليات ازالة ملوحة مياه البحر يتوقف بشدة على تكلفة الطاقة بالنسبة لكل عملية ، فانة ينبغى تقدير التكلفة بواسطة خبير فى هذا الميدان نظرا لان هذه مسألة معقدة .

واذا أريد خفض استهلاك الوقود الى الحد الادنى ، كما هو الحال فى البلدان المستوردة للوقود ، فان المشترى قد يفكر اما فى محطة تقطير ذات معدل اداء عال أو محطة للاوزموزية عكسية مع استرداد الطاقة . وستكون التكاليف الرأسمالية الاولية أعلى بالطبع ولكن تكاليف التشغيل ستكون أقل . وحينما يكون الوقود المحلى متاحا بتكلفة منخفضة أو فى حالة المحطات المزدوجة الغرض، يمكن أن يصمم المحطة بكفاية د ينامية حرارية أدنى ، وبذا يقتصد فى التكاليف الرأسمالية خاصة فى النقد الاجنبى .

٤- المحطات الثنائية الغرض في مقابل الوحيدة الغرض

فى كثير من المواقع التى تحتاج الى المياه بشكل متزايد يوجد أيضا طلب متزايد على الكهرباء . وفى مثل هذه الظروف قد يكون من المفيد تماما الجمع بين انتاج كلا المنتجين فى محطة ثنائيه الغرض . وتستخدم معظم المحطات محطات توليد القدرة الكهربائية والوقود الحفرى غلايات بخارية وتربينات لتوليد الكهرباء . مثال ذلك ، أن الوقود الزيتى قد يحترق عند د رجة حرارة ١٠٠٠ مئوية (٢٠١٢ر٢ د رجة فهرنهايت) لتوليد بخار عند د رجة حرارة ٥٤٠ مئوية

(٤٠٠ر١ درجة فهرنهايت) ثم يتم تمديد البخار من خلال توربين يحرك مولد كهربائى . وعندما تكون الطاقة قد استهلكت وانخفضت درجة حرارة البخار الى حوالى ٥٠ درجة مئوية (١٢٢ درجة فهرنهايت) فانها تلفظ كنفايات فى محطات توليد القدرة المزودة بتوربينات تقليدية لتكثيف البخار . ثم يعود الوقود المكثف الى الغلايات كمياه لاعادة التسخين . ويمكن استخدام هذه الحرارة المنخفضة المرتبة ، التى تطرد ، على نحو غير ذلك فى شبكة التبريد ، كمصدر للطاقة الحرارية فى أنظمة التقطير . وتبنى التوربينات البخارية مزودة بمآخذ استخراجية كيما يمكن استخراج البخار عند درجة الحرارة المطلوبة من جانب التوربين . وعندما يتم بناء التوربين لن يكون من الممكن تغيير هذه المآخذ بسهولة . وهكذا يمكن استخدام البخار مرتين ، مرة لادارة التوربين (لتوليد الكهرباء) ومرة أخرى فى رفع درجة حرارة مياه البحر لاتاحة الفرصة للتقطير . ومن الطبيعى أنه يتعين استخراج البخار للاستخدام وهو فوق درجة حرارة التكاثف . وحينما يحدث ذلك تفقد بعض الطاقة التى كانت ستستخدم على نحو غير ذلك فى التوربين . وغالبا ما تكون قيمة هذه الطاقة المفقودة هى قيمة البخار المستخدم لوحدة التقطير . ويشار الى المرافق التى تستخدم بخارها فى أكثر من غرض واحد على أنها محطات مزدوجة الغرض . ويبين الشكل الرابع رسما تخطيطيا لمحطة مزدوجة الغرض .



الشكل رقم ٤ ـ رسم تخطيطي لمحطة مزدوجة الغرض

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

وتتمثل الميزة الكبرى للمحطة المزدوجة الغرض فى أنها تخفض بشدة من استهلاك الوقود بالمقارنة بوحدتين منفصلتين تولدان منتجين مختلفين . فعندما يستخدم البخار المستخرج من وحدة لتوليد القدرة فى محطة لازالة الملوحة فان تكلفة البخار تكون أقل بنسبة من ٦٠ الى ٨٠ فى المئة منها فى محطة للمياه فقط (كوكس، ١٩٧٩) . وأوضحت الدراسات أن الوفورات يمكن أن تضيف مايصل الى ٢٥ فى المئة حينما تقارن التكاليف الاجمالية لمحطة مزدوجة الغرض مع التكاليف الاجمالية لمحطة لازالة الملوحة ومحطة قوى تعمل كل منهما على حده فى نفس الموقع وفى نفس الظروف وتنتج نفس كمية الكهرباء والمياه (كونستيل وجانيش، ١٩٧٩) . ويمكن تحقيق وفر فى كل من تكاليف الاستثمار والتشغيل عن طريق الاستخدام الموحد لمرافق عامة والعمال وادارة المحطة .

وتجمع المحطات الثنائية فى الغالب الاعم بين محطة قوى كهربائية ووحده للتقطير تعمل بالوميض المتعدد المراحل . وقد طبق ذلك على نطاق واسع فى الشرق الاوسط وشمال افريقيا .

ومن الامور الاساسية قبل انشاء محطة مزدوجة الغرض أن تدرس مميزات كل طلب على حدة بالنسبة لكل من الكهرباء والمياه بغية تقييم مدى ملاءمة ادراجها فى شبكة مشتركة . وما أن يتم تصميم وانشاء شبكة مزدوجة الغرض فان نسب مخرجات المياه والكهرباء تكون ثابتة بدرجة كبيرة ، ولا يمكن تغييرأيهما الا بانفاق اضافى . والعيب الرئيسى للمحطات المزدوجة الغرض هو أنها تصبح متداخلة . فاذا لم تعمل وحدة توليد القدرة ، لا يكون هناك بخار لوحدة ازالة الملوحة . واذا لم تعمل محطة ازالة الملوحة ، لايكون هناك مكثف للبخار . وللابقاء على كلا الوحدتين فى وضع تشغيل بصرف النظر عما يحدث لاحداهما أو للاخرى ، يلزم تركيب معدات اضافية أو جاهزة للعمل . ومن الممارسات الجيدة كذلك زيادة الموثوقية بتركيب وحدات متعددة وليس وحدة كبيرة واحدة .

وقد يتأثر موقع المحطة المزدوجة الغرض الى حد كبير بالموقع الذى اختير لوحدة ازالة الملوحة . وقد لا يكون هذا الموقع بالضرورة هو الانسب لانتاج الكهرباء وفى هذه الظروف قد ترتفع التكاليف بسبب توفير مرافق اضافية لنقل الكهرباء الى موقع المحطة المزدوجة الغرض، ولم تكن هذه التكاليف لترتفع اذا كان موقع وحدة توليد الطاقة الكهربائية قد تحدد وفقا لمعايير محطة توليد القدرة . كذلك قد يساعد اجراء مسح للطلب الجارى والمستقبلى على المياه والكهرباء فى اختيار الموقع الامثل .

وعند تقدير اقتصادات المحطة المزدوجة الغرض، تتمثل الصعوبة الرئيسية فى تخصيص التكاليف المشتركة المختلفة بين المياه والكهرباء . وغالبا ما يكون القرار تعسفيا . قد يؤثر هذا بشدة على التكاليف الخاصة بكلا المنتجين وتشويه المقارنات

وبغية التصدى لهذه المشكة ، نفترض أن منتجا واحدا (الكهرباء مثلا) هو المخرج الاساسى للمرفق وان المنتج الثانى (المياه) منتج جانبى . فى هذه الحالة المتطرفة ، تتقرر قيمة للكهرباء تتحدد بالتكاليف التقديرية لانتاج ارخص الوسائل البديلة لانتاج نفس الكمية من الكهرباء . وتكون تكاليف انتاج المياه حينئذ هى اجمالى التكاليف السنوية لانتاج المحطة مطروحا منها القيمة السنوية المخصصة للكهرباء (الامم المتحدة ، ١٩٦٥) .

وقد كان الاجراء الذى استخدمه من قبل مرفق المياه الملحة فى الدراسات الخاصة بتكاليفه أكثر تعقيدا . وتطلبت طريقة مرفق المياه الملحه تصميم وحدتين منفصلتين تماما ، تخصص لكل منهما تكاليفها . ثم توحد الوحدتين فى محطة مزدوجة الغرض ، وتوزع التكاليف الخاصة بالعناصر التى تستخدم بصورة مشتركة (مثل نظم سحب وتصريف مياه البحر ، وغرف التحكم ، والانابيب والالات المستخدمة فى الشبكة ، واستخدام المياه وعمال التشغيل والصيانة) كدالة لتكاليفهما كل على حدة .

وثمة طريقة أخرى لتوزيع التكلفة المشتركة هى توزيعها نسبيا على أساس حرارى ، وفيها تخصص التكاليف السنوية الكلية للطاقة والمياه على أساس النسبة المئوية من الطاقة الحرارية المستخدمة فى كل منها . وهذه الطريقة أو طريقة مماثلة يتعين ، على الاقل ، أن تستخدم لتخصيص قيمة عادلة للبخار الذى تستخدمه محطة ازالة الملوحة بغية اجراء مقارنات مع الاشكال البديلة من المحطات . ويؤدى البخار المستخرج عند ضغط مخفض لتستخدمة محطة ازالة الملوحة مهمة كبيرة بالفعل ومن بين طرق تقدير قيمة ذلك البخار هو تقديرها وفقا للعمل الذى لايزال من الممكن القيام به على اساس محتواه الحرارى . فكلما كانت حرارة البخار المستخرج أعلى كانت التكاليف أكثر . وهذه الطريقة موضحة فى الجدول ١١ .

الجدول ١١ - طريقة لحساب تكاليف البخار المزدوج الغرض (أ)

١		٢	٣		٤
درجة حرارة استخراج البخار			العمل الممكن استخدامه فوق درجة حرارة التكثيف		
(درجة فهرنهايت)	(درجة مئوية)	المحتوى الحراري للبخار وحدة حرارية بريطانية لكل رطل انكليزي	الكمية وحدة حرارية بريطانية لكل رطل انكليزي	النسبة المئوية من المجموع	قيمة البخار المستخرج كنسبة مئوية من تكلفة البخار
٩٠٠	٤٨٢	١٫٤٤٨	٥١٦	١٠٠	١٠٠
٢٧٥	١٣٥	١٫١٣٣	٢٠١	٣٩	٣٩
٢١٥	١٠١٫٧	١٫٠٥٧	١٢٥	٢٤٫٢	٢٤٫٢
١٧٥	٧٩٫٤	١٫٠٢٠	٨٨	١٧٫١	١٧٫١
١٢٠	٤٨٫٩	٩٣٢	٠٠	٠	٠

المصدر: B.R. Cox, "Energy costs of various desalting processes" Pure Water, Vol, 8,No. 4 (Englewood, New Jersey, 1979).

(أ) يبين هذا الجدول طريقة نموذجية لحساب تكلفة استخراج البخار على أساس العمل القابل للاستخدام (المحتوى الحراري) المتاح. ويمكن بل ويجرى استخدام طرق اخرى فى تخصيص تكاليف البخار المستخرج أو الضغط المرتد فى محطة مزدوجة الغرض.

الا ان درجات الحرارة الاعلى تسمح لمحطات التقطير اما بان تخفض التكاليف الرأسمالية أو بان تنتج مزيدا من المياه . ومن ثم فان درجة حرارة الاستخراج المثلى هى حل اقتصادى توفيقى بين زيادة تكلفة استخراج البخار مصحوبة اما بتكلفة مخفضه لمحطة ازالة الملوحة أو بزيادة المخرجات . وعند ما يستخرج البخار من وحدة توليد القدرة يكون هناك التضحية فى كمية القدرة التى يمكن انتاجها لكل وحدة وقود واحده . بيد أن هذا لايزال اقل من الـ ٢٠٠ فى المئة اللازمة لمحطتين منفصلتين .

ويتعين الا يغيب عن الاذهان ان الاستخراج التوربينى يجب ان يصمم حسب درجة الحرارة التى تستخدمها محطات ازالة الملوحة . ويعد هذا اعتبارا هاما بشكل خاص لدى انشاء محطة جديدة لازالة الملوحة تستخدم بخارا من وحدة موجوده لتوليد الكهرباء . وتقدر قيمة البخار بوجه عام عند درجة حرارة التشبع (عند ضغط معين) يستخرج عندها من التوربين ، وليس درجة الحرارة التى يستخدم عندها البخار فى محطة ازالة الملوحة (كوكس، ١٩٧٩) .

ويمكن استخدام طرق أخرى لحساب التكاليف استنادا الى : التوزيع على أساس نسبة القدرة المتولده قبل افراغ البخار فى محطة المياه الى القدرة الاضافية التى كان من الممكن توليدها بدون محطة المياه ، والتخصيص على أساس الايراد حينما تكون معدلات كل من المياه والقدرة مسبقا . بيد أن هذه الطريقة تثير صعوبات حينما يكون هناك هيكل قائم للقدرة أو لمعدلات المياه التى لها علاقة يسيرة جدا بتكاليف الانتاج .

٥ - اعتبارات خاصة فى البلدان النامية

(أ) مصدر التمويل والنقد الاجنبى :

ينقسم تمويل مشروع لازالة الملوحة فى احد البلدان النامية ، فى بعض الاحيان ، بين وكالتين أو هيئتين ، تكون احداهما وكالة للمعونة الخارجية أو مصرف أجنبى للتنمية يساهم فى شراء الوحدة ، وعلى الهيئة الحكومية المتلقية أن تمول التشغيل . وفى مثل هذه الحالات يتعين على المشترى أن يقدر بواقعية الدعم المالى المقدم من المانح فى المستقبل لصيانة المرفق قبل الاختيار النهائى لنوع العملية وسعة الوحدة . وعلاوة على ذلك ، يتعين بطبيعة الحال ادراج تكاليف سداد القروض لمصارف التنمية فى حسابات المدفوعات السنوية .

ومن الضرورى اجراء تحليل للهيئة المحلية التى ستقوم بتشغيل مرفق ازالة الملوحة ، وميزانية التشغيل المقترحة لذلك المرفق بغية تقدير مستوى الاشراف التقنى ، وقطع الغيار وامدادات التشغيل المزمع توزيعها على السنوات المقبلة

واختيار المحطة بحكمة . بل وحتى فلسفة الوكالة فيما يتعلق بتخزين قطع الغيار واجراءات شراء قطع بديلة وخدمات تقنية و/أو اصلاحات (التى قد تكون مضيعة للوقت) يتعين اخذها فى الاعتبار فى اختيار المحطة وتحديد مواصفاتها .

وفى البلدان النامية ، تنشأ عادة مشكلة المتاح من النقد الاجنبى . فاذا منحت وكالة للمعونة الخارجية اعتمادات لشراء الوحدة ، فسوف تراعى المتطلبات الفورية من النقد الاجنبى . ومع ذلك فان شراء قطع الغيار واحتياجات الاصلاح تحتاج الى نقد أجنبى على مدى حياه المشروع . وسيكون من الممكن التحكم الى حد ما فى المبالغ النسبية من النقد الاجنبى والمحلى المطلوبة فى مرحلتى الانشاء والتشغيل من البرنامج من خلال اختيار تصميم المحطة والعملية .

وفيما يتعلق بتغطية نفقات التشغيل اليومية فانه ينبغى تقرير سياسة تحميل المستهلك - البلدى والصناعى والزراعى - لهذه النفقات الى حد ما قبل انشاء المحطة ، وتوضيح هذه السياسة للعملاء المحتملين . وفى كثير من الحالات يكون العملاء فى المناطق التى تعانى عجزا فى المياه الذين يدفعون بالفعل اثمانا مرتفعة لامدادات مياه لا يعول عليها وتصلهم بشكل متقطع . وفى تلك الحالات يكونون على استعداد لدفع النفقات الخاصة بمصدر للمياه النظيفة التى يعول عليها .

(ب) المتطلبات من العمال والموظفين

يختلف العمال المطلوبين للمحطة حسب الاوضاع المحلية . واستنادا الى جداول الاجور يمكن ان تصل تكلفة العمال فى الغالب الى ثلث التكاليف السنوية باستثناء تكاليف استعادة رأس المال . ويمكن أن يكون هذا استثمارا هاما للاعتمادات المتعلقة بمرفق ازالة الملوحة وبوسع موظفى التشغيل الاكفاء أن يجعلوا أرداً المحطات تؤدى عملها بفعالية الى حد ما وأن يجعلوا المحطة الجيدة الاداء تؤدى عملها بصورة ممتازة . وبوسع موظفى التشغيل غير الاكفاء عادة ان يدمروا أو يلحقوا اضرارا بالغة بأى شئ تنتجة محطة ازالة الملوحة . وتتحدد درجة الاستثمار اللازمة للحصول على موظفى تشغيل اكفاء حسب نوعية الموقع . وعادة ما يؤدى الانتاج المضاف (أو معامل المحطة الاعلى) الذى يتحقق باستخدام موظفى اكفاء وتدفع لهم غالبا أجور عالية ، الى الابقاء على تكلفة الوحدة من الانتاج فى حدود معقوله ومن الممكن التنبؤ بها الى حد بعيد .

وتعتمد المطلبات من الموظفين كذلك على طبيعة المحطة وما اذا كانت تشكل اضافة الى مرفق قائم أم احلالا كاملا له ، أو ما اذا كانت تشكل مرفق جديد تماما . وستكون المتطلبات أقل بدرجة كبيرة فى حالة النمو الطفيف بالمقارنة

بالمتطلبات الخاصة بمرفق جديد كبير . أضف الى ذلك أن بعض الوفورات في العمال تتحقق في المحطة المزدوجة الغرض . وينطبق هذا على وجه الخصوص بالنسبة للاشراف حيث أن نفس الادارة سوف تستخدم في انتاج الكهرباء والمياه على السواء .

وينبغي ، قدر الامكان ، أن تضاهي المهارة التقنية المطلوبة لتشغيل وصيانة المحطة المهارة التقنية المتاحة (في حدود ميزانية التشغيل المقبلة) في مكان موقع المحطة المقترحة . ويعتبر وجود موظفين محليين ذوي خبرة في تشغيل محطات ازالة الملوحة عاملا في صالح استخدام عملية ازالة الملوحة حينما تكون الخبرة التقنية نادره .

وفي أغلب الاحيان ، لايكون العمال المهرة متوفرين في البلدان النامية بالمقاييس المطلوبة في محطات ازالة الملوحة الحديثة المعقدة . ويمكن التخفيف من حدة هذه المشكلة عن طريق وضع برامج تدريبية اثناء فترات الانشاء وبدء التشغيل . ويمكن اختيار العمال الذين سيعملون في التشغيل والصيانة مقدما وارسالهم الى محطات قائمة للتدريب وبالتالي يكونون متاحين حينما يبدأ تشغيل المحطة الجديدة .

وتتطلب الصيانة موظفين أكثر مهارة من يحتاجهم التشغيل ويتعين أن يكون موظفو الصيانة قادرين على اصلاح واحلال المعدات والالات . وتعتبر الخبرة بعمل الغلايات واشغال الصلب والبخار واللحام نافعة لعملية التقطير بينما تحتاج عمليات الاغشية عادة مهارات خاصة بأنابيب المياه والمضخات والمحركات الكهربائية . ويحتاج موظفو التشغيل الى تدريب محدود لمعالجة مشاكل معينة خاصة بأداء المحطة .

ويعتبر التدريب الملائم لموظفي التشغيل ضروريا وسوف يتعين تكرار التدريب في المستقبل مع احلال موظفين جدد أو لدى الحاجة الى تدريب اضافي على مهارات معينة . وينبغي التخطيط لبرنامج للتدريب طويل الاجل وادراجه في عملية الحصول على اية معدات جديدة .

وعندما تمثل الوحدة توسعا اضافيا يسيرا أو تكون جزءا من محطة مزدوجة الغرض، سيكون هناك وفورات في الاحتياجات من موظفي الاشراف والصيانة على السواء . فاذا كانت المحطة جزءا من مرفق كبير قائم، فقد لاتحتاج الى مزيد من الموظفين الاشرافيين . كذلك اذا كان فنيو الالات وبراد والانابيب وعمال الدهان وما الى ذلك يمثلون بالفعل جزءا من موظفي المحطة، فان المحطة الاضافية قد لا تتطلب سوى اضافة شخص واحد الى اجمالي موظفي الصيانة . ومن جهة أخرى اذا أريد لنفس المحطة أن تقوم بمفردها كوحدة جديدة أو وحيده ، فسيكون من الضروري توفير مدير وموظفي صيانة عديدين بالاضافة الى موظفي التشغيل .

العمالة غير الماهرة مقابل التشغيل الآلي

هناك عدد من الحالات يستصوب فيها موازنة درجة التشغيل الآلي للمحطة مقابل المتاح من العمال المهرة وغير المهرة . وينطبق هذا بوجه خاص عندما يكون من الممكن الاستعاضة عن أدوات تحكم حساسة تحتاج الى صيانة ومعايره متكررتين بأجهزة أكثر بساطة يشغلها ويقرؤها موظفون غير مهرة نسبيا . ويحتاج التشغيل الآلي عادة رأس مال كبير ويتيح المجال لتخفيض الاحتياجات من العمال الى الحد الادنى . ولهذا جاذبيته الخاصة في المجالات المتاح فيها رأس المال بسهولة بأسعار فائدة منخفضة والتي تكون فيها تكاليف العمال مرتفعة نسبيا .

ويمكن تحقيق وفورات ضئيلة نسبيا في التكلفة الرأسمالية من خلال الاستعاضة عن بعض المعدات الآليه بتحكم يدوي . وعلى أية حال ، ليس بالامكان الاستعاضة عن كافة الاجهزة الآلية دون تهديد خطير لكفاية المحطة . وبالنسبة لكل حالة بعينها يتعين اجراء دراسة لتحديد أنسب توليفه من وسائل التحكم اليدوي والآلي لوظيفه معينه .

(ج) مواد التشغيل ، وقطع الغيار والطاقة

ان توفر نوعية وتكلفة الطاقة والمواد اللازمة لتشغيل مرفق لازالة الملوحة تشكل كذلك اعتبارات هامة . ويتعين تقرير هذه المسائل على أساس كل موقع معين لتقييم حالة الطاقة والمواد الكيميائية وقطع الغيار والخبره التقنية الخارجية بالنسبة للعمليات المقبلة . ويؤثر تحديد الموقع ومرافق النقل والضرائب والرسوم الجمركية والمناوله والمناخ والطلب المحلي ، تؤثر جميعها على تكلفة وتوفر الوقود والمواد الكيميائية وقطع الغيار .

وفي بلدان نامية حيث قد تكون هناك حاجة الى اسابيع أو شهور عديدة للحصول على قطع الاحلال ، سيكون من المفيد اجراء دراسة تفصيلية لعملية ازالة الملوحة لتقرير قطع الغيار والاحلال التي يتعين الابقاء عليها في متناول اليد . ويمكن ان يسفر الامداد الكافي من هذه المواد عن وفورات كبيرة في تكاليف المحطة ويقلل فترات التوقف الى الحد الادنى . وينبغي ادراج هذا البند ايضا في نطاق مواصفات المحطة .

وفيما يتعلق ببعض العمليات ، من الممكن ان تشكل المواد الكيميائية أحد جوانب الانفاق الكبيرة في مجال التشغيل . والاهم من ذلك ان هذه المواد تستخدم باستمرار ومن ثم فانها تلفت الانتباه حيث انها تشترى باستمرار . ويمكن أن يكون هناك تباين ملحوظ في تكلفة وتوفر المواد الكيميائية في أية منطقة . وسوف تتطلب التأخيرات الممكنة في مجال النقل مرافق تخزين ملائمة للاحتفاظ بمخزون كاف

متاح يسمح باستمرار التشغيل . ويمكن للمتاح من المواد الكيميائية بصفة عامة ان يشكل عاملا فى اختيار العملية . ومن بين مزايا عملية الديلزة بالكهرباء الانعكاسية ، انها تستخدم أقل قدر من المواد الكيميائية ، وهو ما قد يكون بالغ الاهمية فى تقليل التكاليف أو الحد من مشاكل النقل فى الكثير من المناطق المعزوله .

وفيما يتعلق بعمليات الاغشية ، من المهم معرفة الفترة الزمنية العادية لاحلال الاغشية . وقد رؤى بوجه عام ان عمر أغشية الاوزموزية العكسية يقدر بثلاث سنوات . وقامت بعض الشركات الصانعة بمد تلك الفترة الى خمس سنوات فيما يتعلق بالاستعمالاتها الخاصة بالمياه الضاربة الى الملوحة . وسيكون للتقدير الزمنى الذى يستخدم أثره الهام على التكاليف المخصصة لهذه الفئة . وينبغى تحديد الافتراض بوضوح وأن يتفق مع عمر الاغشية التى تضمها الشركات الصانعة . وفيما يتعلق بأغشية الديلزة بالكهرباء ، فانها تتراوح بين حوالى ٥ الى ١٠ سنوات .

ولا تقتصر الحاجة الى عناصر متاحة محليا على معدات متخصصة لازالة الملوحة ولكنها قد تشمل كذلك الصمامات والمسامير الملولبة والمسامير القلاووظ ، وكراسى التحميل ، والمضخات والشبكات الكهربائية والعدد . ويمكن أن تنشأ مشاكل بخصوص أشياء أساسية مثل الاجزاء المتريه أو التى تسمح بالحركة فى اتجاه واحد ، والخيوط أو العدد التى تستخدم حينما يتم عادة التوصل الى نظام آخر . واذا كانت الاجزاء والعدد الاساسية غير متاحة محليا ، فانه يتعين اما تمويل قوائم جرد كبيرة أو توقع فترات توقف طويلة فى حين يجرى فى الوقت نفسه شراء الاجزاء الاكثر شيوعا .

ويعتبر مصدر الطاقة مهما أيضا . ففى بعض المناطق ، ربما تكون هناك ميزة فى بناء وحدة مزدوجة الغرض (كهرباء ومياه) كجزء من برنامج وطنى أو محلى للتنمية . وفى مناطق أخرى قد تكون الحرارة المفقودة متاحة لعملية التقطير المنخفضة الحرارة . وحينما يتقرر استخدام البخار أو الطاقة الكهربائية الموجودة فانه يتعين تحديد نوعها وتكاليفها وكفايتها وموثوقيتها . وبالنسبة للمرافق الاكبر المناط بها انتاج مياه فقط ، توجد بعض توليفات مزدوجة الغرض مثيره الانتباه يمكن النظر فيها . وربما يتضمن نموذج لهذا خاص بازالة ملوحة مياه البحر استخدام فلاية عالية الحرارة لانتاج البخار . ويمكن للبخار أن يشغل توربين يدير ، بشكل مباشر ، وحدة للاوزموزية عكسية ، بينما يستخدم الضغط المرتد للتوربينه أو البخار المستخرج فى تشغيل محطة متعددة النتائج . ويجرى حاليا استكشاف أنواع تلك التوليفات .

(د) النقل

لاينبغى اغفال الاستثمارات الاضافية المطلوبة لاغراض نقل المعدات من

بلد المنشأ الى مكان المحطة عند تقدير تكاليف المحطة .

ويمكن أن يطرح نقل معدات الانشاء وعمليات الاحلال لاغراض الصيانة مشكلة فى المناطق التى لاتوجد فيها تسهيلات نقل كافية . وعن طريق التخطيط المسبق للانجازات وجدولتها ، يمكن التغلب على أو توقع الصعوبات التى قد تظهر نتيجة لمشاكل النقل . وقبل الانشاء يتعين ترتيب لعملية جدولة انتقادية تفصيليه فى موعد مبكر كيما تعطى الاوامر والعقود ويتم الارتباط بالاموال على نحو يكفل التشغيل السلس لفريق الانشاء والمرافق . وينبغى أن تكون هذه الجدولة جزءا من مواصفات المحطة .

وفى بعض الحالات قد يكون من الضرورى اقامة مرافق للنقل قبل المرافئ والطرق الرئيسية . ويمكن أن يسفر ذلك عن زيادات كبيرة فى التكاليف الرأسمالية خاصة بالنسبة للبلدان النامية . وسيكون من الضرورى كذلك توفير مرافق لنقل الوقود الى المحطة التى هى فى طور التشغيل .

٦ - تقييم التكاليف

عند تقييم تكاليف وضعها أخرون ، يتمثل نهج عام جيد فى أخذ التكاليف المقرره وتحليلها الى العناصر الموضحة فى بيان العمل الوارد أدناه والذى يستند الى افتراضات خاصة بكل عنصر مثل عمر المحطة ومعامل المحطة واستعادة رأس المال والعمال والطاقة . وينبغى تحديد العناصر التى لم تذكر أو غير المحددة وينبغى مقارنة هذا التحليل بالتحاليل الخاصة بمعدات مماثلة والمستقاه من معلومات تم الحصول عليها من بيانات متاحة من مصادر أخرى ، كالدراسة التى اعدها ريد (١٩٨٢) . وينبغى أن تستقصى بدقة المفردات التى تختلف تكاليفها اختلافا بينا عن تلك التى أقرتها دراسات سابقة أو التى استخدمت بالفطرة السليمة الاساسية فى وضعها . وربما يكون من الممكن تبرير بعض الاختلافات ولكن مقارنة البيانات يتيح المجال لتحديد المشاكل الممكنة ويشجع استقصاء الافتراضات الاساسية المتعلقة بالتكلفة .

وقد اعطيت بعض البيانات المقدمة فيما كتب عن عمليات و/ أو اسقاطات التكاليف بوضعها تكاليف فقط دون ايضاح الافتراضات الرئيسية . ومن المهم التحقق من هذه الافتراضات حيث أنها يمكن أن تؤثر على التكاليف وربما على الاستنتاجات .

وهناك عنصران رئيسيان للتكلفة ينبغى حسابهما والنظر فيهما : التكاليف الرأسمالية والتكاليف السنوية .

(أ) التكاليف الرأسمالية

تنقسم العناصر التى تتكون منها عادة التكاليف الرأسمالية لاحدى مرافق ازالة الملوحة الى تكاليف رأسمالية مباشرة ، وغير مباشرة ، وتكاليف غير قابلة للاستهلاك

'١' التكاليف الرأسمالية المباشرة

هى تكاليف المعدات و/ أو خدمات الانشاء وتكاليف مرافق ازالة الملوحة . وتشمل بوجه عام :

(أ) معدات ازالة الملوحة التى تم تركيبها بما فيها من الانابيب والمعدات الكهربائية ومعدات الصرف الخ ؛

(ب) تنمية الموقع ـ المبانى ، والطرق ، والاسياج ، وتمهيد الارض الخ ؛

(ج) تنمية مصدر المياه غير المعالجة ونقلها الى المرفق ؛

(د) المعدات و/ أو التركيبات المرتبطة بتصريف المحلول الملحى ؛

(هـ) تنمية مصدر القوه و/ أو نقل القوة الى الموقع.

'٢' التكاليف الرأسمالية غير المباشرة

هى تكاليف رأسمالية لا تشمل شراء معدات أو خدمات الانشاءات . ويتضمن :

(أ) تكاليف الفوائد المتكبدة لدى الشروع فى الانشاءات ؛

(ب) حالات الطوارئ ؛

(ج) دراسة التصميم المعمارى / الهندسى وادارة انشاءات المشروع ورسوم أخرى .

'٣' تكاليف غير قابلة للاستهلاك

هذه النفقات لابد منها للبدء فى مشروع و/ أو فى التشغيل ولكن المواد المشتراه تبقى (أو تستبدل) خلال حياة المشروع وبذلك تظل حاضرة فى نهاية المشروع . وتشمل هذه التكاليف :

(أ) رأس المال العامل الذى يشمل الوقود والمواد الكيميائية والمواد والامدادات الاخرى الجارى استعمالها ورأس مال التشغيل ؛

(ب) تكاليف الاراضى .

'٤' تقييم تكاليف رأس المال

عند تقييم أو تقدير التكاليف الرأسمالية نجد ان البندين الرئيسيين المشيرين

للاهتمام، بغض النظر عن تكاليف المعدات الاساسية، هما: (أ) التحديد الواقعي للافتراضات المتعلقة برسوم الفائدة وحالات الطوارئ ورأس المال العامل، و (ب) ادراج كافة تكاليف التنمية الرأسمالية الرئيسية المطلوبة. ويمكن أن تشمل الاخيرة تنمية مصدر مائي خاص، وتصريف المحلول الملحي، والاشغال الخاصة بالموقع.

ويتعين تحديد التكاليف الرأسمالية الخاصة بالمحطات المزدوجة الغرض (الكهرباء والمياه) بدقة بغية توزيع التكاليف الرأسمالية بصورة منصفة بين هذين العنصرين. وينبغي توخي الدقة في تفسير أو تقييم تكاليف الجزء الخاص بازالة الملوحة من مرفق مزدوج الغرض كان قد سبق بناؤه (أو تحدد سعره) بالفعل. ومن الطرق التي استخدمت لتقدير التكاليف الرأسمالية لمرفق ازالة ملوحة (في المحطات المزدوجة الغرض) اختيار وحدة تكلفة للجزء الخاص بتوليد القوة (ميغاواط من الطاقة المنشأة) واستخدام هذه التكلفة للوصول الى التكلفة الرأسمالية لمرفق ازالة الملوحة عن طريق الطرح.

ومن الواضح أن التكلفة المفترضة للوحدة فيما يتعلق بمرافق توليد القدرة يمكن أن تؤثر بشدة على تكلفة ازالة الملوحة. فاذا كانت وحدة تكلفة القدرة مرتفعة تكون تكلفة ازالة الملوحة منخفضة، واذا كانت وحدة القدرة منخفضة تكون وحدة تكلفة ازالة الملوحة مرتفعة. وفي مثل هذه المواقف، يكون من الحكمة استقصاء المقدمات التي تحسب على أساسها تكاليف الوحدة.

(ب) التكاليف السنوية

تتمثل العناصر التي تتكون منها عادة تكاليف التشغيل السنوية النظرية في: التكاليف المتكررة، ومصروفات التشغيل والمصروفات المنفقة، والرسوم الثابتة الخاصة بتغطية استهلاك رأس المال. وتجمع هذه التكاليف مع المعامل السنوي للمحطة لحساب تكاليف التشغيل السنوية للوحدة بالارقام مثل دولارات للمتر المكعب أو لكل ١٠٠٠ غالون.

'١' التكاليف المتكررة

تتضمن تكاليف مثل التأمين والضرائب التي تستمر عادة طوال العمر. وعند مقارنة عمليات تتعلق بمنشأة مستقبله فانه لا ينظر في الغالب في التكاليف المتكررة نظرا لانها تكون متكافئة غالبا بالنسبة لكافة الخيارات.

'٢' تكاليف التشغيل

تحدث كل هذه التكاليف تقريبا بانتظام أثناء تشغيل المحطة. وتشمل:

العمال (كل من الاجور والتكاليف الادارية) الامدادات، ومواد الصيانة، والطاقة، واصلاحات خاصة، والمواد الكيميائية والمرشحات واستبدال الاغشية.

وقد نوقش كل عنصر من هذه العناصر على حده أعلاه. وتتعلق تكاليف العمال والطاقة بالموقع بوجه خاص، وسوف تستأثر بجزء كبير من تكاليف التشغيل وقد يلزم تقديم المساعدة فى تقدير العدد الكافى من الموظفين والاجور الملائمة وتكاليف الطاقة من جانب الفنيين ممن هم على دراية بتشغيل محطات مماثلة فى ظل ظروف وحضارات مماثلة.

'٣' استعادة رأس المال

توجد جداول وبرامج معيارية للآلات الحاسبة لحساب استعادة رأس المال. ويتعين تحديد سعر الفائدة وتقدير عمر المحطة. ويبدو أن فترة ٢٠ سنة هى العمر الحقيقى للمحطة فيما يتعلق بمرافق ازالة الملوحة الجيدة التصميم والانشاء. أما فيما يتعلق بالمحطات السيئة التصميم أو الانشاء، فقد تكون فترة من ٥ - ١٠ سنوات أكثر واقعية.

'٤' موجز

المفردات الرئيسية للتكلفة هى استعادة رأس المال والطاقة والعمال واستبدال الاغشية (بالنسبة للعمليات الغشائية). وينبغى تقييم أو تقدير هذه المفردات بدقة حيث أن لها تأثير كبير على التكاليف السنوية. ويتعين أن تفهم وتحدد بوضوح الافتراضات الكامنه وراء هذه القيم.

(ج) تكاليف انتاج الوحدة

'١' عام

تترجم تكاليف انتاج الوحدة كافة عناصر الطاقة المذكورة أعلاه الى تكلفة الوحدة من الانتاج مثل دولار/م^3 أو دولار/١٠٠٠ غالون. وهذا البارامتر مفيد فى اجراء مقارنات للتكلفة وتمكين الناس من تفهم تكاليف المشروع. وبغض النظر عن التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل السابق ذكرها، فان المفرده الأهم فى الحساب هى معامل المحطة.

'٢' معامل المحطة

ينبغى أن يلعب تحديد معامل المحطة دورا هاما فى كل من اقتصادات مرفق ازالة الملوحة وفى اختيار العملية الملائمة.

$$\text{معامل المحطة} = \frac{\text{الانتاج الفعلى}}{\text{الانتاج المقدر (المخطط)}}$$

وغالبا ما ينظر فى معامل المحطة على أساس سنوى . فاذا كان الفرق يستمر فى انتاج المياه خلال سنة بالطاقة المخططة ، فان معامل المحطة الخاص بها يكون ١ أو ١٠٠ فى المئة . واذا لم تنتج عند الطاقة المخططة أو اوقفت لبعض الاسباب (مثل التنظيف أو الاصلاحات العامة) فان ذلك المعامل ينخفض تبعا لذلك .

ويستخدم الباحثون والشركات الصانعة معاملات تتراوح بين ٨٠ر٠ و ٩٥ر، فى وضع تقديرات التكاليف . ومعنى معامل محطة ٩ر أن المحطة التى تنتج عند طاقتها المخططة تتوقف عن العمل حوالى ٣٦ يوما فى السنة (أو حوالى ١٠ فى المئة من الوقت) . ومعنى المعامل ٩٥ر أن التوقف عن العمل سيكون ١٨ يوما فقط (أو حوالى ٥ فى المئة من الوقت) . وباستطاعة الكثير من المحطات أن تحافظ على هذا النمط من الاداء ولكن محطات أخرى لا تستطيع ذلك . وقد قدم مجمع كبير للتقطير فى منطقة الكاريبى تقريرا بأن المتوسط السنوى لمعامل المحطة فيه قد زاد بحوالى ٣٠ر عن فترة الثلاث سنوات من ١٩٧٧ - ١٩٧٩ . وسيكون لهذا ، بالطبع، أثر عميق على اقتصادات التشغيل العامة اذا كانت التنبؤات الاصلية مبنية على معامل محطة قدره ٨٥ر أو ٩٠ر .

ويستخدم معامل المحطة فى تحديد التكلفة السنوية لوحدة الانتاج (مثل دولار/١٠٠٠ غالون أو دولار/م^3) بالنسبة للمياه على النحو التالى :

$$\text{تكلفة وحدة المياه (دولار/وحدة)} = \frac{\text{التكاليف السنوية المتكررة} + \text{التكاليف السنوية الثابتة}}{\text{الطاقة المخططة (وحدات/يوم)} \times \text{٣٦٥ يوما} \times \text{معامل المحطة}}$$

وهذه هى التكلفة التى تستخدم عادة لاختيار العملية أو التصميم . ولما كان معامل المحطة يؤثر على هذه التكلفة مباشرة ، فان الافتراضات الكامنة وراء اختياره بالغة الاهمية .

وبصرف النظر عن الاسباب التقنية العامة التى يمكن التنبؤ بها بوجه عام لتوقف العمل فى المحطة لاغراض التنظيف والتفتيش والصيانة المقررة ، فان هناك ظروفا معينة خاصة بكل موقع بذاتة يمكن أن تؤثر الى حد كبير على معامل المحطة . ويلزم تحقيق الالفة بتلك الظروف المحلية للتوصل الى تنبؤات واقعية والتثبت من الكيفية التى ستؤثر بها على تشغيل المحطة وصيانتها وأدائها .

وثمة عوامل لا تحصى يمكن أن تؤثر على التشغيل الفعلى للمحطة وعلى معامل المحطة بدرجة أو بأخرى ، منها : المقيمين المحليين ، ورغبتهم فى المشروع ومساندتهم له ، والمناخ ، وظروف العمل ، ودرجة تدريب عمال التشغيل ، والقدرة ، التكنولوجية ، والظروف الاقتصادية ، وأنظمة النقل ، وتوفر القدرة ، والمواد الكيميائية ، وقطع الغيار ،

والخدمات، والمعدات، والخبرة السابقة، ومدى تنفيذ عمليات التخطيط وتحقيق التكامل بين الانظمة . ولن يؤدى عدم الاهتمام بهذه البنود الا الى تغيير التقييم الاقتصادى وعملية الاختيار كما أنه سيؤدى حتما الى التأثير على المشروع فى نهاية المطاف . ولما كانت هذه العوامل مندمجه فى التقييم الاقتصادى فان ارقام التكلفة النظرية سوف تقترب من الرقم الفعلى .

ولسوء الحظ هذه العملية تحتاج الى أن تترجم المعلومات الذاتية الى رقم موضوعى . ويمكن أن تكون هذه العملية موضع تساؤل وانتقاد خاصة من جانب أولئك الذين قد تتأثر مصلحتهم .

وايا كان عامل المحطة فان التنبؤ به بدقة سوف يلعب دورا رئيسيا فى التوصل الى الاختيار النهائى . انه من العوامل الرئيسية فى التقييم الاقتصادى . وينبغى تبرير اختياره بدقة ، وأن يدعم بالوثائق تماما حيث أن أى تغيير فى عامل المحطة يمكن أن يكون له أثر كبير على تكلفة وحدة الانتاج .

٧ - اختيار العملية

ينبغى الاضطلاع بالاختيار الفعلى لعملية ازالة ملوحة وتحديد سعتها الانتاجية وأوجه الاختلاف فى تصميمها بمساعدة خبير استشارى مؤهل أو اية مساعدة مؤهلة أخرى . وقد يفيد أحد المشترين الممكنين أن يلقى نظرة على كتيب ازالة الملوحة الخاص بالوكاله الامريكيه للتنمية الدولية (بوروس وآخرون ، ١٩٨٠) خاصة الجدول دال - ١ ، "موجز الخطوط التوجيهية لاختيار عملية ازالة الملوحة" . وعلاوة على ذلك فان شركة تحويل المياه الملحة بالمملكة العربية السعودية ، ابتكرت طريقة للاختيار من بين بدائل تقوم على أساس احتياجات البلد بما فى ذلك القدرة المتوقعة والطلب على المياه . وتتضمن الخصائص التى كانت محل النظر فى تحليل قرار الشركة المتعدد الاغراض الموثوقية وأمكانية التشغيل والقابلية للصيانة ومتطلبات الايدى العاملة والاستفادة من الموارد الطبيعية . وهكذا فان القرارات الحكومية يمكن اتخاذها على أساس معايير موضوعية وليس فقط على أساس فن البيع أو تقديرات التكلفة . ويتضمن مقال أعده عادل أ . بوشناق وآخرون (١٩٧٩) موجزا لطرق تقدير التكاليف والاستنتاجات . ويمكن أن تكون المناقشات التى تجرى مع ممثلى الشركات الصانعة مفيدة ، بيد أنه يتعين ادراك أنهم قد يميلون الى التوصية بالعملية التى يستطيعون تجهيزها .

ومن المقبول بوجه عام أن الاستعمالات التاليه للعملية قابلة للتطبيق حاليا فى معظم الحالات :

مياه البحر - التقطير والاوزموزية العكسية .

المياه الضاربة الى الملوحة - الديلزة بالكهرباء والاوزموزية العكسية .

وقد يتغير هذا بالنسبة لبعض الحالات الخاصة بمياه التغذية العسرة أو بمشاكل تصريف المحلول الملحى أو بظروف محلية خاصة أخرى . فاذا أصبحت عملية التجميد متاحة تجاريا ، فمن الطبيعى أنها ستستخدم فى استعمالات خاصة بمياه البحر .

وتلعب الاقتصادات دورا هاما فى الاختيار النهائى للعملية .. أن تحقيق التكافؤ الاقتصادى الامثل بين التكاليف الرأسمالية والتشغيلية ، والتغييرات فى أسعار الفائدة (بالنسبة لاستعاده رأس المال) وتكاليف الطاقة (بالنسبة لنفقات التشغيل) سوف يؤثر على الخيار النهائى . ومع تزايد تكاليف الوقود فان الحل الامثل يميل نحو تصميم أكثر كفاءة ، على فرض تكافؤ كافة الاشياء الاخرى .

وحينما يتحدد سعر الفائدة على استعادة رأس المال ، فان تحديد سعر فائدة أعلى (اذا كانت اسعار الوقود مستقرة) سوف يصل بالاختيار الى المستوى الامثل عندما تكون الطاقة أقل كفاءة أو عندما يكون عامل الاداء أقل جودة . وكما لاحظ روبرت سيلفر الذى استحدث عملية الوميض المتعدد المراحل (١٩٧٩) ، فان الزيادة فى تكاليف كل من الفائدة والطاقة استهدفت الابقاء على عوامل الاداء الامثل لمحطات التقطير على ما هى عليه تقريبا على مدى السنوات القليلة الماضية . وحيثما يتحقق الحل الامثل يكون من المهم أن تغيب عن الاذهان كيفية التوصل الى ذلك الحل بحيث أنه حينما يتم وضع افتراضات كتلك الخاصة بمعدلات سعر الفائدة أو تكاليف الطاقة ، تكون النتائج مفهومة مقدما .

وثمة وسيلة أخرى لاختيار وتقييم العملية متضمن فى نموذج معلومات مشروع ازالة الملوحة وبيان موجز التكاليف الواردين فى أخر هذا الفصل . ويتضمن النموذجان مجموعة من الاسئلة عن الظروف والافتراضات والبيانات التى تفيد فى تناول مشروع ما وتقرير ما اذا كانت هناك بيانات كافية (مع افتراضات معقولة) تكفى للتوصل الى استنتاج ما . وينبغى استخدام تلك البيانات فى اجراء استعراضات للمشروع وفى عمل تقديرات لتكلفة مختلف العمليات كجزء من اختيار وتقييم العملية . وعن طريق استكمال المعلومات الخاصة بعمليات عديدة (مثل استخدامات الديلزة بالكهرباء والاوزموزية العكسية بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة) يمكن الحصول على تقدير التكاليف النسبية ، وبذلك يمكن الاستفادة من معظم مدخلات الغرض الاولى فى اختيار العملية .

ويتطلب اختيار وتشغيل مرافق ازالة الملوحة فى البلدان النامية النظر فى عوامل اضافية كثيرة ذات طابع موضوعى أساسا . وتتعلق هذه العوامل بالخبرة السابقة والخبرة الفنية التكنولوجيه المتاحة ، وتوفر المواد والمميزات الثقافية والظروف المحلية الخاصة . وهناك طريقتان لتناول هذه الاعتبارات فى نطاق السعى الى

التوصل الى الحل الامثل اقتصاديا . الطريقة الاولى هى استخدام تحليل عادى للتكلفة ثم تدرج الظروف غير الموضوعية بوصفها شكلا من أشكال دعم الاختيار الموصى به (الذى قد لايبدو أنه الحل الاقل تكلفة) . والطريقة الثانية هى ترجمة تلك الاعتبارات الذاتية الى عامل محطة معقول ليستخدم فى الوصول الى الوضع الامثل للعملية . وليس ثمة خبرة واسعة فى القيام بذلك ولكنها يمكن أن تكون هامة حيث أنها ستتطلب شيئا من التفكير فى الطرق والوسائل التى قد تؤثر بها الظروف المحلية بشكل منطقى (أو غير منطقى) على التشغيل المتواصل لمرفق لازالة الملوحة مقام فى تلك المنطقة .

ولسوء الحظ، انه بدون ايلاء اهتمام خاص لهذه الخصائص أوالمواقف الهامة محليا ، فان تحليلا اقتصاديا يمكن أن يقود الى اختيار عملية قد تبدو جيدة نظريا ، ولكنها تكون اقل مدعاه الى الارتياح فى التشغيل الطويل الاجل . وبالتالى فان العملية الاكثر كفاية من الناحية النظرية من حيث الطاقة قد تحتوى على عناصر أو تتطلب اجراءات تشغيل وصيانة قد تخلق صعوبات فى بيئة محلية خاصة وتسفر عن فترات توقف طويلة ، وعوامل محطة منخفضة على نحو غير متوقع وتكاليف مرتفعة لوحدة الانتاج وربما تسفر ايضا عن توقف المحطة عن العمل . وقد يكون هذا مثيرا لجدل خاص لدى ادخال عملية أو تصميم لايكون مصحوبا الا بالحد الادنى من الخبرة التجارية الواقعية فى مجال التشغيل . وبدون بيانات (باستثناء تلك الموضوعه فى ظروف مقيدة أو نظرية) ، يكون من الصعب تقدير عامل المحطة الطويل الاجل بدقة . وهذا يوجد درجة من المخاطرة أو عدم اليقين يتعين تحليلها الى عوامل فى عملية الاختيار .

وعلاوة على ذلك ، يتعين اجرء تقييم للدعم المالى والدعم بالقوة العاملة وبالمرافق فى المستقبل بعد انشاء مشروع ازالة الملوحة . ويمكن تعويض بعض المخاطر المالية المرتبطة بأى من مظاهر عدم اليقين الواردة أعلاه بطلب ضمانات طويلة الاجل للاداء و/ أو جعل المحطة تعمل بموجب عقد تشغيل و/ أوادارة . وتعتبر الاخيرة من الممارسات الشائعة فى الكثير من مناطق الشرق الاوسط خاصة فى المناطق المعزولة .

وتحجم الشركات الصانعة بشدة ،عموما ، عن منح ضمانات شاملة طويلة الاجل لمرفق الا اذا كانت ستقوم بتشغيله . فاذا لم تقم بتشغيله ، كانت الضمانات مربوطة بشروط و/ أو عقوبات يمكن أن تقضى على الكثير مما تستهدفه . ومن الحكمة توخى الدقة فى دراسة وتقييم أى اتفاق يتعلق بالضمانات .

الشراء

بالرغم من أن معدات ازالة الملوحة يمكن الاتفاق على شرائها وتركيبها

عن طريق مفاوضات مباشرة مع مختلف البائعين ، فانه من الممارسات الجيدة عـــادة الاستعانة بخبير استشارى مؤهل أو وكالة مستقلة أخرى لمساعدة المالك فى اجراءات العملية . ويمكن للخبير الاستشارى أن يساعد المالك فى تقييم اختيار العمليـــة ثم يضع المواصفات ومستندات العطاء الملائمة .

وينبغى استخدام المواصفات ومستندات العطاء لتقليل أوجه عـــدم اليقين المرتبطه بالتكاليف المستقبليه (وبعامل المحطة) لوحدة ازالة الملوحة . وقد يشمل ذلك تحديد مواصفات العملية والمعايير ومواد البناء والاداء وقطع الغيار والضمانات ومواعيد البناء .

ويشكل تقييم العطاءات، خاصة عندما تكون هناك استثناءات وتســـعير للبدائل ، جزءا هاما من عملية الشراء . وينبغى أن تكتب المواصفات بدقة كافيـــة والتأكد من أن العطاء المنخفض استثمار جيد طويل الاجل وليس كارثة ممكنة . وثمة خطر دائم الوجود فى عملية المزايده ، خاصة بالنسبة للمشاريع الكبيرة ، يتمثل فـــى العطاء الذى يبلغ من الانخفاض حدا يجعله لا يغطى التكاليف الفعلية المعقولـــة للمقاول . فلن تكون هذه صفقه ، بوجه عام ، لانه من المحتمل أن تعانى جميـــع الاطراف فى حالة من هذا النوع .

بيان موجز بتكاليف ازالة الملوحة ونموذج معلومات المشروع

الموقع _____ السعة _____ مليون غالون فى اليوم (م^3 / يوم)
نوع المحطة _____ عمر المحطة _____ عامل المحطة بالسنين _____
مصدر مياه التغذية _____ حجم اجمالى الجوامد المذابة _____
عامل الاسترداد أو الاداء _____
مصدر (مصادر) الطاقة: الوقود (من نوع _____) /كهرباء / بخار (مصادر دافره)

التكاليف الرأسمالية

التكاليف الرأسمالية المباشرة

١ - تنمية امدادات مياه التغذية _____ د ولار
٢ - معالجة مياه التغذية _____ د ولار
٣ - معدات ازالة الملوحة _____ د ولار
٤ - تنمية الموقع _____ د ولار
٥ - تنمية مصدر الطاقة _____ د ولار
٦ - المعدات الكهربائية (مجموعة المفاتيح الكهربائية) _____ د ولار
٧ - تصريف المحلول الملحى _____ د ولار
٨ - تخزين ومعالجة المياه المنتجة _____ د ولار
٩ - تكاليف اخرى _____ د ولار

المجموع الفرعى للتكاليف الرأسمالية المباشرة (١ - ٩) (_____ د ولار (الف).)

التكاليف الرأسمالية غير المباشرة

١٠ - الفائدة أثناء الانشاء _____ د ولار
١١ - المعمار والهندسة ورسوم الادارة _____ د ولار
١٢ - الحالات الطارئة _____ د ولار
١٣ - تكاليف بدء التشغيل _____ د ولار
١٤ - تكاليف اخرى _____ د ولار

المجموع الفرعى للتكاليف الرأسمالية غير المباشرة (١٠ - ١٤) (_____ د ولار (باء))

اجمالى التكاليف الرأسمالية المستهلكة (ألف + باء) _____ (_____ د ولار (جيم))

تكاليف رأسمالية أخرى (غير مستهلكة)

١٥ - الارض _____ اكـر (م^2) _____ د ولار
١٦ - رأس المال العامل _____ د ولار

اجمالى التكاليف الرأسمالية الاخرى (١٥ - ١٦) _____ (_____ د ولار (دال))

اجمالى كافة التكاليف الرأسمالية (جيم + دال) _____ (_____ د ولار)

تكلفة الوحدة من رأس المال (د ولار/غالون فى اليوم "م^3/يوم" من السعة المقررة) _____ (د ولار/غالون فى اليوم "م^3/يوم")

التكاليف السنوية

التكاليف المتكررة

١٧ - الضرائب _____ د ولار
١٨ - التأمين _____ د ولار
١٩ - تكاليف اخرى _____ د ولار

اجمالى التكاليف السنوية المتكررة (١٧ + ١٩) _____ (_____ د ولار (هاء))

تكاليف الصيانة والتشغيل

٢٠ - العمال - الاجور _____ د ولار
٢١ - العمال - تكاليف عامة وادارية (_____ ٪) _____ د ولار
٢٢ - المواد الكيميائية _____ د ولار
٢٣ - مواد التموين والصيانة _____ د ولار
٢٤ - احلال الاغشية (عمر _____ سنة) _____ د ولار
٢٥ - اصلاحات أو عمرات خاصة _____ د ولار
٢٦ - الطاقة - وقود /بخار (الدائرة الاولى) تكلفة الوحدة _____ د ولار
٢٧ - الطاقة - الكهرباء _____ د ولار/كيلوواط ساعة _____ د ولار
٢٨ - تكاليف اخرى _____ د ولار

اجمالي تكاليف الصيانة والتشغيل السنوية (٢٠ - ٢٨) _____ (_____ دولار (واو))

الرسوم السنوية الثابتة

فائدة _____ ٪ وعمر المحطة _____ سنة عامل استعادة رأس المال _____

(_____ دولار (جيم) × _____) + (_____ دال × _____) * (_____ دولار (زاي))
رأس المال المستهلك عامل استعادة رأس المال رأس المال غير المستهلك عامل استعادة رأس المال

اجمالي التكاليف السنوية (هاء + واو + زاي) _____ (_____ دولار (حاء))

* في كثير من التحليلات لاتحسب استعادة رأس المال فيما يتعلق برأس المال غير المستهلك (دال)

تكاليف انتاج الوحدة

الانتاج السنوي _____ ١٠٠٠ غالون (م٣) ○ متوقع ○ فعلي

وحدات التشغيل

تكلفة الوحدة = اجمالي التكاليف السنوية (حاء) / الانتاج السنوي الفعلي = _____ (دولار/١٠٠٠ غالون/م٣)

فيما يتعلق بالتكاليف التقديرية

تكلفة الوحدة = اجمالي التكلفة السنوية (حاء) / السعة المتوقعة × عامل المحطة = _____ (دولار/١٠٠٠ غالون/م٣)

مقدر التكاليف _____ التاريخ _____ المشروع _____

ارفق بيانات معلومات مشروع ازالة الملوحة

المصدر: O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., United States Agency for International Development, 1980).

نموذج معلومات بشأن مشروع لإزالة الملوحة

١ – الموقع ..... سعة التصميم ..... مليون غالون في اليوم (م^3/يوم)

٢ – نوع الوحدة ..... عمر الوحدة التقديرى ..... سنوات.....

٣ – مصدر ماء التغذية .....

٤ – خصائص ماء التغذية – هل يوجد تحليل كامل ؟ ☐ نعم ☐ لا

اجمالي الجوامد المذابة ..... ملغم/ل على الأكثر ..... ملغم/ل على الأقل

درجة الحرارة ..... القصـــوى ..... الدنيا .....

مصدر بيانات ماء التغذية .....

كم عدد التحاليل التي أجريت على ماء التغذية ؟ ..... متى ؟ .....

أين ؟ .....

مدى موثوقية بيانات ماء التغذية ؟ .....

ما هي درجة الحرارة المستخدمة في تصميم الوحدة فيما يتعلق بماء التغذية و/أو مـــاء التبريد ؟ .....

٥ – وصف الوحدة .....

.....

٦ – عامل الاسترداد ..... (وحدات الأغشية) .....

٧ – عامل الأداء ..... (وحدات التقطير) .....

٨ – كم عدد الوحدات التي بنيت من قبل وفقا لهذا التصميم وسـعتها المتكافئة ؟ .....

.....

أين ؟ .....

٩ – هل تعمل أى من هذه الوحدات والسعة في ظل ظروف مشابهة ؟ ☐ نعم ☐ لا

أين ؟ ..... هل في نفس البلد أو المنطقة ؟ .....

ما هي النتائج المحققة ؟ .....

.....

١٠ – من الذى سيقوم بتشغيل هذه الوحدة ؟ .....

١١ – ما هو المستوى المتوقع من الخبرة الفنية للذين سيقومون بتشغيل الوحدة ؟ . . . . .
. . . . . .

١٢ – ما هي تجاربهم في تشغيل معدّات إزالة الملوحة أو المعدّات المشابهة ؟ . . . . .
. . . . . .

١٣ – هل ستكون هناك ميزانية كافية متاحة لتشغيل وصيانة الوحدة خلال فترة تنفيذ المشروع؟
. . . . . .
. . . . . هل من المزمع وضع برنامج للتدريب ؟ . . . . . .

١٤ – ما هـو عامل تصميم الوحدة ؟ . . . . . .
هل هذا عامل وحدة واقعي استنادا الى الظروف المحلية الخاصة بالتمويـــــل ،
والتكنولوجيا ، والمناخ ، ومرافق الدعم ، الخ ؟ ☐ نعم ☐ لا أوضح . . .
. . . . . .
اذا كانت الاجابة بالنفي ، ما هو العامل الواقعي ؟ . . . . . .
. . . . . .

١٥ – هل ستكون هناك مشكلة فيما يتعلق بالتخلص من المحلول الملحي المكثّف المصـــرّف
من الوحدة ؟ ☐ نعم ☐ لا . . . . . .
كيف سيتم التخلص منه ؟ . . . . . .

١٦ – ما هي الأذونات والتصاريح والأوامر والتمـويل ، الخ التي يلزم الحصول عليهـــــا
أو الاستغناء عنها قبل شراء مرفق ازالة الملوحة وتشغيله ؟ . . . . . .
. . . . . .
. . . . . .

وصف المشروع .....

١٧ – ما هي فترة الانشاء التقديرية ؟ ..... شهر .....
متى سيبدأ التصميم ؟ ..... العطاءات المطلوبة ؟ .....
العقود المقرر منحها ؟ ..... بدء الانشاء ؟ .....
..... بدء تشغيل الوحدة ؟ .....

التكاليف الرأسمالية

التكاليف الرأسمالية المباشرة

١٨ – أ.

نوع المعدات	وصف المعدات	مصدر تقدير التكاليف	التكاليف	الرقم القياسي للتكاليف		التكاليف القياسية التقديرية
				المكان	الوقت	
تنمية امدادات مياه التغذية						
المعالجة الخاصة لمياه التغذية						
معدات ازالة الملوحة						
إعداد الموقع						
مصدر الطاقة						
المعدات الكهربائية (مجموعة المفاتيح الكهربائية)						
التخلص من المحلول الملحي						
تخزين ومعالجة الناتج						
أنواع اخرى						

١٩ – الأرقام القياسية المستخدمة للتكاليف : .....
يتعين تحديد عامل للتكاليف المحلية للمنطقة قيد الدراسة وادراجه في عوامل النقل.
وهذا الرقم القياسي المحلي هو .....

التكاليف الرأسمالية غير المباشرة

٢٠ – الفائدة أثناء التشييد : ..... ٪ أساس التقدير : .....
..... الفائـــدة : ..... دولار

٢١ – الرسوم الفعلية والتقديرية ورسوم ادارة المشروع : ..... ٪ و/أو أساس التقدير :
..... الرسم : ..... دولار

٢٢ – تكاليف الطوارئ ..... ٪ و/أو أساس التقدير : .....
..... تكاليف الطوارئ : ..... دولار

٢٣ – تكاليف البدء ..... اساس التقدير : .....

تكاليف رأسمالية اخرى :

٢٤ – مساحة الارض المطلوبة : ..... تكلفة الوحدة من الأرض : .....
التكاليف الكلية : ..... أساس تكلفة الوحدة من الأرض .....

٢٥ – رأس المال العامل : ..... أساس التكلفة : .....

الرسوم السنوية الثابتة

٢٦ – هل أدرجت في التكاليف ؟ نعم لا نسبة الفائدة : ..... ٪
الفترة الزمنية : ..... سنة ..... عامل استرداد رأس المـــال :
..... في حالة عدم فرض أية رسوم ، لماذا ؟ .....
.....

العمل

٢٧ – عدد ساعات عمل الوحدة في اليوم : .....

٢٨ – عدد ساعات خدمة الوحدة في اليوم : .....

٢٩ - العدد المتوقع من الموظفين :

وصف العمل	عدد الوظائف	الأجر السنوي	التكاليف السنوية
المدير / المراقب			
مهندس العملية أو الوحدة			
ميكانيكي - عام			
ميكانيكي كهرباء			
ميكانيكي معدّات			
خبراء كيميائيون			
عمـــــال			
سائق / حارس			
أمين / سكرتير			
مراقب النوبـــة			
العامل الميكانيكي في النوبة			
اجمالي التكاليف السنوية			

اذا لم تكن هناك فكرة عن الموظفين اللازمين ومستويات الأجور ، استخدم تقديرا عاما لتكاليف العمل الشاملة : هذا التقدير هو ..... دولار وتتضمن ☐ ولا تتضمن ☐ التكاليف العامة والادارية .

٣٠ - مستوى التكاليف العامة والادارية المستخدمة : ..... ٪
أساس هذه النسبة المئوية هو : .....
التكاليف العامة والادارية السنوية هي : ..... دولار

المواد الكيميائية ، والامدادات ، والصيانة

٣١- وصف المواد الكيميائية والمرشحات | الكمية المطلوبة سنويا | الكمية المطلوبة سنويا

٣٢ - هل هناك صعوبات متوقعة في مجال شراء وتسليم وخزن و/أو استخدام هذه المواد خلال فترة عمر المشروع ؟ ☐ نعم ☐ لا التفاصيل : .....
.....

٣٣ - تكاليف الامدادات ومواد الصيانة ..... دولار ..... الأساس ....
.....

احلال الأغشية

٣٤ - نوع وشكل الأغشية .....

٣٥ - هل ستكون قطع الغيار موجودة ؟ ☐ نعم ☐ لا اذا كانت الاجابة بنعم ، كم عدد هذه القطع ؟ .....
عمر الغشاء المستخدم ..... سنة . فيما يتعلق بالاوزموزية العكسية ، ما هي الانتاجية المضمونة في نهاية تلك الفترة مقابل الانتاجية عند بداية المشروع؟
.....
تكاليف الاحلال السنوية ..... دولار ، الأساس .....

اصلاحات خاصة

٣٦ - هل ستلزم عمليات اصلاح كبيرة أو احلال للمعدات خلال فترة حياة المشروع ؟ ☐ نعم ☐ لا ، صف هذه العمليات ، .....
.....
التكاليف السنوية التقديرية ..... دولار ، الأساس .....

الطاقة

٣٧ – المصدر (المصادر) .....

٣٨ – الوحدات الوحيدة الغرض أو المزدوجة الغرض .....

٣٩ – تكاليف الكهرباء ..... /كيلووات ساعة ؛ استخدام الكهرباء .... /كيلووات ساعة/غالون في اليوم (كيلووات ساعة /م^3) .....

٤٠ – هل استهلاك الكهرباء يشمل جميع عمليات الضخ من والى الوحدة ؟ ☐ نعم ☐ لا
اذا كانت الاجابة بالنفي ، ما حجم الطاقة الاضافية اللازمة للضخ ؟
..... كيلووات ساعة /غالون في اليوم (كيلووات ساعة /م^3)

٤١ – ما نوع الوقود في حالة لزومه ؟ ..... قيمة التسخين .....

٤٢ – استخدام الوقود (الوحدات تعمل بالديزل أو بالغاز) ..... غالون وقود / غالون في اليوم (١ /م^3) ماء

٤٣ – بخار (لوحدات التقطير) .....
عامل أداء الوحدة ..... درجة حرارة التشغيل ..... (ف) (مئوية)
الاحتياجات من البخار .....
تكاليف البخار الوحيد الغرض .....
تكاليف البخار المزدوج الغرض .....

واو - ازالة الملوحة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة

وجه موخرا اهتمام كبير لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة فى اغراض ازالة الملوحة خاصة فى المناطق النائيه بالنظر الى ارتفاع تكاليف الوقود المعيارى وصعوبة الحصول عليه ، ومحاولات المحافظة على الوقود الحفرى ونقص القوة المحركه فى المناطق الريفيه . ولا تتطلب مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وقدرة الرياح استثمارات أخرى خاصة بالقدرة بعد أن تتم اقامة نظام ملائم لتجميع الطاقة .

وبغض النظر عن وحدات التقطير بالطاقة الشمسية الاساسية ، فان تنمية مصادر الطاقة المتجددة لاتزال فى مهدها . وقد سلم الكثيرون فى شتى أرجاء العالم بالحاجة الى هذه المصادر ولكن تنميتها التجارية واستخدامها على نطاق واسع، خاصة فى البلدان النامية ، ينتظر أن يستغرق تحقيقه بعض الوقت . وتحتاج عملية تنمية معظم مصادر الطاقة اليد يله الى استثمار رأسمالى كبير لكل وحدة للقدرة ، ومن الممكن أن يتعقد سطحها المشترك مع معدات ازالة الملوحة .

وتكاد تكون استخدامات العملية لامدادات الطاقة المتجددة المؤتلفة مع عمليات ازالة الملوحة قاصرة تماما فى الوقت الراهن على معامل التقطير التى تعمل بالطاقة الشمسية فى مواقع حول العالم . وقد اجريت تجارب عديدة على توليفات من انواع أخرى ، ولكن تلك التجارب ساندتها حكومات أو معاهد بحث، ونادرا ما كانت تنافس، تجاريا ، مرافق ازالة الملوحة التى تدار بالوسائل التقليدية .

وتبذل جهود فى الاردن واستراليا وايطاليا وفرنسا ومصر والمكسيك والولايات المتحدة الامريكية واليونان وبلدان أخرى للعمل على مواءمة مصادر بديله للطاقة وعمليات ازالة الملوحة ، ولكن على نطاق صغير للغاية (٢٠م^{٣}/يوم أو أقل) بسبب التكاليف الرأسمالية المرتفعة المتضمنه . وكما سيتضح ، فانه من المرجح أن تصبح مصادر الطاقة المتجددة منافسة للمصادر التقليدية فى مجال الاستخدامات المحدودة النطاق فى مواقع نائية . وسوف توفر هذه الاستخدامات ذات الاهمية الخاصة للبلدان النامية المجال الرئيسى لانظمة ازالة الملوحة بالطاقة المتجددة فى السنوات القليلة القادمة .

١ - الطاقة الشمسية

(أ) خلفية تاريخية

من بين كافة مصادر الطاقة المتجددة المتاحة ، تحظى الطاقة الشمسية باهتمام بالغ فيما يتصل بازالة الملوحة . وقد ورد ذكر استخدام الطاقة الشمسية فى ازلة الملوحة فى وقت مبكر يرجع الى القرن السابع عشر على لسان العالم الايطالى د يلا بورتا .

وقد اشار العديد من اصحاب التجارب الى التقطير بالطاقة الشمسية على مدى الاربعة قرون الماضية على الاقل (نيبيا ومينوزى، ١٩٦٦) . وقد بنى احد معامل التقطير الشمسية الاولى الناجحة والمدعمة بالوثائق فى صحراء شيلى الشمالية فى لاس ساليناس فى حوالي عام ١٨٧٢ على يد كارلوس ويلسون . واستخدم المعمل الواح الزجاج الذى كان آنئذ اختراعا حديثا ، والذى يعد أحد لوازم معظم معامل الطاقة الشمسية الحديثة . وأقيمت معامل تقطير أخرى فى تلك الآونه وفى السنوات التاليه . واستخدمت تلك المعامل فى المناطق بعلية مختلفة مثل شيلى والصحراء ومواقع أخرى فى شمال افريقيا . واثناء الحرب العالمية الثانية ، ازدادت الجهود الرامية الى انتاج معمل شمسى يستعمل طوف النجاه المستخدم فى السفن والطائرات واخترعت ماريبا تيلكيس وحدة من البلاستيك قابلة للنفخ لهذا الغرض، وتم انتاج مئات الآلاف من الوحدات . وواصلت جهودها البحثية فى هذا الميدان بعد الحرب وازداد الاهتمام بهذا الميدان بحيث اجرى المزيد من البحث والتنمية المستقلين فى جميع انحاء العالم .

وفى الستينات نفذ مرفق المياه الملحه بالولايات المتحدة برنامجا مكثفا لاستقصاء امكانية استخدام الطاقة الشمسية فى عمليات التقطير . وقد اشتمل جزء هام من هذا البرنامج على انشاء محطة يقوم بتشغيلها معهد باتيل بالقرب من دايتونا بيتش بفلوريدا ويجريبها ميدانيا . وتضمنت التصميمات المختلفة لمعامل التقطير الشمسية احواضا مغطاه بالزجاج ، واحواضا منفوخة من البلاستيك ، وفتائل وأحواضا مائلة ، وأنابيب مزدوجة مصنوعة من البلاستيك تماما . وقد حقق برنامج معامل التقطير الشمسية الخاص بمرفق المياه الملحة ، الذى أدير فى الفترة من ١٩٥٢ الى ١٩٧٠ ، بيانات خاصة بالتصميم استخدمت فى معامل تقطير شمسية عديدة انشئت فى جميع انحاء العالم منذ ١٩٦٠ (ايبلنغ ، ١٩٨٠) .

وقد أنهى البرنامج فى عام ١٩٧٠ عندما وجد أنه لايمكن تحقيق التخفيضات المطلوبة فى التكاليف الرأسمالية . واستنادا الى ذلك ، أمكن التوصل الى استنتاج مفاده أن النفقات الثابتة المرتفعة المرتبطة بتكاليف انشاء معمل التقطير لن تعوضها الوفورات الناجمة عن الطاقة الشمسية المتاحة بالمجان (ماتسون ولاندستروم ، ١٩٧٩) وقد قام تالبيرت وايبلنغ ولوف بتخليص واستعراض الجهود المبذوله فى ميدان التقطير بالطاقة الشمسية فى أحد منشورات مرفق المياه الملحة ، كتيب عن تقطير المياه الملحة بالطاقة الشمسية (وزارة الداخلية الامريكية ، ١٩٧٠) . ويحتوى هذا النص المرجعى على معلومات ينبغى دراستها من جانب أية وكالة أو مجموعة أو أفراد يفكرون فى مزاولة النشاط الخاص بالتقطير بالطاقة الشمسية . وثمة منشورات أخرى قيمة ينبغى الرجوع اليها تشمل : التقطير الشمسى كوسيلة لتلبية الطلب المحدود على المياه (الامم المتحدة ، ١٩٧٠) ، مياه عذبه من الشمس (دانهام ، ١٩٧٨) الوكالة الامريكية للتنمية الدولية ، أنظمة التقطير بالطاقة الشمسية (لاواند ، ١٩٧٥) معهد بريس للابحاث .

(ب) اعتبارات تقنية

تختلف الطاقة الشمسية خلال ساعات اليوم ومن يوم الى آخر وتتوقف على الموقع والظروف المناخية . وعلى الرغم من امكانية حساب متوسطات عامة ، فان كمية الطاقة المتاحة على وجه الدقة فى أى مكان بعينه فى وقت معين تتوقف على الظروف المناخية . ومن الواضح أنه نظرا للطابع اليومى للاشعاع الشمسى فانه يتعين قياس التطبيقات التى يستعمل فيها وفقا لامدادات الطاقة المتغيرة أو تزود بنوع ما من أنواع الخزن لتقليل الاختلافات والامداد بقوة محركة لمدة أطول من تلك التى يمكن الحصول عليها من ضوء الشمس الفعلى .

'١' محولات الطاقة

تستخدم مجموعة من الآليات فى تحويل الطاقة الشمسية مباشرة الى اشكال أخرى للطاقة - سواء حرارة أو كهرباء . ومن بين الاجهزة الشائعة الاستخدام فى تحويل الحرارة والمتاحة الآن على المستوى التجارى ، صفائح التجميع المستوية ، وصفائح التجميع البؤرية والاحواض الشمسية .

وتصنع صفائح التجميع المستوية من صفائح معدنية مستوية مغطاه بطبقة من الجرافيت للوصول باستيعابها للطاقة الشمسية الى الدرجة القصوى . وترتفع درجة حرارة الصفائح مع تعرضها للطاقة الشمسية الواردة . ويمكن نقل الحرارة المتولدة الى مكان آخر بتمرير مائع (مياه أو هواء عادة) على الصفائح لالتقاط الطاقة الحرارية وتثبت عادة أنابيب أو مواسير على الصفائح لنقل السائل وتوفير نقل جيد للحرارة من الصفائح الى السائل . ويتم التحكم فى الفاقد من الحرارة بواسطة النافذة الزجاجية أو المصنوعة من البلاستيك المستوية التى تغطى الصفيحة الماصة ، وبواسطة المادة العازلة الحرارية الموجودة خلف الصفيحة . وتعمل صفائح التجميع المستوية عادة فى درجة حرارة تتراوح بين ٤٠ و ٩٠ درجة مئوية (١٠٤ الى ١٩٤ درجة فهرنهايت) وهى مناسبة بشكل هامشى فقط للاستخدامات المتعلقة بازالة الملوحة .

وفى صفائح التجميع الانبوبية المفرغة ، توجد أنابيب ماصة مزعنفة فى انابيب مفرغة للتحكم فى الفاقد من الحرارة . وتصل الى درجة ١٥٠ مئوية (٣٠٠ فهرنهايت) وهى أكثر ملاءمة للتقطير الشمسى من صفائح التجميع المستوية .

أما أنظمة التجميع البؤرى فتستطيع تحقيق درجات حرارة أعلى بكثير بتركيز الطاقة الشمسية فى نقطة بؤرية (مرايا القطع المكافئ المقعرة أو عدسات فرينل) أو على طول خط (عاكسات ذات شكل مستعرض) . ومن الممكن كذلك بناء أنظمة مكونة من مصفوفات كبيرة من المرايا تحيط ببرج مركزى له مرايا منفردة (هليوستات) يجرى ضبطها بالحاسب الالكترونى لاقتفاء أثر الشمس وتركيز طاقتها على نجوه امتصاص أعلى البرج . وتعمل صفائح التجميع البؤرى فى ضوء الشمس المباشر ، وهى مناسبة للمناطق

الصحراوية حيث قد تستخدم فى ازالة الملوحة اما كمصدر للحرارة و/ أو الطاقة الكهربائية .

وقد تستخدم مجموعة من الاحواض الشمسية فى تحويل الطاقة الشمسية الى حرارة قابلة للاستعمال . واهم هذه الانواع هى الاحواض الشمسية اللاحملية (أو اللاتصعّدية) ، التى يتراوح عمقها عادة من ١ الى ٥ متر، والتى تظل مستقرة فى مواجهة الفاقد من الحرارة الحملى عن طريق تدريج التركيز الملحى . وتتراوح درجة تشغيل الاحواض الشمسية عادة بين حوالى ٣٠°م و ٩٠°م (من ٨٦°ف الى ١٩٤°ف) الامر الذى يتوقف على موقع الحوض وتصميمه . وأجريت بعض البحوث فى اسرائيل وفى اماكن اخرى حول استخدام تلك الاحواض . ويمكن استخدام المخرج الحرارى للاحواض الشمسية فى تزويد المحركات الحرارية بالقوة المحركة و/ أو فى وحدات التقطير المنخفض الحرارة .

وتحول الخلايا الفلطائية الضوئية الضوء (الجزء المرئى من الطيف) من اشعاع شمس الى كهرباء مباشرة . ولا يتضمن التحويل أية اجزاء متحركة ، أو معدات أخرى للطاقة أو معدات خاصة . الا أن انتاج تلك الخلايا معقد ومكلف الى حد ما . وقد استخدمت هذه الخلايا منذ حوالى عام ١٩٥٥ . واستعملت فى البداية فى استخدامات خاصة بالفضاء ، واستخدمت مؤخرا على نطاق واسع فى توفير القدرة للاجهزة الصغيرة فى ميدان الملاحة مثل المساعدات والاضواء والمضخات .

وتنتج الخلايا الفلطائية الضوئية تيارا مباشرا وترتب فى لوحات أو وحدات قياس مستوية ومصفوفات من اللوحات . وتستجيب وحدات القياس هذه لكل من الانتشار والاشعاع المباشر وتوزع عادة كوحدات ثابتة مائله عن زاوية خط العرض . ومن شأنها أن تصل بانتاج الطاقة الكهربائية الى الحد الامثل على مدى عام . كذلك قدمت ايضاحات عملية لاقتفاء أثر الشمس بواسطة أنظمة التجميع البؤرية .

وقد أصبحت وحدات القياس الفلطائية الضوئية التى سعرت فى ١٩٧٨ بمبلغ ١٥ دولار لكل واط ذروى متاحة مقابل من ٦ - ٧ دولار فى أواخر ١٩٨٣ . وتقوم الخلايا الفلطائية الضوئية الحالية على رقائق سيلكونية احادية البلورات أو متعددة البلورات شبة موصلة . بيد أنه من المتوقع أن تؤدى تطورات تقنية أخرى ، خاصة تلك القائمة على خلايا شمسية لغشاء رقيق سيلكونى غير متبلور ، الى تخفيض تكاليف الوحدة القياسية الى أقل من ٢ دولار للواط الواحد فى أوائل التسعينات مقابل التكاليف الكلية للنظام الفلطائى الضوئى التى تبلغ قرابة ٤ دولار للواط الواحد .

وفيما يتعلق بالاستعمالات فى مجال ازالة الملوحة ، يمكن استخدام الخلايا الفلطائية الضوئية فى انتاج الكهرباء لتشغيل المحركات والضوابط والادوات فى مجال التقطير ، ومعدات ازالة الملوحة الغشائية .

ويلزم ، فى الغالب ، ايجاد نظام لخزن الطاقة نظرا لان الطاقة الشمسية

تكون عرضة للتقلبات التى ترجع الى الظروف المناخية وطابعها اليومى . ويتمثل النظامان الاساسيان اللذان يستخدمان فى كثير من الاحيان فى (أ) مياه ساخنة معزولة (أو سائل اخر) أو توفير مخازن صخرية لانظمة انتاج الحرارة و (ب) بطاريات للانظمة الفلطائية الضوئية . وهناك أنظمة أخرى للتخزين أكثر تعقيدا تستخدم الاملاح المنصهرة بالحرارة وما الى ذلك .

٢' وحدات التقطير الشمسية

تعمل وحدات التقطير الشمسية بناء على مبدأ استخدام الطاقة الشمسية فى زيادة الرطوبة النسبية فى منطقة محصورة ، وتقطير مياه التغذية بدون غليان ووحدة التقطير التقليدية هى شكل من أشكال الاحواض الشمسية يؤدى فيه الاشعاع الشمسى الى رفع درجة حرارة المياه المراد ازالة ملوحتها . ويسمح فيه لبخار الماء الناتج عن ذلك بأن يلامس سطحا أكثر برودة حيث يتكثف عليه (كمياه عذبة) ثم يجمع عندئذ للاستعمال . وهذا هو بالطبع نفس المبدأ الاساسى لتحويل مياه البحر الى مياه أمطار فى الحياة الطبيعية .

وهناك عوامل عديدة تؤثر على اداء وحدة التقطير الشمسى (راجفانشى ١٩٧٩) . من بين هذه العوامل : الاشعاع الشمسى ، عمق المحلول الملحى فى الحوض ، مواد التغطية وشكلها ، ودرجة الحرارة المحيطة وسرعة الريح ودرجة حرارة سطح التكثيف .

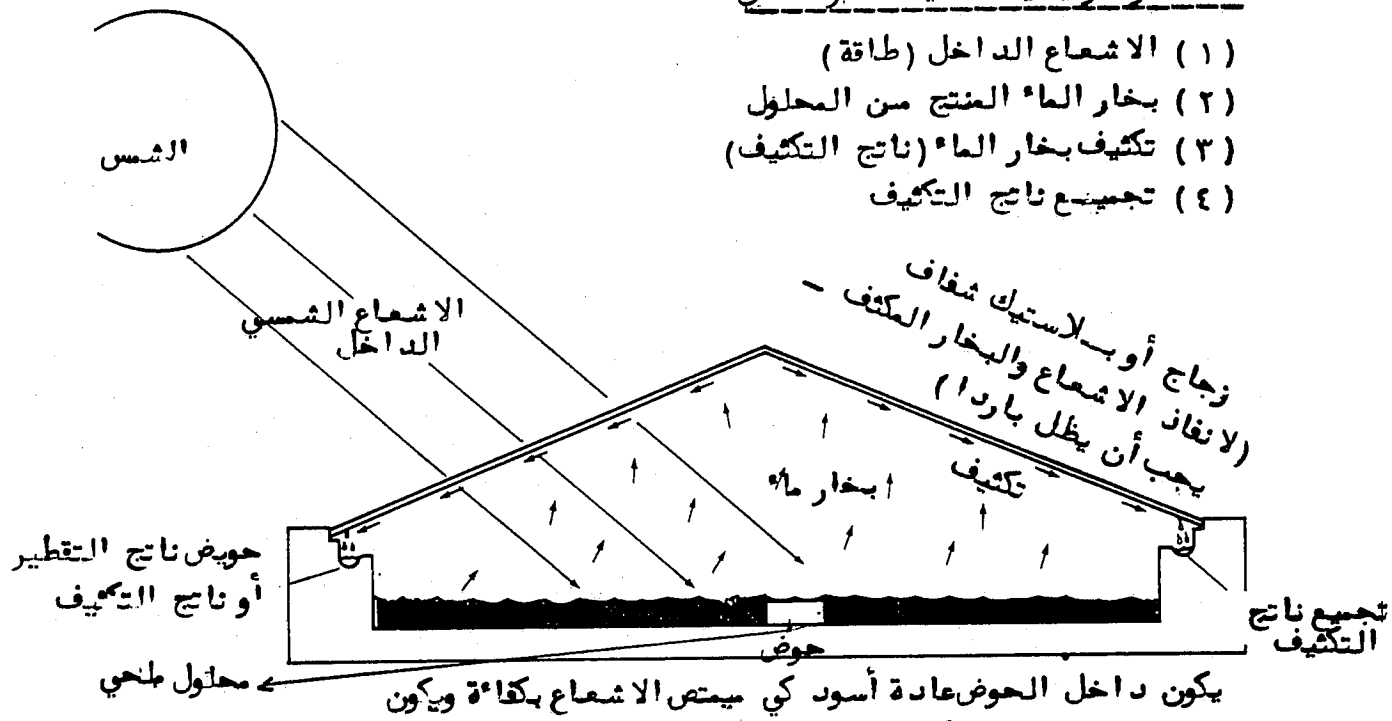
وترتبط بعض هذه العوامل بظروف محلية ، فى حين يتوقف البعض الاخر على التصميم الطبيعى لوحدة التقطير . وبالرغم من أن معظم وحدات التقطير مشابهة للوحدة الاساسية الموضحة فى الشكل الخامس ، فانه يبدو أن هذا المشروع قد شحذ قدرة كثير من العلماء الابداعية ومخيلتهم . وأسفر ذلك عن انتاج مجموعة متنوعة من التصميمات والوحدات التجريبية (واحد فقط من كل نوع فى الغالب) القادرة على ازالة ملوحة مياه البحر أو المياه الضاربة الى الملوحة .

ويمكن استخدام مواد بناء شديدة التنوع فى بناء حوض وجدران واطار ومجمع تكثيف لوحدة تقطير شمسية . وتبنى هذه الاجزاء بمواد البناء المتاحة محليا .

والمادة الرئيسية هى الاغطية الشفافة لوحدات التقطير الشمسية التى صنعت من الزجاج واللدائن (أشرطة رقيقة وصفائح صلبة أوشبة صلبة) . وقد ثبت أن الزجاج مادة ممتازة ولكنه مكلف للغاية فى أغلب الاحيان ومعرض للكسر

العناصر الرئيسية لعملية تقطير شمسي

(١) الاشعاع الداخل (طاقة)
(٢) بخار الماء المنتج من المحلول
(٣) تكثيف بخار الماء (ناتج التكثيف)
(٤) تجميع ناتج التكثيف



يكون داخل الحوض عادة أسود كي يمتص الاشعاع بكفاءة ويكون معزولا في القاع كي يحتفظ بالحرارة .

الشكل رقم ٥ – العناصر الرئيسية لمعمل تقطير شمسي

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية مأخوذ من :
O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C, prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

اثناء النقل والتركيب والاستعمال . وبالمقارنة مع الاغطية الاخرى ، تعتبر الاشرطة أخف وزنا ، وأرخص عادة ومن السهل نقلها . ولكنها تبدو معرضة للدمار نتيجة للرياح العاتية والامطار الغزيرة أثناء الاستعمال ، كما أنها عرضة للتردى فى ضوء الشمس.

وقد استخدمت اشكال عديدة من الصفائح الصلبة وشبة الصلبة كأغطية لوحدات التقطير الشمسية على أساس تجريبى فى المقام الاول . وتختلف خصائص هذه الصفائح (القدرة ، الموصلية الحرارية ، التأثر بالزمن) حسب تكوينها الكيميائى وطريقة صنعها ، فيما يتعلق لاستعمالاتها فى وحدات التقطير . وتشمل مزايا الصفائح اللدائنية : خفة وزنها ، وقابليتها لان تتشكل فى أشكال ذاتية الدعم ، ومقاومتها الاعلى للصدم (مقارنة بالزجاج) وتتضمن المثالب موصليتها الحرارية المنخفضة وارتفاع نسبة تمددها الحرارى وانفاذيتها العالية للاشعة تحت الحمراء ونعومة سطحها (قابليتها للخدش) وارتفاع تكليفتها أو عدم توافرها فى البلدان النامية (دانهام ، ١٩٧٨) . والواقع أن استخدام الصفائح اللدائينية قد يكون بمثابة احتمال جذاب بالنسبة لبعض المواقع ، ولكن يتعين تناولة بحذر وتجريبة ميدانيا .

وبحكم التجربة العملية فان وحدة التقطير الشمسى جيدة التصميم ومقاومة فى منطقة جيدة التعرض لاشعة الشمس، قد تنتج يوميا من ٢ - ٤ لتر من المياه لكل متر مربع من مساحة الحوض تقريبا . ويختلف هذا المعدل حسب تصميم الوحدة والموسم والموقع والمناخ ولكنه معدل متوسط جيد . وقد تنتج وحدات التقطير أقل من ٢ لتر / م^{٢} ولكنه ينبغى النظر بحذر للدعاوى القائلة بان وحدة التقطير قد ينتج أكثر من ذلك ويعتبر ذلك الانتاج ممكنا ولكن هناك ما يبرر استقصاء والتحقق منه بدقة - ويفضل التحقق الميدانى . وقد اشار تليمات (١٩٧٨) الى أن الملامح التالية تؤدى فيما يبدو الى كفاية عالية فى وحدات التقطير : سعة حرارية منخفضة ، ومحتوى هوائى منخفض، وغطاء سدود للبخار وحوض سدود للمياه ، ومادة عازلة جيدة حول الحوض.

وفى حالة وجود تصميم اساس جيد لوحدة التقطير، فانه يبدو أنه سيكون هناك سببان تقنيان لمشاكل التشغيل : فقد بخار الماء ، وانخفاض سعة امتصاص الحرارة .

وسوف يحدث فقد بخار الماء نتيجة لوجود أى تسريب فى الوحدة . وبالرغم من أن الطقس المعاكس يمكن أن يتسبب فى تمزيق أو كسر الغطاء الشفاف فان جانب كبير من الكسر ينتج عن تدخل بشرى أو حيوانى .

وهناك سبب اخر خطير لتسرب البخار يتمثل فى وسائل منع التسرب غير السليمة للوصلات الموجودة من الزجاج والاطر . ونظرا لان الزجاج يتمدد وينكمش بالتعرض للحرارة والبرودة بالتناوب، فانه يتعين احكامة بمادة قابلة للانثناء ومع ذلك تظل محكمة . ولسوء الحظ فانه لم تكتشف بعد المادة المثلى لمنع التسرب التى تصمد فى ظل ظروف ضوء الشمس أو الحرارة المباشرين . وتلك المواد التى تتوفر فيها بالتأكيد الخواص الضرورية (مثل عامل سليكون منع التسرب) انما هى مواد باهظة التكاليف .

أما مشكلة التشغيل الرئيسية الثانية فهى انخفاض كفاءة المياه المراد ازالة ملوحتها والموجودة فى الحوض على امتصاص الحرارة . ومن الممارسات العادية أن تتم تغطية قاع الحوض وجوانبه بطبقة مغلقة أو دهنها أو تلوينها بطريقة أو بأخرى باللون الاسود لزيادة امتصاص الحرارة . الا أنه اذا سمح للمياه التى فى الحوض بأن تجف أو بأن تصبح مركزة للغاية فان ذلك يفضى بالمعادن الرسوبية الى تكوين طبقة مغلفة بيضاء على سطح الحوض . وهذه الطبقة البيضاء تقلل بشدة من امتصاص الحرارة .

وثمة مشكلة أخرى ذات صله بالموضوع هى نمو الطحالب والكائنات الحية الدقيقة على سطح المياه الملحة أو فى الحوض . ومن المهم أن يبنى الحوض بحيث يمكن تنظيفة وغسله واعادة طلاء المواضع التى تكونت فيها رواسب الملح . وفى بعض الوحدات يمكن ازالة الصفائح الزجاجية لايجاد منافذ لاجراء الصيانة والتنظيف .

٣' عمليات أخرى لازالة الملوحة

تم تقييم فكرة استخدام الطاقة الشمسية فى عمليات التقطير المعيارية (الوميض المتعدد المراحل ، المتعدد النتائج وما الى ذلك) غير وحدات التقطير الشمسية (الترطيب الشمسى فى الواقع) لعدد من السنين . وتركزت معظم المناقشات والدراسات والتجارب المعملية حول استخدام الطاقة الشمسية لزيادة طاقة تلك الوحدات . معنى ذلك أن تستخدم الطاقة الشمسية فى تسخين مياه التغذية ، وتخفيض اجمالى استهلاك الوقود ولكن المتبقى من المحركات والمضخات والادوات واجهزة التحكم يزود بالطاقة من مصادر تقليدية . ويرد ذكر بعض من الاختلافات العديدة الخاصة بهذا العمل فى منشورات الامم المتحدة (١٩٧٠) ، وفى هاو وتليمات (١٩٧٤) ، وتليمات وهاو (١٩٧٧) ، وكلاكسين وبايير (١٩٧٨)، وماستاتشى وسينا (١٩٧٨) ، وغاسبارينى وأخرين (١٩٧٩) ومكارثى ولى (١٩٧٩)

وقد شهدت السنوات الاخيرة اهتماما بوحدات التقطير التى تزود بالقدرة من الطاقة الشمسية بالكامل . وسوف تقضى تلك الترتيبات على أى حاجة (ربما فيما عدا الحاجه اليها بالنسبة للتسهيلات الاحتياطية) الى الوقود الحجرى و/ أو القوة الكهربائية الخارجية . وقد يكون انشاء تلك الوحدات ملائما للمناطق

المعزولة التي ترتفع فيها تكاليف الوقود . وتعتبر كثير من عمليات التقطير حساسة تماما لآليات البدء والايقاف . ومن ثم يلزم ممارسة العمل والاختبار الميداني لتحاشي وقوع مشاكل في هذا المجال .

وقد شرع للتو في استقصاء استخدام الطاقة الشمسية في عملية الدليلزة بالكهرباء بصورة جدية . وتتم هذه العملية بالخصائص التالية التي تتلاءم مع استخدام الطاقة الشمسية :

(أ) تتناسب انتاجية خلية للدليلزة بالكهرباء مع مرور التيار، بل وتتحسن في الواقع عند المستويات المنخفضة للتيار . وهذا يضاهي تماما خواص القدرة في الخليه الفلطائية الضوئية التي يختلف التيار بالنسبة (عند الفلطيه الثابتة) مع التعرض للشمس (التعرض للاشعاع الشمسي) وتسمح بالتالي بالاستفادة من نظام الطاقة الشمسية حتى عند مستويات منخفضة من ضوء الشمس بدون الحاجة الى بطاريات .

(ب) يتمثل المطلب الرئيسي لعملية الدليلزة بالكهرباء فيما يتعلق بالطاقة في حاجتها الى تيار مستمر . ويمكن الحصول عليه مباشرة من خلايا فلطائية ضوئية وتفقد العمليات الاخرى التي تحتاج الى تيار متردد ما بين ٥ و ١٠ في المئة في أنظمة التحويل .

(ج) تعتبر عملية الدليلزة بالكهرباء عرضة للتوقف والتشغيل .

(د) أي تسخين لمياه التغذية بالطاقة الشمسية أو بمدخلات أخرى يحسن الكفاية الاجمالية لتشغيل مجموعات الاغشية .

وتعد الاوزموزية العكسية التي تعمل بالقدرة الشمسية احد التطبيقات الجديدة نسبيا . وفيها يتعين توفير الطاقة اما في شكل كهرباء أو قدرة ميكانيكية لعمود الادارة . وحيثما تنتج الكهرباء فانه يمكن استخدامها في تزويد محرك معيارى بالقدرة ليدير مضخة الضغط العالي . وحيثما تكون القدرة الدوارة متاحة فانه يمكن استخدامها في ادارة المضخات مباشرة . ومع ذلك فان هذه التطبيقات تحتاج عادة الى بعض الطاقة الكهربائية لتشغيل أجهزة التحكم، والمضخات الاخرى وأجهزة القياس.

ونظرا للضغوط العالية المتضمنة واحتمال اتساخ الاغشية بالرواسب، فان منشآت الاوزموزية العكسية لا تحسن الاداء في المدى البعيد اذا تعرضت باستمرار لعملية تشغيل وايقاف، الا اذا كانت قد شيدت على نحو خاص للقيام بذلك . وبذلك ينبغي وضع احكام خاصة بنظام قابل للتغيير لمعالجة حالات انقطاع توليد القدرة . ويتعين اتخاذ قرار استنادا الى اقتصادات النظام وموقعه ومتطلباته وذلك فيما يتعلق بما اذا كان يتعين تشغيل الوحدات بصفة مستمرة ام خلال ساعات النهار فقط .

(ج) جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

جرى انشاء وتشغيل عدد من محطات ازالة الملوحة بالطاقة الشمسية النموذجية على أساس تجريبى . وأتاحت جميع تلك المحطات خبرة مفيدة ولكنها لاتزال مكلفة للغاية ومن غير المرجح أن تصبح قابلة للتطبيق تجاريا فى البلدان النامية فى المستقبل القريب. وترد أدناه بعض أمثلة للوحدات الشمسية التى تستخدم كافة عمليات ازالة الملوحة .

'١' الوميض المتعدد المراحل

ثمة خبره ضئيلة جدا بمنشآت ازالة الملوحة التى تعمل بالطاقة الشمسية ومع ذلك فقد انشئت محطة تجريبية هامة سعتها ١٠م^{٣}/يوم فى مدينة لاباز فى شبة جزيرة باجا البعلية بكاليفورنيا بالمكسيك فى عام ١٩٨٠ . وهذا المرفق يعد جهدا بحثيا مشتركا للادارة العامة لاستغلال المياه والطاقة الشمسية والمانيا (جمهورية اتحادية) .

والغرض من المشروع هو الحصول على خبرة ميدانية فى استخدام الطاقة الشمسية بالاضافة الى وحدة تقطير تعمل بالوميض المتعدد المراحل . ومن المسائل ذات الاهتمام الخاص قدرة الوحدة على العمل فى وضع مستقر بامدادات متفاوته من الطاقة .

ويتكون القسم المعنى بالطاقة الشمسية فى المنشأه من مجمعات من الصفائح المستوية (للحرارة المنخفضة) ومركزات قطعية مكافئه (لدرجات الحرارة المرتفعة) . وتم توفير نظام لاختزان الحرارة قادر على اختزان طاقة حرارية تكفى لتوفير مصدر ثابت للطاقة مدة ٢٨ ساعة تقريبا . وترمى الخطة الى تشغيل وحدة التقطير ٢٤ ساعة فى اليوم .

وتنقسم مجمعات الصفائح المستوية الى ثلاث مجموعات، واحدة للامداد بالطاقة للتشغيل النهارى واثنتين للامداد بقدرة مختزنه للتشغيل الليلى . وتبلغ المساحة الكلية لمجمع الصفائح المستوية حوالى ٢٠٥م^{٢} . وستبلغ المساحة الكلية لسطح تجميع المركزات القطعيه المكافئه حوالى ١٥٨م^{٢} .

ووحدة التقطير التى صممتها الادارة العامة لاستغلال المياه والطاقة الشمسية عبارة عن محطة تعمل بالوميض المتعدد المراحل على ١٠ مراحل باعادة توزيع المحلول الملحى، وقد صممت بمعامل اداء ١٣٠ كيلوواط ساعة/م^{٣} (مانجاريز وغالفان، ١٩٧٩) .

'٢' التقطير المتعدد النتائج

يجرى مركز ترويج اعادة استعمال المياه باليابان تجارب مكثفة حاليا على

وحدة تقطير شمسية متعددة النتائج عاليه الكفاية . وقد تم صنع مقطر واحد من ١٠ خلايا ، وتجمع الطاقة الشمسية على صفيحة الخالية الاولى . ويجرى تقطير مياه البحر التى تنساب عبر فتيل على السطح الخلفى لصفيحة التجميع . ويتم تكثيف بخار الماء المتولد على سطح الصفيحة الحاجزة لخلية المرحلة الثانية ويجمع بوصفه مياه عذبة . ويستمر هذا حتى المرحلة العاشرة .

وقد أنشئت أربعة وعشرون وحدة من تلك الوحدات التجريبية البالغ سعتها ٤ر٢ م^3 /يوم فى اوكيناوا فى عام ١٩٨٣ وستستمر عملية التجريب لمدة عامين . وتبلغ مساحة منطقة استقبال الحرارة لكل وحدة ١٠٠م^2 وتبلغ سعة الوحدة الواردة بالتقارير من ٢٠ - ٣٠ لتر للمتر المربع فى اليوم ، الامر الذى يتوقف على الاشعاع الشمسى فى ارجاء العالم . وهذه السعات أكبر بحوالى ثمانية أمثال سعات وحدات التقطير الشمسى الحوضية الشكل التقليدية (التقدير المعنى بازالة ملوحة المياه ، ١٥ كانون الاول /ديسمبر ١٩٨٣) .

٣' التقطير الغشائى

يبد وأن التطوير الاخير لعملية التقطير الغشائى يعتبر مبشرا بالنسبة لازالة الملوحة بالحرارة الشمسية . ويتبخر الملحول الملحى الساخن المتصل بغشاء ملائم (نسيج تيفلون) من خلال الغشاء ويتكثف على غشاء ثان مماثل يبرد بمياه ملحة باردة . ويجرى حاليا تجريب وحدات قياسية قادرة على انتاج ١م^3 /يوم أو أكثر من المياه المقطرة من محلول ملحى مسخن الى درجة ٨٥ مئوية بواسطة الحرارة المبددة والمجمعات الحرارية الشمسية أو حوض شمس . وتفيد التقارير أن هذه الوحدات القياسية تستطيع تحقيق عامل أداء ١٠ ، أو أفضل ، باستخدام نظام استعادة الطاقة . ويبد و من المحتمل امكانية الحصول على تكاليف رأسمالية لطاقة قدرها ١٠٠٠ دولار/م^3 /يوم بأنظمة بسيطة نسبيا ويمكن الاعتماد عليها .

٤' التقطير بضغط البخار

يمكن ايضا تقطير المياه عند درجات حرارة منخفضة نسبيا باستعادة حرارة التكثيف فى مبادل حرارى . ويمكن استخدام ضغط البخار لرفع ضغط ودرجة حرارة بخار التكثيف عن ضغط وحرارة تيار المياه الملحة الوارد .

وهذه العملية مناسبة بوجه خاص لانظمة صغيرة يمكن تزويدها بالقدره بالخلايا الفلطائية الضوئية . ويمكن أن تنخفض درجات الحراة حتى ٥٥ درجة مئوية (١٣٠د رجة فهرنهايت) ، ولا تلزم حرارة خارجية بخلاف تلك الناتجة من ضغط البخار . وفضلا عن ذلك ، سوف تحتاج هذه الانظمة الى ادنى حد من المعالجة التحضرية خاصة بالمقارنة بعمليات ازالة الملوحة بالاغشية . وتؤدى احتياجات هذه العملية المنخفضة من الطاقة التى قد تقل الى أن تصل الى من ١٠ - ١٢ كيلوواط ساعة /يوم الى

جعلها متسقة كذلك مع الخلية الفلطائية الضوئية الشمسية المرتفعة التكلفة التى لاينافسها غير عمليتى الاوزموزية العكسية والدبلزة بالكهرباء .

ويجرى حاليا انشاء أول وحدة لضغط البخار تعمل بالقدرة الشمسية بواسطة شركة أ . أ . ج . تليفونكن بموجب مشروع تعاونى بين حكومة مصر والامم المتحدة فى أبو غصن على ساحل البحر الاحمر . وستبلغ سعتها ٢م^{3}/يوم باستخدام حوالى ٨ كيلوواط من الخلايا الفلطائية الضوئية الشمسية . وستبلغ التكاليف الرأسمالية لنظام ضغط البخار المختار حوالى ٧٥ ٠٠٠ دولار/م^{3}/يوم نصفها تقريبا لنظام الخلية الفلطائية الضوئية . ونظرا لمركم الخلية الفلطائية الضوئية والبطارية المحدود فان الوحدة ستعمل من ست الى ثمان ساعات يوميا فقط . وسيتوفر للانظمة المستقبلية بطاريات ذات مركم كاف تسمح بالتشغيل لمدة ٢٤ ساعة يوميا . ومع اجراء تخفيضات معقولة فى تكاليف الخلية الفلطائية الضوئية وتكنولوجيا ضغط البخار، ربما تنخفض التكاليف الرأسمالية المباشرة الى ٢٥ ٠٠٠ دولار/م^{3}/يوم .

ونظرا لان التقطير بضغط البخار أقل حساسية لنوعية مياه التغذية من العمليات الغشائية فانه من المتوقع أن تكون امكاناته واعدة بدرجة أكبر فيما يتعلق بعمليات ازالة ملوحة مياه البحر بالطاقة الشمسية الصغيرة فى المناطق النائية . الا أن العمليات الغشائية ربما تظل تتمتع بميزة اقتصادية فيما يتعلق باستعمالاتها بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة حيث تستفيد من انخفاض متطلباتها من الطاقة .

٥، الاوزموزية العكسية

انشئت وحدة نموذجية للاوزموزية العكسية سعتها ٦٠م^{3}/يوم (١٦ ٠٠٠ غالون فى اليوم) فى كاداراش بفرنسا ، ويقوم بتشغيلها المركز الفرنسى لدراسات الطاقة النووية ، (مفوضية شؤون الطاقة الذرية) . وأجريت تجارب تفصيلية لتبسيط نظام المعالجة التحضيرية بحيث يمكن الغاء مضخات اضافة المواد الكيميائية المعقدة وصهاريج الخلط . وبالاضافة الى ذلك أدمج فى التصميم نظام لاستعادة الطاقة باستخدام توربين "بلتون" الذى تم تركيبه على مجرى المحلول الملحى .

وتأتى الطاقة اللازمة لتشغيل الوحدة من مجمعات الصفائح المستوية . وتبلغ مساحة المجمع حوالى ٢٢٣م^{2} فى المجمعات المتجهة جنوبا والمحددة عند زاوية ٤٥ درجة . وتستخدم المياه الساخنة التى اما يجرى خزنها أو تستخدم فى تزويد محرك حرارى بقوة الفريون كسائل تمددى (محرك دورة رانكين العضوية) . ويجرى تبريد مكثف المحرك بمياه ملحة تضخ من مصادر مياه التغذية نفسها .

وقد تم تشغيل الوحدة على اساس تجريبى من ١٩٧٨ الى ١٩٨٠ مستخدمة المياه الضاربة الى الملوحة . بيد أنه نظرا لانخفاض كفاءة محركات دورة رانكين

العضوية بمجمعات للصفائح المستويه ، ومشاكل الموثوقية ، فانه من غير المرجح أن تثبت اقتصاديه هذا النظام . وانشأت مفوضية شؤون الطاقة الذرية أيضا نظاما أكبر فى مصر ولكن لم يتم تشغيله بعد .

٦ الديلزة بالكهرباء

بالرغم من قلة الخبرة الميدانية أو انعدامها بخصوص عملية الديلزة بالكهرباء المزودة بالقدرة الشمسية ، فان مرفق بحوث وتكنولوجيا المياه بالولايات المتحدة المنحل حاليا مول دراسة هامة وتفصيلية حول هذا الموضوع . وقد صمم مرفق للعمل فى موقع تاء فى جنوب غربى الولايات المتحدة لمعالجة المياه الضاربة الى الملوحة التى يبلغ اجمالى الجوامد المذابة فيها من ٢٠٠٠ الى ٢٥٠٠ جزء فى المليون ، ويصل متوسط الانتاج حوالى ١٥ م^3 /يوم (٤٠٠٠ غالون فى اليوم) . وقد استخدم لاغراض التصميم تحليل مياه خاص بمدينة لالوز ، بنيومكسيكو وصممت المحطة بحيث تعمل باستخدام خلايا فلطائية ضوئية كمصدر للقدرة . ونظرا الى المحتوى العالى من كبريتات الكالسيوم لمياه التغذية المقترحة فان الاسترداد اقتصر على حوالى من ٥٠ الى ٦٠ فى المئة بدون معالجة كيميائية . وللابقاء على بساطة عمل الوحدة قدر الامكان اقتصر الاسترداد على ٥٠ فى المئة فقط ولم تضف أية مواد كيميائية اثناء المعالجة التحضيرية .

وقد صممت المحطة بحيث تعمل ١٠ ساعات فى اليوم ببطاريات تعمل على تنظيم التراوح المؤقت فى التيار الكهربائى وليس لتوفير مخزون طويل الاجل من الطاقة . وبغية تخفيض نظام تجميع الطاقة الشمسية الى الحد الادنى والوصول بالانتاج الى الحد الاقصى ، تعمل المنشأه بطريقتين متميزتين للتشغيل ، انسياب كامل وانسياب نصفى . وقد استخدمت طريقة الانسياب النصفى اثناء الفترات التى يقل فيها ضوء الشمس بفعل السحب والاحوال الجوية الاخرى وعند تشغيل مضخة البئر .

وعلاوة على ذلك فانه ينبغى تركيب منظمات الانسياب وصمامات متنوعة بحيث يتم تنظيم انسياب واعادة توزيع المياه من خلال الرصيصة الغشائية لكى تضاهى مقاومة الرصيصة (القائمة على اساس الانسياب ومعدل اجمالى الجوامد المذابة) مع كمية الطاقة الواردة من الخلايا الفلطائية الضوئية . ولا يعمل هذا على حفظ الضخ فقط ، بل ويعمل كذلك على تسخين مياه التغذية وتحسين كفاية ازالة الملح من الرصائص الغشائية .

وفيما يتعلق بازالة ملوحة مياه البحر ، تتسم الانظمة الحالية للديلزة بالكهرباء بارتفاع الاستهلاك النوعى للطاقة (حوالى ١٥ كيلوواط ساعة / يوم) عنه بالنسبة للاوزموزية العكسية أو عمليات التقطير ، وبالتالى تكون تكلفتها الرأسمالية المباشرة اعلى عندما تزود بالقدرة من خلايا فلطائية ضوئية شمسية . بيد أن

عملية الد يلزة بالكهرباء تكون منافسة للاوزموزية العكسية فيما يتعلق بمعالجة الميـاه الضاربة الى الملوحة عند مستويات منخفضة لاجمالى الجوامد المذابة .

(د) وحدات مقامه فى بلدان نامية

فى حين كانت الخبرة الاساسية فى البلدان النامية تتعلق بوحدات التقطير الشمسية ، فان هناك امثلة متناثرة خاصة بوحدات منفرده تستخدم شتى عمليات ازالة الملوحة بالاضافة الى الطاقة الشمسية كما هو مبين أدناه .

'١' وحدات التقطير الشمسية العاملة

بالرغم من أنه كانت هناك مناقشات واسعة النطاق حول وحدات التقطـــير الشمسية ، وعدد من الوحدات التجريبية والمنشآت المنتاثرة حول العالم ، فانـــه ليس هناك حالات كثيرة مدعمة بالوثائق للتشغيل الطويل الاجل . ذلك أن وحـدة التقطير التى تبلغ مساحتها ٤٥٠٠م٢ المقامة فى لاس ساليناس بشيلى ، تم تشغيلها من ١٨٧٢ الى ١٩١٢ ، الامر الذى يعتبر واحدة من أطول فـــترات التشـغيل المسجلة فى التاريخ . وتم التخلى عن الوحدة عندما انشئ خط أنابيب للميـــاه العذبة امتد حتى ساليناس . لم يضاه وحدة لاس ساليناس فى طول عمرها ســـوى قليل من وحدات التقطير الاخرى ولكن بعض وحدات التقطير حققت نجاحا معقـــولا كما هو مبين أدناه .

فى ١٩٧٨ أقام المعهد المركزى لبحوث الملح والمواد الكيميائية البحريـــة فى بهافناغار بالهند ، وحدة للتقطير مساحتها ١٩٠٠م٢ فى قرية أوانيا بولايـــة نموجارات . ولم تكن هناك كهرباء فى تلك القرية البالغ تعداد سكانها ١٤٠٠ نسمة وكانت تستخدم المياه الجوفية الضاربة الى الملوحة كمصدر للمياه الصالحة للشرب.

وقد انشئت وحدة للتقطير خليجية الشكل ، تجرى فيها المياه الملحـــة باستمرار تحت الاغطية الزجاجية . وبلغ متوسط انتاج الوحدة ٩ر٤م٣/يـــوم وتـم تشغيلها على دفعات . وحينما انخفض مستوى المياه الضاربة الى الملوحة فـــى الاحواض دون مستوى معين . كان يضاف المزيد من المياه ، وقد افاد المعهـــد المركزى لبحوث الملح والمواد الكيميائية البحرية أن الوحدة كانت جيـــدة الاداء واستطاع القرويون تشغيلها وصيانتها ، وان كانوا لم يتطوعوا بسهولة للقيام بذلـــك. وقد ووجهت بعض مشاكل تسرب البخار بسبب مانع التسرب المستخدم ، وكذلك مشاكـل فقد الكفاية نتيجة تجمع الطحالب فى أحواض المياه الملحه . وتسببت الحيوانـــات والحجارة التى يقذفها القرويون فى كسر الزجاج ، ولكن هذه المشاكل تضاءلـــت (ناتو وأخرون ، ١٩٧٩)

وقد أقيمت وحدة تقطير شمسية أصغر تبلغ سعتها ٩٥ر م٣ / يـــــوم

(٢٥٠ غالون فى اليوم) فى جزيرة لاغوناف شبه البعلية على مبعدة من الساحل الغربى لهايتى فى ١٩٦٩ . وأنشئت الوحدة بالتعاون مع، وبمساعدة اغليز ميثوريست، ولجنة اكسفورد بالاغاثة من المجاعة، ومعهد بريس للبحوث، وحكومة هايتى . وفى حين كان التصميم والانشاء تحت اشراف معهد بريس للبحوث، فقد استخدم عمال محليون ومواد محلية قدر الامكان لاتمام بناء وحدة التقطير.

ويجرى ضخ المياه الضاربة الى الملوحة التى يصل اجمالى الجوامد المذابة فيها الى حوالى ٨٠٠٠ جزء فى المليون الواحد ، يدويا ، الى صهريج المياه غير المعالجة، ومنها تنساب بالجاذبية الى الخلجان . ويجرى تشغيل وحدة التقطير على دفعات (على عكس التغذية المستمرة) . وقد أجريت البيانات العملية على منشآت وحدة التقطير الوعرة وذات التصميم العملى على السواء . وفى ١٩٧٨ أعيد احياء الوحدة بواسطة اغليس ميثود بست عن طريق التشاور مع معهد بريس للبحوث . وقد تألف هذا العمل فى المقام الاول من استبدال بطانة البوتيل للمطاطيه لتصحيح خطأ أساسى فى التصميم . ومع اتمام الاصلاحات وصل متوسط الانتاج اليومى للوحدة من حوالى ٩٥ر الى ١ر١ م^{٣}/يوم . وتخدم هذة المحطة عددا من الناس يتراوح بين ٢٥٠ و١٠٠٠ شخص (الوارد ولاواند ، ١٩٨٠)

وقد استخدمت الوكالة المعنية بازالة الملوحة التابعة لحكومة المكسيك والمسماه بالادارة العامة لتحسين المياه الملحة والطاقة الشمسية استخدمت مجموعة من عمليات ازالة الملوحة بما فى ذلك التقطير الشمسى لتوفير المياه للقرى فى المناطق البعلية فى باجا بكاليفورنيا . واقيمت وحدة تقطير شمسى سعتها ١م^{٣}/يوم فى بورتو شالى فى عام ١٩٧٣ وكانت لاتزال تعمل فى عام ١٩٨٠ . وتخدم الوحدة حوالى ١٠٠ شخص مقيمين معظمهم من الصيادين الذين يعيشون على طول الساحل .

وتستخدم تلك المنشآت التى أقامتها الادارة العامة لتحسين المياه الملحة والطاقة الشمسية وحدات معيارية صغيرة كثيرة ترتبط ببعضها بعضا فى حين يصور المثالان المستشهد بهما أعلاه الوحدات المقامة فى خلجان كبيرة . ويقوم برنامج الوكالة للتقطير الشمسى على اساس استخدام النهج المعيارى بالنسبة لكافة منشآتها . ويجرى صنع وحدة التقطير الاساسية من زجاج ليفى خفيف الوزن ، ومانع لتسرب المياه ومقاوم للصدأ . وتصمم هذه الوحدات لتسهيل التركيب السريع فى المناطق المعزولة التى لاتتوافر فيها المواد . وللقيام بذلك، تشيد وحدات التقطير وتشحن فى أربعة أجزاء رئيسية : أحواض من الزجاج الليفى مكونه من قطعة واحدة بما فى ذلك الحوائط الطرفية، وقضيب حرفى من الالومنيوم، وألواح زجاجية، ومجموعة أنابيب متنوعة . وتصمم الأحواض التى يتم تشكيلها بحيث أنه حينما يزال القضيب الحرفى تتداخل الاحواض المصنوعة من الزجاج الليفى فى بعضها البعض لدى رص كل منها فوق الاخر . ويسمح ذلك بحزم الكثير جدا

من الاحواض فى حيز صغير نسبيا ، مما يقلل بدرجة كبيرة من تكاليف ومشاكل النقل . ويحزم الزجام المتبقى والقضيب الحرفى ومجموعة الانابيب، وتشحن بسهولة ليتم تجميعها فى الموقع.

٢ ' الاوزموزية العكسية

فى عام ١٩٨٠ أقامت وكالة ازالة الملوحة التابعة لحكومة المكسيك المسماه الادارة العامة لتحسين المياه الملحة والطاقة الشمسية بالتعاون مع المانيا (جمهورية - اتحادية) منشأه أوزموزية عكسية شمسية سعتها ٤ر٤م^{3}/يوم فى قرية كونسيبسيون ديل أورو الجبلية فى ولاية زاكاتيكاس.

وتزود المنشأة بالقدرة من الكهرباء المتولدة من خلايا فلطائية ضوئية ، وهى مصممة لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة لمدة ثمان ساعات فى اليوم خلال ساعات النهار باستخدام كل من الخلايا الفلطائية الضوئية والبطاريات. وتسمح البطاريات بتوصيل القدرة بمعدل أكثر ثباتا رغم التفاوتات فى التعرض لاشعة الشمس خلال اليوم . ولا يراد من استخدام البطاريات تشغيل الوحدة فى ساعات الليل . ويستهدف المشروع فى النهاية تحقيق انتاج جماعى للتوزيع فى مناطق ريفية وساحليه .

وقد أنشئ أول مرفق للاوزموزية العكسية لمياه البحر يدار بالطاقة الشمسية فى عام ١٩٨١ فى مجتمع محلى خارج جده بالمملكة العربية السعودية . وتزود المحطة بقدرة مستفادة من مصفوفة خلايا فلطائية ضوئية ذروتها ٨ كيلوواط وحجمها حوالى ٩٣م^{2} وتزود بحوالى ٢م^{3}/يوم من مياه الشرب العالية الجودة . وتعمل حافة البطارية كعازل قصير الاجل للطاقة بين مصفوفة الخلايا الفلطائية الضوئية والحمل الكهربائى . وقد اختيرت تكنولوجيا الاوزموزية العكسية لمياه البحر باستخدام أغشية من الالياف الدقيقة المجوفة المصنوعة من البلاستيك المتعدد الألاميد المسمى كيفلار، وذلك لانخفاض استهلاكها للطاقة الذى قدر بأقل من نصف الاستهلاك الخاص بوحدات ازالة الملوحة الحرارية (تقرير معلومات عن الطاقة الشمسية، ٢٨ أيلول /سبتمبر ١٩٨١) .

ومن ثم، أنشئت فى قطر وحدة سعتها ٦م^{3}/يوم على أساس مصفوفة بلغت ذروتها ٢ر١١ كيلوواط، وتشمل الوحدة مضخة لاستعادة الطاقة، وهو مايعد هاما لانقاص الطلب على المياه المنتجة بمقدار ١٠ كيلوواط ساعة . ومن المعتقد أنه من الممكن تخفيض استهلاك الطاقة باستخدام مواد من الالياف المجوفة الاكثر حداثة والتى يجرى تطويرها حاليا . وقد استحدث هذا النظام لتمهيد الطريق أمام استعمال الطاقة الشمسية فى ازالة الملوحة على نطاق واسع فى جميع انحاء الشرق الاوسط والمناطق الصحراوية الساحلية المماثلة . وباستخدام مياه البحر الاحمر التى يبلغ اجمالى الجوامد المذابة فيها ٤٢٠٠٠ جزء فى المليون ، أنتجت

المحطة مياها يقل فيها اجمالى الجوامد المذابة عن ٢٠٠ جزء فى المليون بصفة دائمة (تقرير ازالة ملوحة المياه، ١٣ أيار/مايو ١٩٨٢) .

٣) المشروع السعودى - الامريكى المشترك لازالة الملوحة

فى تشرين الاول /أكتوبر ١٩٧٧ وقعت المملكة العربية السعودية والولايات المتحدة اتفاقا للتعاون فى ميدان الطاقة الشمسية (المشروع السعودى - الامريكى المشترك لازالة الملوحة) . وتمثلت أهداف الاتفاق فى التعاون فى ميدان تكنولوجيا الطاقة الشمسية وتعزيز تنمية الطاقة الشمسية فى البلدين وتسهيل نقل التكنولوجيا بينهما .

ويتحمل معهد بحوث الطاقة الشمسية فى غولدن بولاية كولوراد و مسؤولية تنفيذ برنامج المشروع السعودى - الامريكى . ويعتبر ازالة الملوحة بالطاقة الشمسية من بين المجالات التى بدأ برنامج المشروع العمل فيها . وفى آذار/ مارس ١٩٨٠ قبل معهد بحوث الطاقة الشمسية مقترحات بخصوص اجراء دراسات عن الجدوى التقنية والاقتصادية لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر على نطاق واسع باستعمال الطاقة الشمسية دون غيرها . وكانت تلك المقترحات بمثابة الجزء المبدئى من نشاط يتم على ثلاث مراحل .

تضمنت المرحلة الاولى تصميمات أوليه وتحليل التكاليف لكل من محطة أساسية سعتها ٦٠٠٠م^3/يوم (١٫٦ مليون غالون فى اليوم) ومحطة تجريبية للمياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر تتراوح سعتها بين ١٠٠ و ٤٠٠م^3/يوم (من ٢٦٠٠٠ الى ١٠٦٠٠٠ غالون فى اليوم) . ومع نهاية المرحلة الاولى فى آب/أغسطس ١٩٨١ أعتبرت كافة التكاليف التقديرية المقدمة فى عطاءات من خمس شركات مرتفعة للغاية . ولذلك مد المجلس التنفيذى للمشروع المرحلة الاولى للسماح باعادة تصميم المحطات التجريبية بحيث تتلاءم مع ميزانية السنوات الخمس للمشروع .

وقد انتهى العمل فى حزيران /يونيه ١٩٨٢ ، وفى تشرين الاول /أكتوبر ١٩٨٢ قدم العقد المتعلق بالمرحلتين الثالثة الى شركة شيكاغو بريدج آند ايرن كومپانى . وتتألف المرحلة الثانية من تصميم تفصيلى وانشاء فعلى لمحطة تجريبية فى حين تشمل المرحلة الثالثة تشغيل وتقييم المحطة التجريبية .

والنظام الشمسى هو التصميم الذى اختير المحطة التجريبية التى تبلغ سعتها ٢٠٠م^3/يوم، ويستخدم أسلوب للتجميد غير المباشر لازالة ملوحة المياه . ومن المقرر انشاء المحطة التجريبية فى ينبع بالمملكة العربية السعودية كمشروع مشترك بين وزارة الطاقة الامريكية والمركز القومى السعودى للعلوم والتكنولوجيا . ويجرى بناء هذه المحطة الى جانب محطة ينبع لازالة الملوحة الموجودة حاليا والتابعة لشركة تحويل المياه الملحة (وايزمان ، ١٩٨٣) .

٢ - طاقة الرياح

استخدمت قدرة الرياح فى أجهزة تشبة الطحونة الهوائية منذ عدة آلاف من السنين تمثلت الوظائف الرئيسية لهذه الاجهزة فى عمليات التجليخ وضخ المياه (ومنذ عهد قريب) وفى توليد الكهرباء وفى الولايات المتحدة وأوروبا كانت هناك أنواع مختلفة من الالات التى تعمل بقدرة الرياح شائعة الاستخدام فى بداية القرن العشرين ، ولكن مع دخول الكهرباء الى الريف واستخدام المحركات التى تعمل بالبنزين والتى يمكن الاعتماد عليها ، تم استبدالها بآلات أخرى على نطاق واسع

وتولد الطواحين الهوائية ذات المحور الدوار الافقى أو الرأسى طاقة آليه دوارة (قدرة ذراع الادارة) . ويمكن أن نقرن مباشرة بين هذه الالات وبين مضخة أو منشار أو عجلة تجليخ أو أن تستخدم فى توليد الكهرباء . وقد طرأت بعض التحسينات على الالات الريحية فى الـ ٥٠ سنة الماضية مع ايلاء اهتمام بتصميمها الدينامى الهوائى . وكما هو الحال بالنسبة لوحدات التقطير الشمسى فان امكانية توليد قدرة ريحية أثارت اهتمام البشرية وحفزت ادخال تغييرات متعددة فى تصميمات ومواد الانشاء الاساسية .

وبذلت جهود من جانب منظمات مختلفة مثل منظمة القدرة التكنولوجية الوسيطه ، ولجنة التوجية المعنية بالطاقة الريحية فى البلدان النامية ، ومعهد بريس للبحوث والمعهد الهندى للعلوم ، وادارة بحوث وتنمية الطاقة التابعة للولايات المتحدة ، والمتطوعين فى مجال المساعدة التقنية ، لتصميم الات ريحية ذات كفاءة ومبسطة يمكن بناؤها فى بلدان نامية .

ويتاح حاليا أو يجرى استحداثة على المستوى التجارى العديد من أنواع مجمعات طاقة الرياح ، بما فيها القوربينات ذات المحور الافقى أو الرأسى القادرة على انتاج ما يصل الى ٤ ميغاوات ، كما يجرى حاليا فى الولايات المتحدة تشغيل "مزارع للرياح" تولد عدة مئات من الميغاواط . وقد تكون أنظمة الطاقة الريحية المقترنة بمحطات ازالة الملوحة بضغط البخار أو بالاوزموزية العكسية أو بالديلزة بالكهرباء اقتصادية فى مناطق بعلية ترتفع فيها نسبيا سرعة الرياح وتعانى نقصا فى امدادات الطاقة من المصادر التقليدية .

ويتعين أن يوضع فى الاعتبار عند النظر فى استخدام قدرة الرياح فى أغراض ازالة الملوحة كون أن سرعة الرياح واستمراريتها تتوقف على نوعية كل موقع على حدة . ويلزم الحصول على البيانات المتعلقة بهذه المتغييرات الخاصة بالارصاد الجوية لتقرير ما اذا كان استخدام قدرة الرياح ممكنا ، والوصول بتصميم النظام الى حد الكمال اذا تبين أن ذلك الاستخدام ممكنا . وثمة عامل مهم هو

أن الرياح لا تهب دائما ، وحينما تهب تنخفض سرعتها بحيث لا تسمح للالة بأن تبدأ فى توليد القدرة أو تكون سرعتها عالية جدا بحيث يلزم لف ريش المروحة لمنع تعرضها للدمار .

وتدور معظم اقتصادات كل حالة من الحالات حول تحقيق التعادل بين :

(أ) التكاليف الرأسمالية لسعة الالات الريحية (ب) خزن الطاقة (ج) سعة محطة ازالة الملوحة (د) خزن المياه للوفاء بالطلب الاساسى والذروى على المياه .

ونظرا لان المتاح من القدرة المستمدة من الرياح تتبع قانون قياس المحتوى الحجمى فيما يتعلق بسرعة الرياح فان التكلفة الاقتصادية يعتبر ذات حساسية خاصة بالنسبة للموقع . ومع ذلك فانه بأخذ متوسط لسرعة الرياح قدرة ٦ متر فى الثانية ، وهو أدنى متوسط مقبول لقدرة الرياح ، فانه توجد فى السوق حاليا الالات ذات قطر دواره من ٧ الى ٩ أمتار قادرة على توليد من ٥٠ الى ١٠٠ كيلوواط ساعة/يوم أو حوالى ٥ر١ كيلوواط ساعة/يوم من الطاقة الكهربائية (فى التشغيل القائم بمفرده المختلف بوضوح عن تشغيل شبكة توزيع القدرة الكهربائية) لكل ١٠٠٠ دولار من التكلفة المقررة . وسوف تتفاوت بشدة تكاليف تلك الوحدة حسب سرعة الرياح وحجم المحطة وتطوير تكنولوجيا الرياح وازالة الملوحة على السواء .

وقد شرع فى استطلاع امكانية استخدام قدرة الرياح فى اغراض ازالة الملوحة . ويمكن تقرير أنه لا توجد سوى وحدات تجريبية قليلة تحت الانشاء ، وليس ثمة وحدة على الاطلاق يجرى تشغيلها بالفعل وفق شروط تجارية واقعية .

(أ) الاوزموزية العكسية

يعتبر الجمع بين الاوزموزية العكسية وقدرة الرياح تطبيق جديد الى حد ما . وسوف يلزم ، من الناحية النظرية ، التزود بالقدرة اما فى شكل كهرباء أو طاقة دوارة . واذا أنتجت الكهرباء فانها ستزود المحركات بالقدره لادارة المضخات ، فى حين ستدير الطاقة الدواره المضخات مباشرة ، وان كانت بعض الطاقة الكهربائية ستكون مطلوبة عادة لتشغيل أجهزة التحكم والقياس . وقد استخدمت القدره الريحية فى الغالب الاعم فى انتاج الكهرباء التى تستخدم بعد ذلك فى تزويد المحركات التى تدير المضخات بالقدرة .

وقد أجرى معهد بريس للبحوث (كندا) تجارب على مدى سنوات باستخدام طاحونة هوائية زائقة فى ادارة وحدة أوزموزية عكسية معيارية للمياه الضاربة الى الملوحة . ولم يكن لمعدلات الانسياب المتغيرة أثر كبير على الاداء الطويل الاجل .

وكما سبق القول فى الجزء الخاص بالقدرة الشمسية فان وحدات الاوزموزية العكسية تحتاج الى تصميم خاص اذا كان من المزمع اخضاعها لعملية بدء ايقاف تشغيل مستمرة . وبذلك ينبغى أن يكون لاى نظام قابل للتغيير أحكام لمعالجة الحالات العابرة فى توليد الطاقة .

وقد نوقش استخدام قدرة الرياح فى تطبيقات الاوزموزية العكسية (كدوالادر وأخرون ، ١٩٧٧) بيد أنه لم يبن سوى وحدات قليلة جدا . وقد بنيت وحدة سعتها ٤ر١٠ م^{3}/يوم لاستعمالها فى جزيرة تقع بعيدا عن ساحل بحر الشمال فى جمهورية المانيا الاتحادية . وفى هذه الوحدة ، تدار آلة الرياح عن طريق مولد ينتج تيارا مترددا على ثلاث مراحل بقدرة ٣٨٠ فولت . ويقوم هذا التيار الى تيار مستمر متغير للقلطيه يستخدم فى ادارة المضخات فى نظام الاوزموزية العكسية .

وتعمل وحدة الاوزموزية العكسية بنظام اللوح والاطار الذى يجرى تشغيله فى مياه بحر الشمال باسترداد يقدر بحوالى ٤٠ فى المئة ، وضغط فشائى ٨٠ غلاف جوى (١٢٠٠ رطل للبوصة المربعة) . ويبلغ الاستهلاك المحدد من الطاقة حوالى ١١ كيلوواط ساعة /م^{3} . وتتألف المعالجة التحضيرية من ترشيح آلى مع امكانية خضربة الماء واضافة الاحماض (بيترسون واخرون ، ١٩٧٩) .

وقد انشئت وحدة ثانية فى جزيرة بلانيبية بالبحر المتوسط على مبعدة من ساحل مارسيليا بفرنسا . وقد صممها وقام بتجريبها مركز الدراسات النووية فى كاداراش التابع للمفوضية الفرنسية لشؤون الطاقة الذرية .

وكما هو الحال بالنسبة لوحدة الطاقة الشمسية التابعة للمفوضية الفرنسية لشؤون الطاقة الذرية ، فان هذا النظام صمم لاغراض المعالجة التحضيرية المبسطة واستخدام الطاقة المستردة لخفض استهلاك القدرة . وتتكون المعالجة التحضيرية من المعالجة الكهربية بالكلور ، وصهريج ترسيب ، ومرشح للرمل يعمل على مرحلتين ، وعمود فحم نباتى منشط ، ومرشح أنبوبى . وتستخدم المعالجة التحضيرية مضخة ازاحية فعالة تعمل بالضغط العالى ، وتوربين بيلتون لاغراض استرداد الطاقة . ومن المتوقع أن يبلغ اجمالى استعمال الطاقة مع استردادها ٥ر٧ كيلوواط ساعة /م^{3} بما فى ذلك مضخات الضغط المنخفض والضغط العالى (موريل ، ١٩٧٩) . وتستخدم كذلك وحدات قياس معيارية للاوزموزية العكسية مكونه من الياف دقيقة مجوفة ، ويقدر الاسترداد المتوقع بنسبة ٢٥ فى المئة . وقام مركز بحوث المفوضية الفرنسية لشؤون الطاقة الذرية فى كاداراش بتجريب الوحدة قبل تركيبها فى بلانيبه خلال عام ١٩٨٠ .

(ب) التقطير

هناك امكانية ما لاستعمال الطاقة الدوارة المتولدة من الات الرياح في تشغيل وحدة لضغط البخار . بيد أن التصميم الدقيق ومراعاة السطح البيني بين النظامين سيكون مطلوبا .

الاختبار الميداني لوحدات تعمل على هذا النحو قليل أو معدوم . الا أن المفهوم ناقشة نظريا في ١٩٤١ لاوند الذى أجرى دراسات مكثفة على وحدة تضاغط بخار طاقتها ١٫٩ متر مكعب في اليوم الواحد (٥٠٠ غالون في اليوم الواحد) لاختبار ادائها مع مصدر طاقة متغير .

(ج) الدليزة بالكهرباء

هناك امكانية ما لادارة نظام الدليزة بالكهرباء باستخدام قدرة الرياح وهذا النمط من النظام يمكن أن يتحمل الطاقة المتغيرة المستفادة من المولدات المدارة بالرياح على نحو أفضل من العمليات الاخرى . ولكنه يظل من المتعين وضع تصميم لمعالجة الحالات العابرة في توليد الطاقة وتغير القدرة .

ولم يجر أى نشاط ميداني فيما يتعلق بعملية الدليزة بالكهرباء المدارة بالرياح ، بالرغم من أنه قد تم النظر في هذه العملية من الناحية النظرية في عدد من التقارير (كدوالادر وأخرون ، ١٩٧٧) .

٣ - طاقة المحيطات

يجرى حاليا استقصاء ازالة ملوحة المحاليل الملحية الحرارية . فقد قدمت مقترحات عديدة لاستخدام تحويل الطاقة الحرارية لمياه المحيطات في ازالة ملوحة مياة المحيطات مباشرة . ويقضى مبدأ الذى يقوم على أساسه تحويل الطاقة الحرارية لمياه المحيطات بالاستفادة من اختلاف الحرارة بين مياه المحيط العميقة الاكثر برودة والمياه الاكثر دفئا على السطح . وهذا يستلزم منطقة تتوافر فيها المياه البحرية العميقة القريبة بصورة طبيعية من موقع ساحلى يحتاج الى الطاقة . وفى نظام الدوائر المغلقة الذى تدور حوله معظم الاستقصاءات الجارية تستخدم المياه الدافئه والمعتدلة البرودة كمصدر للحرارة وكحفرة بالوعية على التوالى لادارة توربين دورة رانكين باستخدام سائل الامونيا أو أى سائل عضوى كسائل للتشغيل . بيد أنه فى نظام الدائرة المغلقة التى يجرى بحثه تستعمل المياه ذاتها كسائل للتشغيل . وفى مثل هذه الحالة تصبح كميات كبيرة من المياه المقطرة متاحة كمنتج جانبى لدورة القدرة . ولا يزال من المبكر

تقييم جدوى هذا النظام .

وقد دارت بمخيلة الانسان منذ أمد طويل فكرة تسخير الطاقة الحرارية الحركية بما فيها من امكانات كمصدر للقدرة الطليقة (الحرة) . وتركزت الاستقصاءات المتعلقة باسترداد الطاقة فى مجالين : (أ) استعمال طاقة مستمرة من حركة المد والجزر والتيارات، و (ب) استرداد الطاقة التى تحتوى عليها موجات الرياح . وليست موجات الرياح ذات طابع مدى وتتولد من رياح جارفة تهب على سطح البحر . وهذه الموجات اما أن تكون رياحا محلية أو رياحا تسببها العواصف والاعاصير .

وقد جرت مناقشة واستقصاء فكرة حبس المياه المدية عند مد مرتفع فى خزان وتسييبه من خلال توربينات عند مد منخفض فى مناطق مختلفة من العالم . وهذا يستلزم موقع متخصص وهياكل ضخمة .

وترتبط المشاكل الرئيسية المتعلقة بتسخير طاقة الامواج بتغير أشكال الامواج وبالقوة الهائلة التى يمكن أن تكون فى بعض الامواج . ويتعين تصميم جهاز يتعامل مع اشكال الامواج المتغيره ، على أن يكون من المتانة بحيث يصمد أمام موجة هائلة قد تحدث مرة واحدة كل عام أو نحو ذلك . ولا يزال البحث جاريا فى موضوع الامواج وخصائصها المتأصلة وامكانية استخدامها كمصدر للطاقة ، ويتركز معظم البحث حول الهياكل البعيدة عن الشاطئ مثل أرصفة الحفر التى يلزم أن تقاوم قوة الامواج . ويتم فقد بعض هذه التجهيزات الهائلة عن أنه ربما لا يزال هناك الكثير مما يجب تعلمه بخصوص الامواج وأساليب الانشاء الملائمة .

وفى مجال الطاقة الموجية ، كما هو الشأن بالنسبة لبعض تقنيات الطاقة البديلة الاخرى ، لا يزال ينبغى اجراء قدر كبير من البحث والتطوير والتجريب الميدانى اللازم فى مجال توفير القدرة الاقتصادية التى يمكن الاعتماد عليها وربطها بازالة الملوحة .

وعلى قدر ما هو معروف ، لا توجد وحدة ازالة ملوحة مشغله تجاريا تستعمل الطاقة الموجية كمصدر للقدرة ، وذلك على الرغم من ظهور بعض مقترحات على نطاق ضيق . ولا تعتبر الطاقة الموجية حاليا مصدرا واعدا للطاقة فى المستقبل القريب .

٤ - الطاقة البشرية

ربما يكون الاستعمال المباشر للقدرة اليدوية هو أول مصدر للطاقة المتجددة استخدمة الانسان . وقد بذلت بعض المحاولات للاستفادة من القدرة اليدوية فى ازالة الملوحة فى تطبيقات الاوزموزية العكسية . ومن بين أولى

التطبيقات تلك التى استخدمت فى أطواف النجاه فى مجال ازالة ملوحة مياه البحر. يعيد هذا الى الاذهان البحث الذى أجرته ماريا تيلكيس ابان الحرب العالمية الثانية المتعلق بابتكار وحدات تقطير شمسية تتعلق بأطواف النجاة.

وقد قامت شركة كندية محدودة، هى شركة سيغولد للصناعات، باستحداث وحدة لازالة الملوحة تشغل برافعة يدوية، يمكن استخدامها بالنسبة لكل من المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر. ويتغير معدل رفض الملح حسب معدل الضخ. وتستخدم مصفاة مص شبيكية دقيقة لاغراض المعالجة التحضيرية ولكن يوصى باستخدام جهاز ترشيح دقيق خاص بالاضافة الى تلك المصفاة لحماية الوحدة فى كل التطبيقات القابلة للبقاء. ووفقا للشركة الصانعة، يمكن أن تستخدم الوحدة فى الامداد بالمياه اثناء السفر فى مناطق تتاح فيها مصادر للمياه غير العذبة. وتوفر أغشية الاوزموزية العكسية فائدة مضافة تتمثل فى انها تتيح بعض الحماية للمنتج من التلوث بالميكروبات.

وقد استحدث مركز بحوث جى كى اس اس فى غيشاخيت بالمانيا الاتحادية، وهو غير محقق للربح وحكومى التمويل، وحدة للاوزموزية العكسية تدار بدراجة تستعمل فى ادارتها الدواسات. وتتكون الوحدة من مرشح متقدم، ومضخه بكباس وحذافات ودواسات ووحدات قياس صفحية للاوزموزية العكسية مزودة بأغشية لوحية مساحتها ٧ر١م^{٢}. ومع مدخل قدرة ١٠٠ واط، وهو ما يمكن لشخص بالغ أن يحتمله بسهولة لمدة ١٠ دقائق، يمكن لوحدة الاوزموزية العكسية المدارة بدراجه مزودة بدواسات أن تنتج ٧٥ر من اللتر فى الدقيقة من المياه الصالحة للشرب من مياه البحر و ٤ر من اللتر فى الدقيقة من المياه الصالحة للشرب باستخدام أغشية أسيتات السيلولوز التجارية باستخدام النهج الثنائى المرحلة.

وقد تم كذلك استحداث وحدات قياس صغيرة للاوزموزية العكسية المعهد الهندى للتكنولوجيا فى بومباى. ويقوم النموذج الخاص بالمعهد على أساس وحدات قياس حلزونية يقال أنها تسفر عن معدل انسياب أفضل وانتاج من نوعية أفضل. وتقتصر سعة الضخ على القدرة القصوى المستفادة للانسان والتى تبلغ حوالى ١٠٠ واط وتنتج لتر واحد من المياه فى الدقيقة (صندوق الامم المتحدة للطفولة، ١٩٨٢).

ويقتصر هذا الجزء على بعض مصادر الطاقة البديلة العديدة التى يمكن استخدامها فى ازالة الملوحة. ومن بين البدائل الاخرى الطاقة الحرارية الارضية والقدرة الكهربائية المائية المنخفضة المنسوب، وتحويل الكتلة الاحيائية.

٥ - التطبيق فى البلدان النامية

بالرغم من أن استخدام مصادر الطاقة المتجددة يوفر امكانية لتخفيض تكاليف الطاقة بصورة جذرية ، فان استخدامها فى اغراض ازالة الملوحة فى البلدان النامية يتعين تناولة بحذر وحكم صائب . وقد تحمل فكرة مصادر الطاقة المتجددة قد تنقل الاحساس بالتقدم صوب اسلوب حياة أبسط ، بيد أنه لاتزال هناك بعض عناصر معقدة للغاية تتعلق باختيار وحدات يعتمد عليها والتوليف بينها وبين وحدات ازالة الملوحة على النحو الملائم . ولم يكن هناك سوى القليل جدا من الخبرة فى هذا الصدد وهى تخضع لظروف الاشراف الرفيع المستوى والتمويل الكافى .

ويلزم توفر الخبرة التجارية الطويلة الاجل فى هذا الميدان لمعالجة المشاكل المتعلقة بالتصميم والتشغيل والمواد . ولن تكتسب هذه الخبرة بدون مصروفات كبيرة ، حيث أن الوحدات التى تفشل تتطلب تعديلها أو اصلاحها وتحتاج بوجه عام الى اهتمام خاص فى مرحلة التطوير هذه . ولابد أن يكون من يمول مثل هذه المشاريع أيا كان قادرا على تحمل النفقات غير المتوقعة .

وفى الاجل الطويل ، هناك حتما امكانية لازالة الملوحة باستخدام مصادر طاقة متجددة فى مناطق نامية مختارة تكون ظروف المناخ والطوبوغرافيا والتكنولوجيا والاقتصادات فيها مناسبة . وسوف تساعد الوحدات التجريبية الواردة أعلاه فى توضيح بعض الفرص والمشاكل الموجودة فى هذا الميدان . بيد أنه بيد وأن كل نوع من أنواع التكنولوجيا سيحتاج الى مزيد من البحث قبل أن تكون الوحدات جاهزة للتشغيل التجارى الذى يعتمد عليه (كمقابل للتشغيل البحثى أو التجريبى) فى المناطق النامية . وفى الوقت الحاضر قد لايكون من الامور المثمرة فيما يتعلق بمفهوم مصادر الطاقة المتجددة وازالة الملوحة على السواء ، وضع تلك الوحدات بصورة روتينية فى القرى حيث يفتقر الى القدرة على الصيانة . وفيما يتعلق بأى تطبيق يشمل ازالة الملوحة بمصادر طاقة متجددة سيكون من الحكمة استشارة شخص على معرفة وخبرة فنيين .

٦ - اعتبارات اقتصادية

على النقيض من عمليات ازالة الملوحة الاخرى التى تعتبر تكاليف الوقود فيها عنصرا هاما جدا ، ان لم يكن العنصر الرئيسى فى اجمالى التكاليف ، فان ازالة الملوحة بمصادر للطاقة المتجددة لا تشمل فى الواقع أية تكلفة للوقود . وقد اتضح بالممارسة أن تكاليف العمل التشغيلى عند الحد الادنى بالمقارنة بالعمليات التقليدية لازالة الملوحة . ومن ثم تكلفة الاستثمار فى المحطة والتكاليف الرأسمالية

المباشرة الاخرى ذات الصلة هى النفقات المتحكمة في ازالة الملوحة بمصادر الطاقة المتجددة . ومعنى ذلك أن اجمالى الاستثمار الرأسمالى للوحدة الواحدة من الطاقة الانتاجية للمقطر، مقترنة برسم الفائدة على هذه الاستثمارات ومعدل استهلاك الدين (على اساس عمر المنشأة المفيد) هى العناصر الاولية والمتحكمة فى تكلفة المياه المنتجة بواسطة تلك العمليات.

بيد أن الاستثمار الرأسمالى فى معدات مصممة لتسخير الطاقة الشمسية أو الريحية "الطليقة" مرتفع للغاية . ففيما يتعلق بالحرارة المستردة بالطاقة الشمسية ، مثلا ، يمكن أن تكون المعدات باهظة التكاليف لان الطاقة الشمسية منتشرة ويلزم معدات كثيرة لتجميعها فى مقادير كبيرة . وبعد سنوات عديدة من جهود التنمية خلص مرفق المياه الملحة الامريكى الى أن عمليات التقطير الشمسية ستكون قاصرة على انتاج كميات قليلة من المياه فى مناطق الحدة الشمسية العالية التى لايتاح فيها الوقود الحفرى بسهولة . ولايزال هذا الاستنتاج صحيحا الان.

وكما يتضح من الجدول ١٢ الذى لايتضمن سوى الطلبات من محطات ازالة الملوحة الاولية المرتبطة بمصادر الطاقة المتجددة والتى تستلزم تكاليف باهظة ، فان المياه يمكن أن تتكلف فى أى مكان من ٣ دولار/م^3 (١٢ دولار لكل ألف غالون) لازالة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة بالديلزة بالكهرباء الى ما يزيد على ٢٧ دولار/م^3 (١٠٠ دولار لكل ١٠٠٠ غالون) بالنسبة لنظام ضغط البخار المرتبط بالخلايا الفلطائية الضوئية الشمسية ، وازالة ملوحة مياه البحر . بيد أنه فى حين تعكس التكاليف الرأسمالية الواردة أدناه أسعار المعدات الفرعية للنظام ، فانه لايزال من الممكن الحصول على أنظمة كاملة على اساس النموذج الاولى فقط ، ومن المرجح أن تكون تكاليف نظام تسليم المفتاح أعلى . وينبغى ألا يغيب عن الاذهان أيضا أن هذه الانظمة من الصغر بحيث لا تحقق اقتصاديات كبيرة وقد تضيف المفرادات المساعدة مثل مضخات المياه ومعدات معالجة المياه تكاليف كبيرة . ومن جهة أخرى فانه بمجرد أن تصبح هذه الانظمة متاحة تجاريا ستكون تكاليف الهندسة والتطوير أقل وستتناقص التكاليف الاجمالية .

تكاليف معممة

يفيد أحد الامثلة الاسترالية أن وحدات التقطير الشمسى تتكلف حوالى ١٠٠ دولار / م^2 . ويستفاد من دراسة لوحدات التقطير الشمسية التى وردت تقارير عن أدائها أن المتوسط اليومى النموذجى للانتاجية يبلغ حوالى ١ م^3 من المياه من وحدة تقطير سعتها ٤٠٠ م^2 وتقابل تكاليف رأسمالية قدرها ٣٢٠٠٠ دولار / م^3 يوم من الطاقة الانتاجية .

الجدول ١٢ - المدى التقديرى للتكاليف الرأسمالية وتكاليف المياه المنتجة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة

	اجمالى التكاليف الرأسمالية، ١٩٨٤ (د ولار م^3 /يوم من الطاقة المقررة)		التكاليف الرأسمالية السنوية (المستهلكة بنسبة ١٢ فى المئة لمدة ٢٠ سنة و ١٨ فى المئة لمدة ١٠ سنوات)		تكلفة المياه (عامل المحطة ٩٠٪) د ولار/م^3 (د ولار لكل ألف غالون)
	مياه البحر	مياه ضاربة الى الملوحة	(د ولار / سنة)		
وحدة تقطير شمسية (أ)	٣٢ ٠٠٠		٤ ٣٠٠ - ٧ ١٠٠		١٣ - ٢٢ (٤٩ - ٨٢)
وحدة تقطير شمسية متعددة التنائج (ب)	١٦ ٠٠٠		٢ ١٠٠ - ٣ ٦٠٠		٦ر٥ - ١١ (٢٥ - ٤١)
ضغط البخار (ج)	٢٠ ٠٠٠				
+ وحدة فلطائية ضوئية شمسية (د)	٢٠ ٠٠٠				١٦ - ٢٧
المجموع	٤٠ ٠٠٠		٥ ٤٠٠ - ٨ ٩٠٠		(٦٠ - ١٠٠)
وحدة وميض متعدد المراحل صغيرة (هـ)	١٠ ٠٠٠				١١ - ١٩
+ وحدة حرارية شمسية (و)	١٨ ٠٠٠				
المجموع	٢٨ ٠٠٠		٣ ٨٠٠ - ٦ ٢٠٠		(٤٣ - ٧٢)
التقطير الغشائى (ى)	٥ ٠٠٠				٧ - ١٢
+ وحدة حرارية شمسية (ك)	١٢ ٠٠٠				
المجموع	١٧ ٠٠٠		٢ ٣٠٠ - ٣ ٨٠٠		(٢٦ - ٤٤)
الاوزموزية العكسية (ز)	١٢ ٠٠٠	٤ ٠٠٠	٣ ٨٠٠ - ٦ ٢٠٠	مياه البحر	١١ - ١٩ (٤٣ - ٧٢) مياه البحر
+ وحدة فلطائية ضوئية شمسية (د)	١٦ ٠٠٠	٤ ٠٠٠	١ ١٠٠ - ١ ٨٠٠	مياه ضاربة الى الملوحة	٣ - ٥ (١٢ - ٢١) المياه الضاربة الى الملوحة
المجموع	٢٨ ٠٠٠	٨ ٠٠٠			
الديلزة بالكهرباء (ح)		٥ ٠٠٠			
+ وحدة فلطائية ضوئية شمسية (ط)		٣ ٠٠٠	١ ١٠٠ - ١ ٨٠٠	مياه ضاربة الى الملوحة	٣ - ٥ (١٢ - ٢١) المياه الضاربة الى الملوحة
المجموع		٨ ٠٠٠			

-١٥٧-

-١٥٧-

الحواشى: تقديرات تكاليف معدات ازالة الملوحة وضعت على أساس عطاءات أسعار ١٩٨٤ لمحطات ازالة الملوحة البالغ سعتها ١٠ م^3/يوم والتى يفترض أن تنتج ٤ م^3 /يوم عند تزويدها بقدرة من مصادر للطاقة الشمسية بدون اختزان للطاقة مضافا اليها الطاقة الحرارية الشمسية المقابلة أو الانظمة الفرعية للطاقة الفلطائية الضوئية . وتبين التقديرات نطاقات متقاربة للغاية للتكاليف التى يمكن أن تتغير بسهولة حسب الافتراضات والتطورات التكنولوجية، وهى موضوعة على أساس التكاليف التجريبية الاولية، أو تكاليف الانظمة الفرعية، ولذلك لايتعين النظر اليها على أنها تكاليف تجارية فعلية .

(أ) وحدة التقطير الشمسية التى تنتج ٣ر٣ لتر/يوم/م^2 موضوعة على أساس الاسعار الاسترالية التى تقدر بـ ١٠٠ د ولار/م^2 .

(ب) وحدة التقطير الشمسية المحسنة المتعددة التنائج عبارة عن محطة تنتج ٢٦ لتر/يوم/م^2. تكاليف معدات الطاقة مقدرة بـ ٤٠٠ د ولار/م^2 .

(ج) الاستهلاك المحدد للطاقة لوحدة ضغط البخار مقدر بـ ١٠ كيلوواط ساعة /م^3 .

(د) تكاليف معدات الطاقة الفلطائية الضوئية الشمسية قدرت على أساس ١٢ د ولار/واط مع بعض مركم .

(هـ) قدر استهلاك وحدة الوميض المتعدد المراحل الصغيرة من الطاقة بـ ١٣٠ كيلوواط ساعة/م^3 لوحدة عدد مراحلها من ١٠ - ١٢ .

(و) قدرت تكاليف معدات الطاقة الحرارية الشمسية المكافئية المقطع (أو الانبوب المجوف) بـ ٣٠٠ د ولار/م^2، درجة حرارة المحلول الملحى ١٢٠ درجة مئوية، وتبلغ كفاءة المجمع ٥٠ فى المئة .

(ز) قدر استهلاك الاوزموزية العكسية من الطاقة بـ ٨ كيلوواط ساعة/م^3 بالنسبة لمياه البحر و ٢ كيلوواط ساعة/م^3 بالنسبة للمياه الضاربة الى الملوحة.

(ح) تكاليف معدات الطاقة الشمسية مقدرة على أساس ١٠ د ولار/واط بدون تخزين .

(ط) تكاليف معدات التقطير الغشائى تقديرية حيث أن هذه التقنية ليست متاحة بعد للبيع. وقد وضعت التقديرات على أساس استهلاك قدره ٧٠ كيلوواط ساعة /م^3 من الطاقة .

(ى) نظام المجمع الشمسى الحرارى الذى يأخذ شكل الصفائح المستوية يقوم على أساس تكاليف معدات تقدر بـ ٣٠٠ د ولار/م^2 ، درجة حرارة المحلول الملحى ٨٥ درجة مئوية وكفاية مجمع ٣٠ فى المئة .

وتعتبر تكاليف المتر المربع من وحدات التقطير هذه منخفضه ، وكذلك تعتبر كفايتها منخفضة جدا .

ويمكن ضعف وحدات التقطير الشمسية فى أن الحرارة اللازمة لتبخير المياه تطرد الى الخارج وتفقد عند ما يتكثف بخار الماء . وفى محطات التقطير التقليدية الكبيرة المتعددة المراحل والمتعددة النتائج التى تستخدم وقودا تقليديا ، تسترد حرارة التكثيف فى مرحلة واحدة فى المبادلات الحرارية وتستخدم فى تقطير المياه الملحة (عند درجات حرارة أقل) فى المراحل التالية .

وتستفيد محطات التقطير الكبيرة التى تبلغ سعاتها ١٠٠٠٠٠ م^3/ يوم أو أكثر ، بدرجة كبيرة ، من الاقتصادات الكبيرة ويمكنها تحقيق كفاءات من حيث الطاقة تقدر بـ ٦٠ الى ٧٠ كيلوواط ساعة / م^3 /يوم مقابل تكاليف رأسمالية تزيد بعض الشئ عن ١٠٠٠ دولار /م^3 / يوم من الطاقة القصوى المقررة . بيد أن المحطات الصغيرة التى تتراوح سعتها بين ١٠ و ١٠٠٠ م^3 /يوم تتكبد تكاليف رأسمالية أعلى تصل الى ما يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٥٠٠٠ دولار /م^3 /يوم ، مع أنخفاض كفاءتها من حيث الطاقة .

ويمكن لمحطات التقطير ذات الحرارة العالية أن تستخدم منشآت تسخين شمسية من النوع الصناعى بدلا من الوقود التقليدى . وباستخدام مجمعات أنابيب مجوفة ، أو ربما مجمعات لوحية عالية الاداء مغلفة بطبقة خارجية منتقاه ، أو مجمعات تتبعية ذات خط تركيز بؤرى مبسط ، تتراوح تكاليفها المقررة الحالية بين ٢٠٠ و ٤٠٠ دولار / م^2 ، وتبلغ كفاءتها التجميعية حوالى ٥٠ فى المئة عند درجات الحرارة المطلوبة (حوالى ١٢٠ درجة فهرنهايت) . وتتراوح تكاليف الحرارة بين ١٠ و ٢٠ دولار / بليون غال وفقا لبعض الافتراضات مقارنة بتكاليف قدرها ٥ دولار / بليون غال من الوقود البترولى بسعر ٣٠ دولار للبرميل .

بيد أنه نظرا لان الكثير من محطات ازالة الملوحة التقليدية الكبيرة تشكل جزءا من أنظمة قدرة / مياه مزدوجة الغرض تستخدم الحرارة المبددة ، فانه من المرجح أن التقطير الشمسى العالى الحرارة سيكون قاصرا على أنظمة صغيرة الحجم فى حدود من ١٠ الى ١٠٠٠ م^3/يوم فى مناطق ترتفع فيها نسبيا تكاليف الوقود التقليدى . وبالنسبة للمجمعات الشمسية التى تبلغ طاقتها ٥ كيلوواط ساعة/ م^2 /يوم من التعرض للاشعة الشمسية ، وتبلغ كفاءتها من حيث الطاقة ٥٠ فى المئة ، ستكون المساحة المطلوبة للمجمع ٦٠ م^2 لكل م^3/يوم من السعة ، وهذا يوافق التكاليف الرأسمالية المباشرة للنظام الفرعى الحرارى الشمسى والتى تقدر بحوالى ١٨٠٠٠ م^3/يوم من السعة المقررة . ويتعين أن تضاف الى تلك التكاليف ٢٥ فى المئة على الاقل لتغطية تكاليف الخزن الحرارى للسماح بالتشغيل المتواصل للنظام . وربما تكون التكاليف الرأسمالية المباشرة لنظام التقطير الحرارى الشمسى شاملة المعدات الاخرى ، فى حدود ٢٨٠٠٠ دولار/م^3/يوم . وسوف تواجه تلك الانظمة للمجمعات الضخمة مشاكل معقدة خاصة بالسباكة والصيانة ، وهناك مجال ضئيل نسبيا لخفض التكاليف .

ومن الاتجاهات الواعدة بالنسبة لانظمة التقطير ، الربط بينها وبين الاحواض الشمسية مما سيبسط بشدة مشاكل التجميع والتخزين . وأن افتراض تكلفة للاحواض الشمسية تبلغ ٤٠ دولار/م^2 وكفاءة تجميع تبلغ ٢٠ فى المئة ، من شأنه أن يفضى الى الحاجة الى مساحة قدرها ١٥٠ م^2 للحوض الشمسى لكل م^3/يوم من السعة وتكلفة رأسمالية محددة تبلغ حوالى ٦٠٠٠ دولار/م^3/يوم . وسوف يعنى هذا أن اجمالى التكلفة الرأسمالية المباشرة شاملة محطة التقطير والسطح البينى مع الحوض تبلغ حوالى ١٢٠٠٠ دولار/م^3/يوم للمواقع التى قد يكون الحوض الشمسى فيها ملائما من الوجهة التقنية فى نهاية المطاف . وقد توفر الاحواض الشمسية مصدرا ممتازا للحرارة لعمليات التقطير الغشائى فى مواقع مناسبة مما قد يسفر بدوره عن انخفاض تكاليفها عن محطات الوميض المتعدد المراحل والتقطير المتعدد النتائج المرتبطة بمجمعات شمسية أو أحواض شمسية .

وفيما يتعلق بنظام حديث لضغط البخار ، يبلغ الاستهلاك المحدد للطاقة حوالى ١٠ الى ١٢ كيلوواط ساعة/م^3 مما يقتضى ضمنا تكاليف رأسمالية مباشرة لنظام فلطائى ضوئى شمسى تبلغ حوالى ٢٠٠٠٠ دولار/م^3/يوم علاوه على ٢٠٠٠٠ دولار/م^3/يوم بالنسبة لمحطة ازالة الملوحة . بيد أنه من المقدر أن تلك التكاليف يمكن أن تنخفض فى المستقبل لتصبح فى هذا النظام ٢٥٠٠٠ دولار/م^3/يوم من السعة . وسيكون ما تستهلكه عملية الاوزموزية العكسية من الطاقة أقل نسبيا فيما يتعلق بالمياه الضاربة الى الملوحة بالمقارنة بمياه البحر ، وستكون بالتالى أرخص من عمليات التقطير عند المستويات الادنى من اجمالى الجوامد المذابة .

وتعتبر عملية الد يلزة بالكهرباء منافسة للاوزموزية العكسية من حيث التكاليف الرأسمالية فيما يتعلق بالتطبيقات المتصلة بالمياه الضاربة الى الملوحة الا أنه نظرا لانها يمكن أن تستخدم مرد ود تيار كهربائى ثابت من مصفوفة فلطائية ضوئية بشكل مباشر بد ون تكييف القد رة ، ونظرا لانها لاتتطلب ضغطا عاليا وأنها أكثر احتمالا لنوعية المياه ، فانها ربما تكون أفضل من الاوزموزية العكسية فيما يتعلق ببعض التطبيقات الخاصة بالمياه الضاربة الى الملوحة . وتبشر التكاليف الاخذة فى التناقص للمصفوفات الفلطائية الضوئية بازالة الملوحة بتكاليف أرخص فى نهاية المطاف فى مواقع ترتفع فيها شدة التعرض للاشعة الشمسية فى المتوسط واذا تأكدت التنبؤات الحالية بخصوص التكلفة والحجم فانه من المحتمل أن تتاح بحلول عام ١٩٩٠ الانظمة الفلطائية الضوئية الشمسية القادرة على توليد بضع كيلوواطات من القد رة بتكاليف تبلغ حوالى ٤ د ولارات للواط الذروى . بيد أن التكلفة المستهلكة لتلك الاجهزة بالقيم الحالية لاتزال تمثل عبئا كبيرا بالنسبة للمياه .

وبالرغم من أن تلك التكاليف لاتزال مرتفعة فان الانظمة الفلطائية الضوئية المرتبطة بالاوزموزية العكسية ، أو ضغط البخار ، أو الد يلزة بالكهرباء ، قد تصبح منافسة / أو أرخص من الانظمة التى تستخدم الد يزل فى المناطق النائية حيث تكون تكاليف الوقود عالية (أكثر من ٨٠ر٠ د ولار/لتر) وفى المناطق التى يتوفر فيها قد ر معقول من ضوء الشمس (٥ كيلوواط ساعة/م^{٢} /يوم) عند مستويات انتاج أقل من ١٠ م^{٣} من المياه فى اليوم .

ولم تد رج الانظمة المزود ة بقد رة الرياح فى الجد ول ١٢ بالرغم من أنها قد تكون جذابة فى الحالات التى يبلغ متوسط سرعة الرياح فيها ٦م /ثانية أو أكثر . وعلى سبيل المثال ، فانه عند سرعة رياح متوسطها ٦م/ثانية يمكن لآلة رياح قطرها ٨م ومركم وتتكلف بالاسعار الثابتة حوالى ٤٠٠٠٠ د ولار على أقساط أن توفر حوالى ٣٠ - ٤٠ كيلوواط ساعة/يوم من الطاقة النافعة ، وهو ما يعادل مرد ود نظام فلطائى ضوئى شمسى قوته ٦ كيلوواط يتكلف حوالى ٧٢٠٠٠ د ولار . وفيما يتعلق بمتوسطات سرعة الريح الاعلى سيكون مرد ود الطاقة أكبر بد رجة كبيرة (يزداد حسب المكعب من سرعة الرياح) . بيد أنه حتى فى الاماكن التى تتوفر فيها الرياح ، من المرجح ان تكون الطاقة الريحية أقل موثوقية من الطاقة الشمسية ، وقد تحتاج الى دعمها بمولد يعمل بالد يزل . وللانظمة الفلطائية الضوئية الشمسية عدد من المميزات التى تجعلها أفضل من الرياح خاصة فيما يتعلق بالانظمة الصغيرة .

زاى ـ وحدات ازالة الملوحة الصغيرة فى المناطق الريفية

تعتبر الجوانب التقنية لازالة الملوحة متخصصة نوعا ما ، ومع أن معظم البلدان ليس لديها مرافق كثيرة لازالة الملوحة، الا انها تمثل، حيثما توجد بالفعل ، استثمارا كبيرا فى الأموال وجانبا حيويا من جوانب الاقتصاد الوطنى كذلك .

وفى بلدان كثيرة ، يجرى تجميع الوظائف المرتبطة بتخطيط و/أو تشغيل مرافق ازالة الملوحة داخل ادارة و/أو وكالة حكومية واحدة . وهذا يمركز الخبرة التقنية ويساعد فى تنسيق التخطيط، والشراء، والصيانة والتدريب . وقد تشارك وكالات أخرى ،أحيانا ، فى هذا الدور كلما سمحت أنشطتها بذلك . وعلى سبيل المثال ، فان من بين الوكالات الحكومية الوطنية النموذجية التى تتعامل مع ازالة الملوحة هيئة تحويل المياه الملحة (العربية السعودية) ، ووزارة الكهرباء والمياه (الكويت) ، والأمانة العامة للكهرباء (الجماهيرية العربية الليبية) والادارة العامة لتحسين المياه الملحة والطاقة الشمسية (المكسيك) .

وتتمثل احدى المسائل التى لابد لوكالة ازالة الملوحة ان تواجهها فى المدرجة التى سوف تدعم بها مبيعات المياه للجمهور . فاذا لم يعط غير دعم قليل أو لم يعط أى دعم على الاطلاق ، فسوف يكون من الممكن توسيع مرافق ازالة الملوحة حسب ما تسمح به الظروف الاقتصادية المحلية ، حيث ان تلك المناطق سوف تمول عملياتها الخاصة . وحيثما يتم تقديم اعانات كبيرة ، لابد للتوسع فى المستقبل (ولكل العمليات فى الحقيقة) ان يعتمد على تمويل متصل ومتزايد من الحكومة المركزية .

وبسبب تكلفتها العالية ، لا تستخدم عملية ازالة الملوحة عموما الا للاغراض المنزلية وبعض الاستعمالات الصناعية ، وليس للزراعة . وعلى صعيد القرية ، غالبا ما توجد حاجة كبيرة الى ازالة الملوحة لمجرد اتاحة مياه الشرب والاحتياجات الصحية الأساسية للناس والماشية . وهناك مناطق كثيرة فى البلدان النامية ، كما فى قرى ولايتى راجاستان وغوجارات فى الهند ، لا يتاح منها لأغراض الشرب سوى المياه الضاربة الى الملوحة . ولذا . يوجد مجال كبير لادخال مشاريع صغيرة لازالة الملوحة لمعالجة المياه الضاربة الى الملوحة فى المناطق الريفية أو النائية حيث تكون الامدادات البديلة محدودة الى أقصى حد . وقد تربط مثل هذه البرامج بالخطط الوطنية فى ظل العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية (١٩٨١ - ١٩٩٠) .

١ - برامج ازالة ملوحة المياه في القرى

تتطلب برامج ازالة ملوحة المياه في القرى تخطيطا كبيرا لتحقيق نجاح طويل الأجل . واذا كان لها أن تنجز بالتعاون من جانب القرويين ، وليس عن طريق اصدار الأوامر ، فانها تتطلب وقتا كبيرا وأموالا هامة . ومن المحتم ان التكلفة لكل شخص يحصل على هذه الخدمة ستكون أعلى بدرجة كبيرة مما هي بالنسبة لمشاريع ازالة الملوحة في المناطق الحضرية ، حيث يمكن خدمة آلاف كثيرة من الناس بمنشأة واحدة . وقد تميز البرنامج الذي كانت تنفذه الحكومة المكسيكية في أواخر السبعينات وأوائل الثمانينات بالعناصر الضرورية للنجاح . ولم يكن ذلك البرنامج غير مكلف ، لكنه قدم وظيفة اجتماعية وتقنية كانت الحكومة المركزية ترغب في تقديمها . وتجرى مناقشة ذلك البرنامج أدناه .

(أ) القيود

هناك قيود عديدة على ادخال تكنولوجيا جديدة كازالة الملوحة في بيئة قروية . فالقرويون يميلون الى ان يكونوا محافظين ويجفلون من المجازفة . وهم يميلون الى التشكك في تغيير العادات والتقاليد التي لم تتزعزع ، خاصة ازاء الحاح غريب من جانب غرباء قد لا يعرفون غير القليل عن اسلوب حياتهم . فالاقدام على المجازفة صعب وخطير متى كان ما هو متاح للمقامرة قليل ومتى كانت عقوبات الفشل قاسية .

ولذلك ، فانه اذا أريد ادخال ازالة الملوحة بوصفها توفر امدادات من المياه المحسنة لقرية ، فلابد من عمل ذلك بحرص وانتباه الى الثقافة الخاصة اذا كان لها أن تحقق نجاحا طويل الأجل . اذ لابد أن القرويين يريدون التحسين ، ولابد أن يوافقوا على فكرة ازالة الملوحة ، وأن يشاركوا في المناقشات الخاصة بطاقة المشروع المقترح ، والموقع الذي سوف يقام فيه ، وما سوف يحدث للمياه شديدة الملوحة . وبالاضافة الى ذلك ، يجب أن يشاركوا في بناء و/أو انشاء الوحدة وتشغيلها فيما بعد . فهم بحاجة الى اعتبار الوحدة وحدتهم كي تكون لديهم الرغبة في الابقاء على تشغيلها .

ومما له أهمية حاسمة توفير اشراف كاف خلال الانشاء وفترة التشغيل الأولية . فاذا توقفت الوحدة عن العمل في البداية ، ولو لأتفه الأسباب ، قد يصبح القرويون متشككين الى أقصى حد في الفكرة كلها . وبعد فترة التشغيل الأولية ، يجب القيام بزيارات اضافية لرصد أداء المشروع وللمساعدة في تشغيله وصيانته .

وغالبا ما توجد قيود مالية كبيرة على مستوى القرية ، وغالبا ما يكون من الصعب تعبئة الأموال الضرورية لدفع ثمن الوقود وقطع الغيار . واذا كان من المتوقع أن يمول القرويون تكاليف التشغيل والصيانة ، فلابد من وضع نظام لجمع الرسوم وتعيين قائد أو لجنة قروية محترمة تكون مسؤولة عن ذلك الجمع . واذا كانت الحكومة المركزية ستقوم بدفع التكاليف فمن الأهمية بمكان أن تصل قطع الغيار والوقود فى الوقت المناسب كى يستمر عمل الوحدة . واذا ما توقفت عن العمل فى وقت توجد فيه حاجة الى المياه ، فقد يرى القرويون انه لا يمكن الاعتماد على الوحدة ويعودون الى أساليبهم السابقة فى الحصول على المياه .

ويمكن أن تكون للمشاكل الخاصة بادخال وحدات ازالة الملوحة تقنية وسوسيولوجية على حد سواء . فمن الناحية التقنية ، لابد لوحدة من الوحدات أن تعمل بصورة يعتمد عليها الى أقصى حد ، مع ايلاء الصيانة والتشغيل أدنى حد من الانتباه . ومع أن كفاءة الطاقة تعد واحدا من الاعتبارات ، الا انها ليست مهمة كأهلية الوحدة للثقة .

أما المشاكل السوسيولوجية فانها تنحصر فى الموقع وتتباين تباينا ملحوظا . الا انه يتعين أخذها فى الحسبان اذا أريد للوحدة أن تعمل بصورة لائقة . والشئ الأكثر أهمية هو أن يجرى ادخال مشروع ازالة الملوحة بحد أدنى من الخلل فى حياة القرية . وفيما يلى بعض الأمثلة على الاختلالات الاجتماعية التى قد تحدث :

(أ) دخول الغرباء (ربما موظفى الحكومة المركزية) الى القرية لتركيب وتشغيل وخدمة الوحدة ؛

(ب) ما قد يحدث من تغيير فى أنماط الاجتماع ، والعمل والتحدث اذا ما تغير مصدر المياه فى القرية من حيث النمط و/أو الموقع ؛

(ج) مسألة من يخدم ويشغل وحدة ازالة الملوحة . ففى مجتمعات كثيرة ، تقضى التقاليد بأن تتولى المرأة وظيفة جلب المياه ، بينما يتولى الرجل تشغيل الآلات . وقد يكون من المفضل تدريب النساء على تشغيل وحدة تقطير شمسية أو وحدة أخرى صغيرة لازالة الملوحة ، لأن من مصلحتهن الابقاء على تشغيلها ؛

(د) انشاء وحدة تخدم مجتمع ما حيث لا تكون التقاليد موجهة صوب تنظيم اجتماعى ؛

(هـ) القرار أو الآلية المستخدمة فى توزيع المياه المنتجة بواسطة جهاز ازالة الملوحة بين مختلف المستفيدين .

(ب) معدات ازالة الملوحة في القرية

سوف يتباين نوع المعدات المستعملة تبعا لخصائص الموقع المحدد وحجم ونوع الدعم التقني والمالي المتاح . واذا كان الدعم التقني وفيرا بوجه عام (كما في المكسيك) ، فيمكن استعمال وحدات قياسية متينة لأفضل العمليات في مجال التطبيق .

الا انه اذا كان القصد هو جعل القرويين يشغلون الوحدة بأنفسهم ، بأدنى حد من المساعدة بعد الانشاء ، فيجب ايلاء اهتمام جاد باستعمال وحدات التقطير الشمسية حيثما يكون ذلك ممكنا . ومع أن التكلفة الرأسمالية مرتفعة نوعا ما ويتطلب الهيكل مساحة كبيرة ، فان وحدة التقطير الشمسية تكون ، من الناحية التقنية ، غير معقدة الى حد ما من حيث البناء والتشغيل . كما أنه يسمح بالحد الأقصى من المشاركة ، والتشغيل والاصلاحات المحلية . ويتضمن مؤلف بعنوان مياه عذبة من الشمس (دانهام ، ١٩٧٨) والقسم واو من هذا الفصل مناقشة لمختلف التصميمات ، وتقنيات وثغرات البناء .

وتعتبر وحدة للأوزموزية العكسية تصمم خصيصا بمثابة جهاز آخر لازالة الملوحة في القرية . وسوف تتميز هذه الوحدة بكفاءة منخفضة وقدرة منخفضة على الاسترداد ولكنها سوف تتطلب حدا أدنى من الاهتمام والمواد الكيميائية . ولا توجد في الوقت الحاضر وحدة تجارية من هذا النوع تأكدت فعاليتها بشكل كامل في هذا الميدان ، وذلك على الأرجح كنتيجة لعدم وجود سوق هامة لهذا النوع من الوحدات ، ومن ثم لا يوجد لدى المنتجين الصناعيين غير حافز قليل لتصميم أو انتاج وحدة كهذه . واذا ما توافرت سوق هامة ، فمن المرجح للغاية انه سوف يتم استحداث وحدة .

على انه ينبغي ألا يغيب عن الأذهان أن وحدات الأوزموزية العكسية ستظل في حاجة الى الوقود ، والمرشحات ومواد مستهلكة أخرى طيلة حياة المرفق . ومع أن مصادر الطاقة البديلة كالطاقة الريحية ، والشمسية والموجية يمكن أن تحل محل عنصر الوقود ، فان تلك التقنيات ليست متاحة بعد على نطاق واسع على صعيد القرية . على انه يجرى احراز تقدم في استحداث تلك التقنيات لتطبيقها في القرية ، ومن الأهمية بمكان متابعة التطورات طويلة الأجل .

٢ - أمثلة للبرامج القطرية

(أ) المكسيك : ازالة الملوحة في القرية

تعتبر الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية في

المكسيك ، هى الوكالة المركزية التى توجه برنامج ازالة الملوحة . وقد شددت هذه الادارة بنوع خاص على استحداث مرافق لازالة الملوحة فى القرى الصغيرة . وبحلول عام ١٩٨٢ ، قدر أن الوكالة سوف تشغل حوالى ١٠٠ مشروع لازالة الملوحة تخدم أكثر من ٢٦٠٠٠٠ نسمة (بطاقة منشأة كلية يبلغ حوالى ٢١٠٠٠ م^{٣} / يوم) ، بالاضافة الى عدد من الوحدات التجريبية . وقد أنتجت معظم المنشآت ما بين ٣٨ و ٩٥ م^{٣} /يوم (ما بين ١٠٠٠٠ و ٢٥٠٠٠ غالون يوميا) ولكى تخدم وحداتها وتجرى أعمالا تجريبية وبحثية ، توجد للادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية مراكز فى أربع مناطق خارج مكسيكو سيتى ، حيث كان يوجد مقرها .

وقد أدركت الوكالة ان برنامجا ناجحا لازالة الملوحة فى القرية يتطلب نهجا خاصا . اذ تبدأ الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية بدراسة للقرية ، يقيم فيها كل من مصدر مياه التغذية لمشروع ازالة الملوحة وأية مصادر ممكنة أخرى للمياه الصالحة للشرب . كما ان الدراسة يجب ان تغطى الجوانب الاقتصادية ، والاجتماعية والتقنية لتحديد ما اذا كانت هناك رغبة حقيقية فى ذلك النوع من المرافق ، وما اذا كان سيتلاءم مع الوسط الاجتماعى القروى ، والأثر الذى سيحدثه ، ونوع الدعم المالى المحلى ، ومصادر الطاقة وامكانية التشغيل المتاحة . وفى العادة يكون المعلم فى مدرسة القرية مصدرا ممتازا للمعلومات المتعلقة بالكثير من الجوانب الاجتماعية والاقتصادية . وخلال فترة البحث هذه ، حاولت الادارة الوصول بالمشاركة المحلية فى المشروع الى أقصى حد لها ، مدركة ان المشروع لن ينجح فى النهاية الا اذا أبدى القرويون رغبتهم فيه بل وساندوه .

وقد اشتملت منشأة نموذجية تابعة للادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية فى قرية من القرى على : (أ) مصدر للمياه الخام ؛ (ب) معدات لازالة الملوحة فى أحد المبانى ؛ (ج) شبكة لتوليد الطاقة (اذا لم تكن الطاقة متاحة) ؛ (د) صهريج مياه منتج و (هـ) منزل لعامل التشغيل (والأسرة) . وعلى سبيل المثال ، تخدم المنشأة الموجودة فى قرية بولاية كواهيلا حوالى ٤٧٠ شخصا وتنتج حوالى ٨ م^{٣} / يوم (٢١٠٠ غالون يوميا) . وتتولى امرأة واحدة تشغيل المشروع ، الذى يعد مرفق للأوزموزية العكسية يعالج المياه الضاربة الى الملوحة التى يبلغ اجمالى الجوامد المذابة فيها حوالى ٣٠٠٠ جزء فى المليون . وقد وزعت المياه عن طريق حمل القرويين لها فى دلاء مملوءه من صنابير فى صهريج المياه المنتج .

وبمقتضى السياسة الحالية ، تحاول الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية قصر أنشطتها على ازالة الملوحة وألا تقوم بالعملية التالية

الخاصة بتوزيع المياه داخل القرى . وتحاول الوكالة تشجيع القرويين على الانتظام فى مجتمعات أو تعاونيات لتولى عملية توزيع المياه . وفى حالات كثيرة ، يكون استعمال الدلاء هو الاسلوب الأكثر اقتصادا . وبوجه عام ، تشرف لجنة المياه المحلية على جمع الرسوم مقابل المياه . وتعتبر الرسوم اسمية ولا تشمل سوى حصة صغيرة من التكلفة الكلية للخدمة . ويتباين النجاح فى جمع الرسوم تباينا عظيما من منطقة الى أخرى .

وتمثل المساعدة المقدمة خلال التشغيل بصفة دورية جانبا هاما من جوانب نجاح البرنامج القروى للادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية . وكجزء من الدراسة الأولية ، يقوم موظفوا الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية باختيار أحد أبناء القرية للقيام بتشغيل المرفق . وقد حصل عامل التشغيل على تدريب للقيام بالوظائف الأساسية الضرورية فى المشروع وادرج فى جدول رواتب موظفى الادارة . وبعد تشغيل المشروع ، يقوم عادة مهندس أو فنى من الادارة بزيارة القرية مرة فى الشهر على الأقل لدفع الراتب لعامل التشغيل ، ولجمع البيانات عن التشغيل ، وللمساعدة فى اجراء الاصلاحات أو التعديلات ، ولتسليم قطع الغيار والمواد الكيميائية ومساعدة عامل التشغيل بوجه عام . وقد استخدم موظفوا الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية البيانات المجمعة لمتابعة أداء المشروع ، مما يمكنهم من تحديد المشاكل وعلاجها بصورة مبكرة واستخدام المعلومات (خاصة المعلومات المتعلقة بالمشاكل) لتعديل التصميمات ، ومواصفات الانشاء و/أو الشراء فى المستقبل . وفى الوقت الحاضر ، تواصل الادارة ، الاستفادة تقنيا من الخبرة المكتسبة فى تشغيل وحداتها الميدانية ، بينما تقدم مستوى عاليا من الخدمة .

(١) الوحدات المتنقلة

بالاضافة الى الوحدات الصغيرة الدائمة الكثيرة العدد فى القرى ، بدأت الحكومة المكسيكية العمل فى استعمال المعدات المتنقلة لازالة الملوحة . وسوف يمكن ذلك الفنيين من خدمة عدد من القرى الأصغر بوحدة واحدة . وتوجد للوحدة النموذجية مرافقها الخاصة لتوليد الطاقة وهى تركب على مقطورة . وتستخدم الأوزموزية العكسية لازالة الملوحة ، وتشمل المقطورة كل المعدات الضرورية لمرحلة ما قبل المعالجة . ويمكن قطر الوحدة الى قرية وتشغيلها لتملأ بالكامل صهريجا للمياه العذبة يكفي لسد حاجة السكان لأيام عديدة . ثم تنتقل الوحدة الى القرية التالية ، حيث تكرر العملية . وبهذا الشكل ، يمكن بنجاح ، تزويد عدد من القرى الصغيرة بالمياه العذبة بواسطة أقل عدد من عمال التشغيل ومشاكل الطاقة . وكنتيجة لذلك ، يمكن مركزة كل أعمال الصيانة والاصلاح .

وقد حاولت الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية ، فى تصميمها لمشاريعها ، ان تكيف المعدات وفقا لظروف التشغيل والانشاء المحلية وأن تقلل النفقات من القطع الأجنبى الى أدنى حد . وتتراوح النسبة المئوية للقطع التى يمكن انتاجها فى المكسيك بالنسبة لكل عملية بين ٦٠ فى المائة بالنسبة لعمليات ضغط البخار و١٠٠ فى المائة بالنسبة لوحدات التقطير الشمسية ، وتأتى فيما بين هاتين النسبتين معدات الأوزموزية العكسية والوميض متعدد المراحل .

وفيما يتعلق بوحدات الوميض متعدد المراحل ، استحدثت الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية تصميما خاصا يمكن أن يستخدم معدات التجميع المتاحة ونسبة مئوية عالية من المواد المصنعة محليا . ويتيح هذا التصميم سهولة نقل العناصر المجمعة الى المواقع المعزولة حيث تكون تسهيلات معالجة الشحنات والتجميع محدودة بدرجة كبيرة . وبعد أن كانت الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية تعمل فى البداية بالصلب الكربونى ، فانها تكاد تقتصر الآن على استعمال ٩٠/١٠ من النحاس - النيكل فى مشاريعها السريعة متعددة المراحل كما جمعت الوكالة مبخرا تجريبيا لاسترداد الحرارة ووحدة ضغط للبخار .

(٢) التعاون التقني بين البلدان النامية

يتميز البرنامج الوطنى لازالة الملوحة الذى نظمته الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية بميزة كبيرة . فقد انجز بميزانية معتدلة وأجتذب مجموعة من العاملين الأكفاء والمتخصصين . ويجدر بالبلدان النامية المهتمة بتنظيم برنامج وطنى من هذا النوع أن تدرس برنامج الادارة العامة لاستغلال المياه الملحة والطاقة الشمسية لترى ما اذا كانت بعض أجزائه مناسبة لوضعها . *

(ب) برنامج القرية فى الهند

تستخدم المياه الجوفية فى ولايات غوجارات وراجاستان البعلية وشبه البعلية فى الهند على نطاق واسع فى الرى ، وقد أصبح تسرب الأملاح المعدنية

---

* يمكن الحصول على معلومات اضافية من :
Director General, DIGAASES, Boulevard del Pipila No. 1,
Lomas de Tecamachalco, México City, D.F., México.

مشكلة كبرى فى معظم المنطقة . وقد أثرت مشاكل الملوحة ، بدورها ، على امدادات المياه للقرى ، خاصة خلال فترات الجفاف . وفى منتصف السبعينات ، قام المعهد المركزى لبحوث الملح والمواد الكيميائية البحرية ، فى ولاية غوجارات ، ببناء وتركيب وحدات عديدة لازالة الملوحة فى مختلف القرى الصغيرة فى المنطقة كاثبات عملى لفائدتها فى تقديم مياه نقية للقرى . وقد شملت تلك الوحدات معدات ديلزة بالكهرباء ، وأوزموزية عكسية ووحدات تقطير شمسية .

فعلى سبيل المثال ، جرى فى موتاغوخاروالا فى غوجارات ، تركيب وحدة ديلزة بالكهرباء تنتج ١٢ م^{٣} / يوم (١٠٠ ٣ غالون يوميا) وتشغيلها نحو سنة ، وقد خدمت حوالى ١٠٠٠ نسمة من السكان . وقد استعملت الوحدة أغشية من نوع البوليمر المتداخل صنعت فى الهند . وقد تم الحصول على مياه التغذية الضاربة الى الملوحة من بئر القرية ، ووزعت المياه المنتجة بواسطة أباريق مياه كبيرة فى القرية . وكانت الجوامد المذابة فى مياه التغذية بالحجم الذى يمكن عنده استخدام الديلزة بالكهرباء أو الأوزموزية العكسية . وكان لدى المعهد كلا النوعين من الوحدات لاعماله البحثية وقد وضعهما فى قرى مختارة حسب ما هو متاح .

وقد خفضت الوحدة التى تنتج ١٢ م^{٣} / يوم اجمالى الجوامد المذابة من ٤٠٠٠ جزء فى المليون الى ١٠٠٠ جزء فى المليون باستخدام طاقة تصل الى حوالى ٣ كيلو واط ساعة / م^{٣} . واستخدمت جرعة متقطعة من التيار المكثف بالحامض لمكافحة تكون القشور . وقد قام بتشغيل المشروع أحد القرويين الذى تلقى تدريبه فى المعهد . وأفادت التقارير انه لم تكن هناك مشكلة قبول فيما بين القرويين الذين وافقوا على استعماله فى الشرب وطهى الطعام (المعهد المركزى لبحوث الملح والمواد الكيميائية البحرية ، ١٩٨٠) .

وقد تم تركيب وحدة أوزموزية عكسية تنتج ١٥ مترا م^{٣} / يوم فى قرية راجاستان تخدم ١٠٠٠ نسمة أيضا من السكان . وقد تم تركيب وحدة الأوزموزية العكسية الأنبوبية هذه ، التى صممها ، وأنتجها وقام بتشغيلها المعهد ، لحوالى ستة أشهر . وكما حدث فى موتاغوخاروالا ، أنتجت بئر القرية المياه الضاربة الى الملوحة التى استخدمها السكان .

وقد قام بتشغيل الوحدة قروى تلقى تدريب فى المعهد . وبلغ حجم الطاقة المستخدمة حوالى ١ر٧ كيلو واط ساعة / م^{٣} من ناتج الماء المنتج . وقد جرى تقليل اجمالى الجوامد المذابة من ٤٠٠٠ جزء في المليون الى حوالي ٦٠٠ جزء في المليون واستخدمت جرعة من الحامض استخداما متقطعا لمكافحة تكون القشور فى الأغشية (المعهد المركزى لبحوث الملح والمواد الكيميائية البحرية) .

وقد أفادت التقارير أن القرويين كانوا متحمسين ازاء جودة المياه . وقد لاحظوا انخفاض كميات الصابون المستعمل فى الغسيل وانخفاض ما يستهلكونه من السكر فى اعداد الشاى (مهتا وآخرون ، ١٩٧٦) .

وكما توضح الأمثلة المذكورة آنفا ، فقد تكون هناك امكانية لتقديم مياه الشرب، عن طريق مشاريع ازالة الملوحة ، الى القرى الواقعة فى المناطق النائية التى تضطر الى الاعتماد على امدادات المياه الضاربة الى الملوحة . ويمكن ادخال هذا كأحد مكونات البرامج الوطنية فى البلدان البعلية وشبه البعلية فى ظل العقد الدولى لتوفير مياه الشرب والمرافق الصحية (١٩٨١ - ١٩٩٠) الذى يهدف الى تقديم المياه الى جميع الناس بحلول عام ١٩٩٠ . وسوف يستتبع ذلك استثمارا كبيرا فى المعدات، لكنه قد يثبت انه اقتصادى ، حيث انه يمكن استعمال مصادر المياه الضاربة الى الملوحة الموجودة ، ولا يتعين استحداث مصادر جديدة . وعلاوة على ذلك ، قد يثبت أنه أقل تكلفة مما يتعين أن يدفعه القرويون الآن للبائعين الذين يحملون المياه بالعربات فى أوقات الجفاف . وبفضل الدعم المقدم على الصعيدين الوطنى والدولى ، قد تختار الوكالات فى البلدان النامية أن تنتج بنفسها وحدات صغيرة توزعها ، على نطاق واسع، على المناطق الريفية والساحلية النائية . وتعد أنظمة اشراك القرويين فى التشغيل واقامة شبكات للمتابعة والاصلاح عناصر ضرورية لمثل هذا البرنامج . كما ان هناك مجالا كبيرا للتعاون التقنى بين البلدان النامية فى هذا الميدان .

ثانيا - نقل المياه

ألف - مقدمة

تنقل المياه عادة من المصدر الى المستفيدين النهائيين فى المواقع فى كافة أرجاء العالم . ويعتمد معظم المستهلكين فيما عدا من يعيشون على طول السواحل أو على شواطئ البحيرات على المياه المنقولة الى مسافة معينة من مصدرها .

ويشتمل نظام لنقل المياه على ثلاثة عناصر رئيسية : مصدر للمياه ، وصهريج ووسيلة للنقل . فاذا لم يتوفر أى عنصر من هذه العناصر ، يتوقف النظام عن العمل . ويعتبر خط الأنابيب هو وسيلة النقل المنتشرة فى البلدان الصناعية وتجمع المياه وتعالج عند مصدرها ، كنهر أو خزان ، وتضخ عبر خط من خطوط الأنابيب يشكل الوعاء ووسيلة النقل على حد سواء . وهذه طريقة مناسبة للامداد بالمياه ، وان كانت تعتمد على كثافة رأس المال الى حد ما ، وهى تسمح بتوافر المياه للمستفيد بصفة مستمرة . وفى بعض المناطق النامية ، تتاح المياه بواسطة بئر القرية (المصدر) ، الذى يوفر المياه للناس (وسيلة النقل) الذين يحملونها الى بيوتهم فى دلاء أو جرار (الأوعية) . ومع أن هذا لا يتطلب كثيرا من رأس المال ، فانه يعتمد على العمل الكثيف وينتج المياه الى نقطة الاستهلاك فى وحدات منفصلة حيث يجب تخزينها الى أن يتم استخدامها .

ويتناول هذا الفصل اساليب توفير الامدادات المائية التى تشمل نقل المياه بكميات كبيرة الى منطقة ما . وتتصل الاساليب المذكورة بصورة أوثق بنقل المياه فى دلاء أكثر مما تتصل بالنقل عن طريق خط أنابيب حيث تنقل المياه الى منطقة فى وحدات فردية كبيرة . وتشمل تلك الأساليب استعمال الناقلات وجبال الجليد العائمة لنقل المياه عبر بحر أو محيط الى المكان الذى سوف تستخدم فيه .

ويتناول القسم الأول استعمال الناقلات من مختلف الأحجام لنقل المياه من مكان به فائض من المياه الى أماكن تعانى من نقص المياه . وقد يكون المصدر نهرا أو مدينة ، مثل روتردام ، حيث يوجد فائض من المياه . والناقلة هى الوعاء ، الذى يعمل أيضا كوسيلة لنقل المياه الى المنطقة المحتاجة . واعتمادا على الناقلة أو السفينة المختارة ، يمكن نقل ما يصل الى حوالى ٢٥٠٠٠٠ م^3 (٦٠ مليون غالون) فى رحلة واحدة .

ونظرا لان الوقت الذى ينقضى فى المرفأ يعد اعتبارا اقتصاديا هاما فى عمليات الشحن عبر المحيطات ، فان نقل المياه بطريقة تتميز بالكفاءة يتطلب توفير

تسهيلات فى المرافئ عند المصدر ومكان الوصول يمكن عن طريقها تسليم أو خزن كميات ضخمة من المياه . وهذا يعنى عادة انشاء مرافق حديثة لسحب السفن أو رسوها ، ومحطات ضخ ضخمة وصهاريج تخزين .

ولا يعتبر استعمال الناقلات فى العمليات طويلة الأجل لامداد منطقة ما بالمياه واسع الانتشار ، الا ان هذا الاسلوب قد طبق . فمن عام ١٩٦٥ الى حوالى عام ١٩٨٠ أدى نقل المياه بالسفن بين بويرتوريكو وفيرجين أيلاندز الى تزويد جزيرة سانت توماس بالحصة الكبرى من امداداتها المحلية من المياه الصالحة للشرب . ولحوالى خمس سنوات قامت ناقلات النفط بنقل المياه العذبة ، كثقل لحفظ توازنها ، بين نيويورك وجزر الأنتيل الهولندية . ويمكن الاستشهاد بأمثلة أخرى ، رغم انه لم يجر تجريب الاستعمال واسع النطاق لناقلات كبيرة للغاية لنقل المياه فقط على مدى فترة طويلة .

ويتعلق الاسلوب الثانى الذى تناوله هذا الفصل بنقل جبال الجليد العائمة . وتتألف جبال الجليد العائمة من مياه عذبة عالية الجودة ويمكن أن توجد طافية قرب المناطق القطبية . والمفهوم بسيط - نقل جبل جليد عائم الى منطقة فى حاجة الى المياه ، واذابته واستعمال المياه المذابة . وفى هذه الحالة ، يكون جبل الجليد العائم هو المصدر والوعاء وكل ما هو مطلوب هو شكل معين من الطاقة لنقله .

ولسوء الحظ ان جبال الجليد العائمة الضخمة يجب ان تستعمل ، كيما يكون اقتصادية ، وهذا يتطلب قاطرات قوية ضخمة لتحريكها وتطويعها . وبالاضافة الى ذلك ، يجب ان تكون المرافق متاحة عند طرف الاستقبال لرسو جبل الجليد العائم ، واذابته وتخزين المياه المنتجة . ونظرا لان جبل الجليد العائم يطفو وقد انغمر أكثر من ٨٠ فى المائة من حجمه تحت سطح البحر ، فمن الممكن ان يتطلب جبل الجليد قوة سحب تتراوح بين ١٠٠ و٥٠٠ متر (من ٣٣٠ الى ١٦٠٠ قدم) أو أكثر لكى يطفو ، مما يحد من مروره واقترابه من الشاطئ .

وتعتبر فكرة استعمال جبال الجليد العائمة هامة ولكنها افتراضية أساسا ، حيث انها فى الواقع لم تنفذ قط على المستوى التجارى .

باء - الناقلات

١ - خلفية تاريخية

ان حمل المياه العذبة بالسفن كشحنة وحيدة ليس بالتطور الحديث . ففى أوخر القرن الثامن عشر ، بنيت سفن خصصت لحمل المياه فقط وذلك لنقل

المياه العذبة على مسافات قصيرة . وقد بنيت تلك السفن المبحرة من الخشب وكانت مزودة بتجهيزات تقليدية ، وتحتوى على صهريجين أو ثلاثة صهاريج دائرية كبيرة مغطاة مبنية من الحديد المسبوك وكانت تسمى بـ" سفن المياه الصغيرة" . وبسبب الطابع غير المتناسق لجسمها البيضاوى السريع الانطلاق كانت سفن المياه الصغيرة غير قادرة على الابحار فى البحار العميقة ، وكانت تستخدم أساسا فى المناطق المحمية لتزويد السفن بالمياه فى المرسى ، وبلغت طاقتها على الحمل حوالى ١٥٠ م^{٣} (٣٩٫٦٠٠ غالون) .

ومن الناحية الأخرى ، بدأ حمل السوائل على مسافات طويلة مع التحول الى النفط كوقود محرك فى البلدان الصناعية فى أوائل القرن العشرين . وكانت ناقلات النفط الأصلية عبارة عن سفن كلاسيكية تبحر فى البحار العميقة لا يمكن تمييزها عن نظائرها التى تحمل شحنات جافة . ومع البخار ، بدأت تظهر ناقلة النفط المبنية لهذا الغرض - والتى كانت فى البداية مطابقة من الناحية الظاهرية لأية باخرة أخرى ، وقد تطورت تدريجيا خلال الحرب العالمية الأولى والعشرينات الى الشكل " الخلفى تماما " الذى مازالت تحتفظ به الى يومنا هذا .

ولم يكن هناك مفر ، مع التقلبات الدورية فى الشحن التجارى ، من تحول الرواج الذى أعقب الحرب العالمية الأولى الى كساد لم يسبق له مثيل فى الأسواق ، بدأ الناس خلاله يبحثون عن استعمالات بديلة لحمولة ناقلات النفط الفائضة . وكان الايطاليون أول من لاحظ فى العشرينات ان فائض المياه فى شمالى ايطاليا يمكن نقله الى المناطق التى تعانى من نقص المياه فى الجنوب وفى الجزر عن طريق فائض حمولة الناقلات . وهكذا ، يمكن تلبية حاجة اجتماعية عن طريق الامداد بفائض المياه للتعويض عن نقصها ، فى حين استعملت السفن المعطلة استعمالا مناسبا ، وان لم يكن مربحا .

واتبعت اليونان هذا السبيل ، وبحلول الثلاثينات نشأ نشاط تجارى محدود وفى كلتا الحالتين قامت الدولة بصورة رئيسية بتنظيم وتنفيذ خدمات بحرية اضافية لتوفير المياه العذبة بصورة منتظمة الى المناطق التى تعانى من نقص المياه فى سفن تصل طاقتها على الحمل الى ٣٠٠٠ متر مكعب . وبينما استمر هذا النوع من الخدمة ، كانت الكميات المنقولة صغيرة ولذا كانت تكاليف الوحدة مرتفعة . ورغم هذا ، فقد تحدد اسلوب وظهر أنه يمكن تنفيذه .

وبسبب حالات نقص المياه على الصعيد الاقليمى ، اتسع النشاط التجارى خلال الخمسينات والستينات باستعمال سفن أكبر حجما يمكن أن تحمل ما بين ٢٥٠٠٠ و ٣٠٠٠٠ متر مكعب من المياه ، تنقل ، على سبيل المثال ، فيما بين الصين وهونغ كونغ ، أو أمريكا الوسطى وجزر الكاريبى ، مع استعمال سفن مؤجرة بنيت أصلا كناقلات للنفط فى أغلب الأحوال .

وقد تجدد الاهتمام فى منتصف الثمانينات بنقل المياه العذبة بواسطة الناقلات وذلك بسبب مجموعة من الظروف يمكن تلخيصها على النحو التالى :

(أ) فائض حمولة ناقلات السفن غير العاملة حاليا والتى يمكن استخدامها فى العمليات المخصصة لنقل المياه العذبة ؛

(ب) ناقلات النفط العاملة التى تبحر الآن من البلدان المصدرة للنفط الى البلدان المستوردة له والتى يمكن ان تنقل المياه العذبة فى صابوراتها عند العودة ؛

(ج) توافر المياه العذبة فى مناطق قريبة من الطرق التجارية الرئيسية للناقلات .

وعلى مر التاريخ ، كانت هناك مشاريع اقاليمية ، واقليمية فى مجال النقل البحرى للمياه . وتعد التطورات التكنولوجية والتغيرات الهيكلية التى حدثت فى النقل البحرى عموما ، واسطول الناقلات خصوصا ، مؤشرا على التطبيق الناجح للاقتصادات الكبرى ، مما أسفر عن تكاليف أدنى لنقل الوحدة . وبناء على ذلك ، يتمتع النقل البحرى للمياه بفرصة جيدة لتأكيد نفسه كخيار بديل قادر على البقاء لزيادة امدادات المياه المحلية . ولا حاجة الى القول بأن مثل هذا الخيار يجب النظر اليه من حيث مزاياه ، وفى اطار المنافسة مع المصادر الأخرى للامداد بالمياه .

٢ - اعتبارات تقنية

(أ) استعمالات المياه المنقولة

هناك طرق مختلفة يمكن بها استعمال المياه المنقولة بالناقلات اعتمادا على نوعية المياه عند نقطة التسليم وأية تغيرات قد تحدث أثناء نقلها أو تخزينها فى صهاريج على ظهر السفن . فالمياه المتاحة للشحن قد تكون اما فى حالتها الأولية وغير المعالجة أو معالجة ، وسوف تتباين جودتها وأسعار بيعها تبعا للموقع . وتشمل الملوثات الشائعة التى يمكن التقاطها أثناء المرور الزيت ، والأملاح والصدأ .

١ ' الاستعمال الزراعى

قد تتميز المياه المستوردة للرى بدرجة من الجودة ، بما فى ذلك مياه المستعملة المعالجة ، اعتمادا على المحاصيل التى سوف تروى . ويتعين تحديد بعض مقاييس الجودة لضمان خلو المياه من المواد الكيميائية والاجسام الحية

بما يتجاوز الحد الذى يمكن أن يشكل ضررا للنبات أو للناس الذين يتعاملون مع المياه . ويمكن التغاضى عن الملوثات، الا انه يتعين تقرير الحدود المسموح بها للملوثات .

وعند استعمال المياه الملوثة بالزيت فى الرى ، يدخل عامل جديد يتميز ببعد غير مؤكد ، ولا يمكن تحديد أهميته الا عن طريق التجريب . وقد أجريت بعض الأبحاث التمهيدية فيما يتعلق بأثر مياه الرى الملوثة بالزيت على نمو بعض الخضروات، وقد أجريت تلك التجارب منذ عام ١٩٧٨ فى النرويج فى ظل الظروف التى تستعمل فيها الصوبات لزراعة النباتات حيث اجريت بعض التحاليل الكيميائية للمركبات العطرية على ثمرة الفلفل الحلو والطماطم . وقد أظهرت نتائج هذه التحليلات ان النباتات لم تتمثل غير مقدار ضئيل من مركبات الهيدروكربون . وتعتبر الاختبارات المماثلة التي أجراها معهد أبحاث نوادى التابع لجامعة طوكيو الزراعية مشجعة حتى الآن . اذ يبدو أن المياه التى بها محتوى من الزيت قدره ٠.٥ جزءا فى المليون أو أقل لا تسبب مشكلة فيما يتعلق باستيعاب المعادن أو مركبات الهيدروكربون (مايز، ١٩٨٣) . على أن تقرير الحدود يتعين أن يعتمد على أساس محدد يتعلق بالموقع والنبات .

٢ الاستعمال الصناعي

هناك طرق كثيرة لاستعمال المياه فى الصناعة ، حيث تعتمد متطلبات الجودة على طبيعة العملية . على أن من المفهوم أن محتوى من الزيت يصل الى ١ جزء فى المليون سوف يكون مقبولا لكثير من العمليات الصناعية . ويمكن توفير المياه الخالية من الزيت، اذا كان ذلك مطلوبا ، عن طريق استخدام المعالجة على الشاطئ أو عن طريق حمل المياه فى صهاريج معزولة مثقلة بصابورة .

٣ الاستعمال كمياه صالحة للشرب

يمكن نقل المياه الصالحة للشرب وللأغراض المنزلية الأخرى بسهولة نسبيا كصابورة بواسطة ناقلات مجهزة بصهاريج نظيفة مثقلة بصابورة . وحيث ان المياه ذات النوعية المرغوب فيها يمكن شحنها ، فانه يتعين مراعاة التغيرات المحتملة فى نوعية المياه خلال النقل . وسوف يتعين اتخاذ كل التدابير الوقائية لتجنب التلوث أثناء النقل . (مايز، ١٩٨٣) .

كذلك يمكن ان تتدهور نوعية المياه بسبب الصدأ الذى يحدث فى للصهاريج . ويمكن لوجود طبقة من الزيت فى صهاريج الشحنة ان توفر غشاء قد يشكل حماية فعالة من الصدأ . وعندما تحمل المياه فى صهاريج شحن منظفة ، ستكون الحالة مماثلة لظروف النقل فى صهاريج المياه المثقلة بصابورة معزولة ، رغم

أن حدوث الصدأ أمر ممكن . ويمكن طلاء الطبقات العليا والمناطق التحتيـــة للصهاريج بطريقة تمنع الصدأ والتردى المفرط فى نوعية المياه خلال النقل ، رغـم أن تنظيف تلك الأسطح من الزيت يمكن أن يكون صعبا فى بعض الأحيان .

(ب) الاعتبارات الجغرافية

يمكن للناقلات ان تكون فعالة الى أقصى حد عندما تستعمل فى توفيـــر المياه للمناطق الساحلية أو الجزر حيث توجد تسهيلات لتفريغ شحنة المياه وحيث يوجد طلب محلى لا يستلزم نقل كميات اضافية كبيرة من المياه . وحيث أن هنـاك مساحة كبيرة من الأرض البعلية تقع على طول الخطوط الساحلية* ، فان امكانيـــة الاستعمال الفعال للناقلات موجودة . ويتضمن الجدول ١٣ قائمـــة ببعـــض البلدان ذات المناطق البعلية أو الصحراوية الساحلية الهامة فى مختلف أرجـاء العالم . كما توضح هذه المناطق فى الخريطة ١ .

---

* من بين الخطوط الساحلية فى العالم ، التى يبلغ طولها حوالى ٤٥٠ر٢٠٠كم (٢٨٠ر٠٠٠ ميل) يعتبر حوالى ٣٤ر٨٠٠ كم (٢١ر٦٥٠ ميلا) مناطـــــق ساحلية صحراوية أو بعلية .

الجدول ١٣ : بلدان ومناطق ذات أطوال كبيرة من الخطوط الساحلية البعلية للغاية

البلد	الموقع على الخريطة ١	الطول المقدر للخط الساحلي البعلي (كم)	الطول المقدر للخط الساحلي البعلي (ميل)
أفريقيا			
عفار وعيسى	٤	٢٤٤	١٥٢
مصر	٤ر٦	٢٤٢٠	١٥٠٥
أثيوبيا	٤	١٠١٠	٦٢٨
الجماهيرية العربية الليبية	٦	١٦٨٥	١٠٤٧
موريتانيا	٧	٦٦٦	٤١٤
المغرب	٧	٤٥٢	٢٨١
ناميبيا	٨	١٣٨٥	٨٦١
الصومال	٥	٢٩٥٥	١٨٣٧
السودان	٤	٧١٦	٤٤٥
تونس	٦	٥٠٠	٣١٢
الصحراء الغربية	٧	٩٠٧	٥٦٤
المجموع الفرعي		١٢٩٤٠	٨٠٤٦
استراليا	١٠ر٩	٤٧٠٠	٢٩٢١
المجموع الفرعي		٤٧٠٠	٢٩٢١
آسيا			
اليمن الديمقراطية	٣	١٢١١	٧٥٣
الهند	١	١١٠٥	٦٨٧
جمهورية ايران الاسلامية	٢ر١	١٨٣٤	١١٤٠
باكستان	١	٧٥٣	٤٦٨
العربية السعودية	٤ر٢	٢٤٣٧	١٥١٥
اليمن	٣	٤٥١	٢٨٠
المجموع الفرعي		٧٧٩١	٤٨٤٣

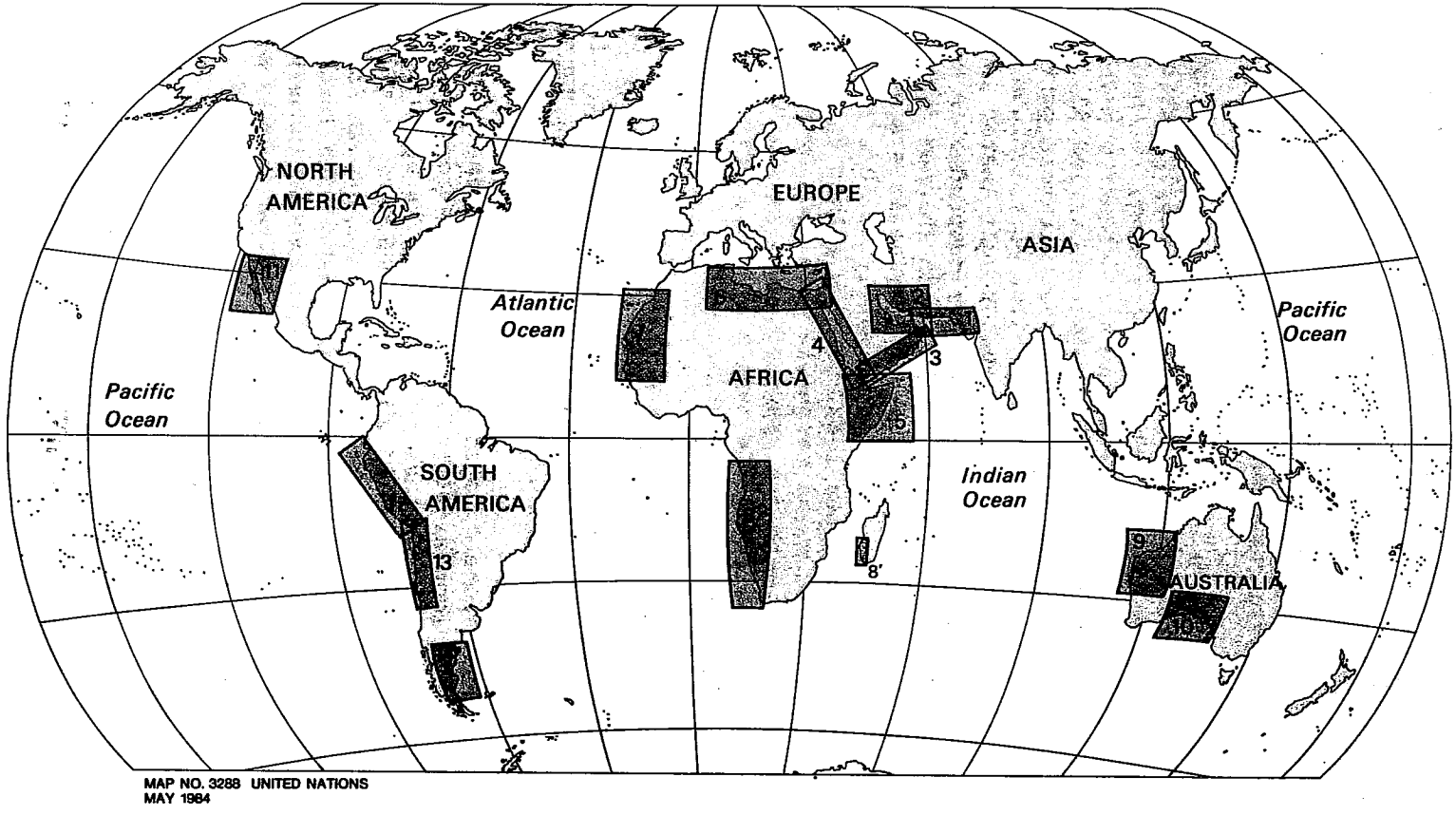
الجدول ١٣ (تابع)

أمريكا الوسطى الجنوبية

الأرجنتين	١٤	١٧٠٠	١٠٥٦
شيلى	١٣	١٥٧٤	٩٧٨
المكسيك	١١	٣٨٠٠	٢٣٦٢
بـــيرو	١٢	٢٣٢٩	١٤٤٨
	المجموع الفرعي	٩٤٠٣	٥٨٤٤
	المجموع الكلي	٣٤٨٣٤	٢١٦٥٤

المصدر : مأخوذ بتصرف من الجدول ١ الوارد فى
Z.J. Bradanovic, "Certain considerations and criteria for possible development of costal desert and/or arid areas in developing countries", Alternative Strategies for Desert Development and Management, volume-4 (New York, Pergamon Press, 1982), pp.1017-1041.

الخريطة رقم ١ ـ المناطق الساحلية الصحراوية والقاحلة للغاية في العالم



المصدر : مأخوذ بتصرف من الخرائط المتضمنة في

• Peveril Meigs, *Geography of Coastal deserts* (Paris, UNESCO,1966).

وقد قللت التغيرات الهيكلية التى حدثت فى مجال النقل البحرى من عيوب المسافات الكبيرة فيما يتعلق بنقل الشحنات السائبة . وقد أسفر الحجم المتزايد للناقلات عن وفورات كبيرة فى النقل البحرى ، وقللت مرافق المرافئ والبنية الأساسية المحسنة من تكاليف الشحن والتفريغ .

وقد أثرت الوفورات الكبيرة ، التى تحققت فى مجال النقل البحرى على اختيار مواقع المرافئ ومناطق التنمية ، مما يستتبع أيضا مراعاة المسائل التقنية ، والتشغيلية ، والمالية ، والاقتصادية والسياسية ، وتحتاج السفن الضخمة الى مرافق رسو فى المياه العميقة ومعدات خاصة لنقل الشحنات السائبة وذلك فيما يتعلق بسرعة الاعداد لرحلات تالية للسفن عند كلتا المحطتين الطرفيتين .

وتزداد بدرجة كبيرة اقتصاديات خدمة مناطق ساحلية محددة اذا كانت تقع على طول الطرق التجارية الكبرى فى العالم ، أى ، فى المسار الرئيسى لحركة المواصلات البحرية . وتجرى حركة المواصلات البحرية بوجه عام على طول بعض الطرق التجارية الاساسية المتجهة من الشرق الى الغرب ومن الشمال الى الجنوب .

ويمكن تحديد اتجاه الشرق / الغرب على انه يستعمل بالدرجة الأولى طريق النقل البحرى الممتد بين البحر المتوسط والبحر الأحمر . ويقع جبل طارق عند الطرف الغربى ومضيق باب المندب عند الطرف الشرقى لهذا الطريق ، بينما تربط قناة السويس بين البحر المتوسط والبحر الأحمر .

أما اتجاه الشرق / الغرب البديل فهو ، فى الواقع ، الطريق التجارى الممتد من الشمال الى الجنوب حول رأس الرجاء الصالح وعلى طول الساحل الأفريقى الغربى .

ويمكن تعريف المناطق الصحراوية أو البعلية فى علاقتها بتلك الطرق على أنها المناطق التى تقع فى الأجزاء الجنوبية ـ الغربية والغربية من أفريقيا ، وعدد قليل من البلدان المطلة على البحر المتوسط فى القارة الأفريقية ، وبوجه خاص كل البلدان الواقعة على ضفاف البحر الأحمر ، وخليج عدن والخليج الفارسى ، وباكستان وجزء من الهند . وقد حددت هذه المناطق على الخريطة ١ . ولطريق الشمال / الجنوب التجارى على كل من الساحلين الغربيين لامريكا الشمالية والجنوبية دلالات خاصة بحركة المواصلات البحرية فى نصف الكرة الأرضية بالدرجة الأولى .

وفيما يتعلق بالنقل البحرى للمياه ، فان المناطق الصحراوية الساحلية الرئيسية ذات الأهمية هى تلك المناطق التى توجد فيها مستوطنات بشرية ، وامكانات للتنمية التجارية ، أو الصناعية ، أو الزراعية أو امكانات لتنمية موارد أخرى .

وثمة ثلاث حالات يمكن أن تؤدى الى استخدام النقل البحرى للمياه بواسطة الناقلات من المناطق ذات الفائض المائى الى المناطق التى تعانى عجزا فى المياه . وهذه الحالات هى :

(أ) حالات طوارئ غير متوقعة ، تتطلب استيرادا قصير الأجل للمياه لتلبية الاحتياجات الطارئة ؛ (ب) زيادات متوقعة و/أو موسمية فى الطلب على المياه الاضافية (موسم سياحى كثيف) و(ج) زيادات طويلة الأجل فى الطلب على المياه المستوردة فى مناطق ساحلية بعلية للغاية أو معرضة للجفاف .

ويبدو أنه من الممكن تطبيق بعض المعايير العامة الموجزة أدناه فيما يتعلق بالمناطق التى قد تستفيد من مخططات نقل المياه :

(أ) يتعين أن يكون من الممكن الوصول الى المنطقة من البحر؛

(ب) اذا لم تكن هناك مرافئ مناسبة ، فان قاع البحر لا يتعين أن يكون شديد الانحدار وذلك لامكانية انشاء مرفق للرسو قبالة الشاطئ فى أعماق مائية معقولة ولربطه بالأرض بأنبوب تحت الماء ؛

(ج) يتعين أن تكون المنطقة تعانى نقصا دائما وليس مؤقتا فى المياه يستدعى وضع ترتيبات للامداد طويل الأجل بالمياه . وهذا بطبيعة الحال لا يستبعد الامداد المؤقت بواسطة الناقلات أو السفن البخارية الى المناطق التى قد تحدث فيها أزمات غير عادية ، ذلك ان الامداد بالمياه بواسطة الناقلات أو السفن البخارية قد يقدم الحل الأكثر ثقة ومرونة ؛

(د) يتعين أن تكون المنطقة الساحلية أو الأرض الداخلية القريبة منها هى الموقع الذى تتواجد فيه حاجة الى المياه العذبة ، ويتعين أن تكون البنية الأساسية لتوزيع المياه فى داخل الأرض متاحة وذلك لضخها الى مختلف المناطق المطلوبة ؛

(هـ) يتعين أن تكون الموارد المالية ، أيا كان مصدرها ، متاحة وذلك حتى يمكن تنفيذ العملية .

(ج) البنية الأساسية

سوف تختلف البنية الأساسية اللازمة للنقل للبحرى للمياه تبعا للموقع ، ولذلك لن ينظر أدناه الا فى البدائل المعممة . وقبل تخصيص موارد للنقل البحرى للمياه ، يتعين تقرير ما اذا كانت الحاجة سوف تتطلب مرافق محطة نهائية منفصلة أو ما اذا كان من الممكن استخدام مرافق منافذ الموانئ القائمة عند كل من مكان المنبع والمكان المقصود . وبالاضافة الى اعتبارات أخرى كثيرة ،

يتعين ايلاء اهتمام متعقل بالمسافة البرية من المرفق البحرى الى مصدر المياه والخزانات وكذلك بالمسافة البحرية بين محطات الشحن والتفريغ . ويتطلب تطوير مرافق محطات نهائية جديدة دراسة متأنية حول مواقع الموانئ فى المستقبل ودراسة للخصائص الطبيعية للمنطقة ، بما فى ذلك الهيدروغرافيا والطبوغرافيا ، وتأثيرات الظواهر الجوية والاقيانوغرافية والمياه الساحلية المتحركة .

'١' أحواض الرسو

يمكن فى حالات كثيرة تعديل المرافق الواسعة النطاق الخاصة بالنقل والمحطات النهائية والمرافئ والتى استحدثتها صناعة النفط لاستخدامها فى تصدير واستيراد المياه بواسطة وصلات مياه منفصلة مرتبطة بخطوط الأنابيب والخزانات . ويرد فيما بعد وصفا موجزا لأحواض الرسو الممكنة الخاصة بالناقلات.

تتمثل الأنواع الرئيسية من بين الأحواض الطافية فيما يلى : حوض وحيد طافى للرسو ، وحوض وحيد طافى للرسو مكشوف الموقع وأحواض رسو متعددة الطافيات . ويقال أن أحواض الرسو الطافية الوحيدة هى أكثر الأحواض الطافية شيوعا . وتعد التكلفة الرأسمالية لتلك الأحواض منخفضة نسبيا . الا انه مع كل المعدات الاضافية كالمراسى ، ووصلات الخراطيم ، والخراطيم الطافية والخراطيم الممتدة تحت الطافية ووصلة القاع ، قد تكون التكلفة الكلية ضعف التكلفة الرأسمالية للطافية الوحيدة عدة مرات . ومع ذلك ، تظل التكلفة أقل كثيرا من تكلفة محطة نهائية على الشاطئ ذات امكانية مماثلة للوصول اليها . وتتمثل احدى مزايا أحواض الرسو الطافية الوحيدة فى أن السفينة يمكنها أن تدور حولها بمجرد رسوها ، وذلك بفضل قمتها الدوارة ويمكن لعمليات الشحن أن تتم بموجات تصل الى ٤٫٥ متر .

وتعد أحواض الرسو الطافية الوحيدة ذات الموقع المكشوف بوجه عام أقدر على مواجهة ظروف البحر القاسية من أحواض الطافية الوحيدة . على أن هذه الأحواض الحديثة المعقدة نوعا ما ، والتى جرى تشغيلها لأول مرة فى عام ١٩٧٥ ، أكثر تكلفة بكثير من أحواض رسو الطافية الوحيدة . ومن الناحية الأخرى ، يقال ان أحواض الرسو متعدد الطافيات أقل تكلفة من أحواض الطافية الوحيدة . وفى هذا النظام ، توضع طافيات عديدة فى نمط شبه دائرى . ويتم ارساء السفينة فى موقع محدد ويجب أن تسقط مرساتين بصورة متعاقبة أثناء مناورات الرسو . والعيب الرئيسى فى هذه الأحواض هو أن عملية الرسو تتطلب وقتا أطول منه بالنسبة لنظام الطافية الوحيدة .

ومن بين هياكل الرسو الثابتة توجد المحطات النهائية على الشاطئ وقبالته . والمحطة النهائية هى الهيكل التقليدى على الشاطئ ، لكن متطلبات السحب المتزايدة لناقلات كبيرة للغاية أدت الى بناء أحواض قبالة الشاطئ ،

" جزر بحرية " . ويمكن تحديد أى البديلين أفضل عن طريق اجراء تحليل تفصيلى للظروف السائدة فى منطقة محددة .

وقد توفر المرافئ المحمية بشكل طبيعى العمق المطلوب لناقلات محددة ذات حجم أمثل تستعمل فى نقل المياه . الا انه فى حالات كثيرة ، قد لا تكون المياه المحمية بشكل طبيعى متاحة ، وقد يتعين بغية توفير الحماية لأحواض الرسو ، اقامة حاجز أو حاجزين للمياه . وقد تتراوح تكلفة المتر الواحد من طول حاجز المياه بين ٥٠٠ و ٢٠٠٠ دولار أمريكى فى المتوسط ، لكن الظروف المعاكسة قد تدفع الرقم الى أعلى بكثير .

٢ ' المرور عبر قناة

يتمثل الهدف الأساسى لقناة المرور فى المرور الآمن لكل السفن . ويتعين أن يكون العمق كافيا بحيث يتيح للسفن ذات الغاطس الأكثر عمقا بالمرور عبر اللسان الأكثر ضحالة من القناة عند مرحلة معينة فى كل دورة من دورات المد والجزر . ويعد عرض وعمق قناة المرور الملاحى الى الميناء اعتبارين اقتصاديين رئيسيين . واذا لم تكن هناك قيود اقتصادية قاسية ، فانه ينبغى استحداث قناة مزدوجة بغية اتاحة الوصول السهل الى المرفأ .

وفى حالات كثيرة يتعين ، كيما يتوفر لناقلة من الحجم الأمثل ، عمقا مائيا كافيا فى المرفأ ، رفع الأوحال من قاع قناة المرور وحوض للتحويل فى المرفأ وكذلك مرسى شحن المياه . ويعتبر رفع الأوحال عملية حفر أساسا ، لكن اختيار المعدات الصحيحة يعد حيويا لتحقيق وفر . وتتطلب كل أنشطة رفع الأوحال مراعاة خاصة لطبيعة التربة التى سيتم رفع الأوحال منها ، وأنسب السبل لازالة الأوساخ وبرنامج أمثل للعمل . ويجب مراعاة كل من التكاليف الرأسمالية وتكاليف الصيانة فى عملية رفع الأوحال .

٣ ' الأحواض المرتكزة على الشاطئ

والأحواض الموجودة على ظهر السفن تتزايد اقتصاديات عمليات الملاحة بوجه عام وعمليات الناقلات بوجه خاص بدرجة كبيرة عن طريق سرعة اعداد المرفأ لدورة تالية الأمر الذى يؤدى ، بدوره ، الى زيادة كل من طاقة أداء الناقلة وطاقة المرسى على الشحن والتفريغ . ولذا ، ففى سياق أى مشروع انمائى لنقل المياه ، يتعين تصميم نظام للشحن يتعلق بالناقلات يحقق معدلا عاليا للطاقة الشحن والتفريغ عند كل من طرفى الشحن والتفريغ . وسوف يتحقق هذا عن طريق ايجاد توافق بين طاقات مرافق الشحن والتفريغ ، وطاقات الخزانات وطاقات خطوط الأنابيب .

وتتألف معدات الشحن والتفريغ على رصيف الميناء بشكل رئيسى من أذرعة تحميل مصممة لربط الخراطيم بوصلة السفينة . وتتوقف تكلفة النظام على طاقته المستهدفة . ويمكن القيام بعمليات الشحن اما بواسطة الجاذبية أو بمساعدة أنظمة الضخ . وتتوقف معدلات الضخ الفعلية على طاقات الضخ فى الناقلة و/أو معدات الضخ التى تتخذ من الشاطئ قاعدة لها ، والتى تسهم كلها متى تحقق التوافق بينها ، فى معدلات شحن وتفريغ أعلى بكثير للناقلات .

وتصمم محطة نهائية للمياه لاستقبال المياه ومعالجتها وتوزيعها للأغراض المختلفة . وقد تتألف المحطة النهائية النموذجية للمياه من العناصر التالية : تزويد الأنابيب بمضخات، خزانات للاستقبال والتخزين ، وحدة للتطهير أو المعالجة ، ومرفق لتوزيع المياه المعالجة .

ويستهدف عدد ضئيل من المرافق الموجودة لشحن النفط الخام ، استقبال كميات ضخمة من صابورة المياه فى وقت واحد مع شحن حمولة من النفط . واذا كانت السفن تحمل كميات ضخمة من المياه العذبة ، فيجب توفير خط أنابيب للضخ على الشاطئ . ولذا ، فانه يتعين تكييف المرافق الموجودة كيما تستعمل فى استيراد المياه ، أو يتعين على السفن ان تفرغ مياه صابوراتها فى مرافق استقبال منفصلة .

(٤) مرافق تفريغ الصابورات

أعلنت اتفاقيات المنظمة الدولية للملاحة البحرية للبحر المتوسط ، والبحر الأحمر والخليج الفارسى مناطق محمية خاصة . ففى تلك المناطق يتعين أن يكون نقل النفط بواسطة الناقلات نظاما مغلقا . وسوف تكون هناك حاجة لافراغ الصابورات عند المحطات النهائية لتصدير النفط فى تلك المناطق وذلك لاستقبال تفريغ مياه الصابورة الملوثة بالنفط من ناقلات النفط فى مياه المرفأ . وعندما يتم تشييد تلك المرافق ، فانه يتعين ان تكون مزدوجة الغرض من حيث طبيعتها ، حيث ان المياه العذبة المستعملة للصابورة يمكن أن تستعمل على الشاطئ

ويعتبر نقل المياه العذبة فى الصابورة عند العودة ممكنا اذا كانت هناك سوق للمياه العذبة . وتشحن المياه العذبة فى المرفأ المستورد للنفط وتفرغ فى الميناء المصدر له . ولذلك فان العمل بمحطات مياه الصابورة العذبة يمكن أن يعطى حوافز اضافية لانشاء مرافق استقبال مناسبة لمياه الصابورة الملوثة بالنفط طبقا للنظم الدولية .

ان مخططات نقل المياه العذبة بالناقلات عند العودة ، حيث يستفاد من الطاقة الكاملة لحمل الشحنات من أجل نقل المياه العذبة ، يمكن تنفيذها بسهولة بالغة عن طريق انشاء مرافق استقبال منفصلة ذات طاقة كبيرة ، وصهاريج

تخزين وشبكة توزيع . على أن مواقع تلك المرافق لا توجد بالضرورة عند محطات شحن النفط .

وفى فترة انتقالية ، يمكن للناقلات المحولة ان تقدم خدمات جليلة بوصفها خزانات رأسية للتخزين ووحدات لمعالجة المياه . وقد أثبتت الناقلات المصممة لمعالجة مياه الصابورة الملوثة بالنفط بالفعل جدواها فى اليونان ، وسنغافورة ، والسويد ، واتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية والخليج الفارسى (ماير ، ١٩٨٣) .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجى الأخيرة

تمثل التطور الرئيسى فى مجال النقل البحرى على مر السنوات العشرين الماضية فى القفزة الكمية الرائعة فى حجم الناقلات ، والتى كانت لها نتائج تقنية وتشغيلية ، ومالية ، واقتصادية وسياسية . وقد أدت الاقتصاديات الكبيرة الناتجة عن هذه الزيادة فى الحجم الى جعل النقل البحرى أرخص أسلوب لنقل الشحنات السائبة من حيث تكاليف الوحدة ، باستثناء خطوط الأنابيب .

(أ) ناقلات الخام الكبيرة جدا وناقلات الخام بالغة الضخامة

حدث توسع هائل فى النصف الأخير من الستينات وفى السبعينات فى بناء ناقلات خام كبيرة جدا ، يتراوح حجمها بين ١٠٠ ٠٠٠ و٢٥٠ ٠٠٠ طن حمولة ساكنة ، وناقلات خام بالغة الضخامة ، يتراوح حجمها بين أكثر من ٢٥٠ ٠٠٠ و٥٠٠ ٠٠٠ طن حمولة ساكنة*. ومن عام ١٩٧١ الى عام ١٩٧٥ تم تسليم أو التعاقد على تسليم أكثر من ٥٠٠ من ناقلات الخام الكبيرة جدا وناقلات الخام بالغة الضخامة ، تصل الى حوالى ١٤٥ مليون طن من الحمولة الساكنة (حوالى نصف اسطول العالم اليوم) (ويلسون ، ١٩٨٣) .

وقد بنيت تلك الناقلات الكبيرة لحمل النفط فى رحلات نقل طويلة من الخليج الفارسى الى أوروبا وأمريكا الشمالية حول رأس الرجاء الصالح ، خاصة خلال فترة اغلاق قناة السويس (١٩٦٧ - ١٩٧٥) . ولا تمثل حاليا تكاليف النقل بالنسبة لأسعار النفط غير حوالى ٣ الى ٤ فى المائة من سعر النفط .

---

* أطنان الحمولة الساكنة هى طاقة الحمل الفعلية لاحدى السفن معبرا عنها بالاطنان الانكليزية ، التى تساوى الأطنان المترية (وكل منها يساوى ١ ٠٠٠ كيلوغرام أو ٢ ٢٤٠ رطلا) . وهى تشمل الشحنة ، والطاقم ، والوقود ، والامدادات وقطع الغيار .

وقد انخفضت هذه النسبة المئوية بثبات من نسبة ١١٠ فى المائة من سعر النفط فى عام ١٩٥٧ الى نسبة ٥٢ فى المائة فى عام ١٩٧٠ ونسبة ٤ر٧ فى المائة فى عام ١٩٨٠ (مايو، ١٩٨٣)، وذلك نتيجة للزيادة فى أسعار النفط بالدرجة الاولى. على أن ما يعتبر نسبة مئوية صغيرة من تكاليف النفط سوف يكون ثمنا عاليا يدفع فى مقابل نقل كميات ضخمة من المياه (أى، أكثر من ١١ر٠٠ دولار لكل متر مكعب) ولذلك فانه ما لم يتم تحديد أسعار اكثر انخفاضا لنقل المياه فسوف يكون من الامور الاقتصادية الى أبعد حد استعمال جانب من الناقلات الكبيرة لنقل المياه العذبة فى الصابورة عند العودة وهى حالة لن تحقق فيها رحلة العودة فى العادة أى عائد. وبما ان الناقلات الكبيرة تستخدم عموما فى رحلات ذات مسافات طويلة، فمن الارجح ان يكون نظام النقل عند العودة هو النظام الاكثر احتمالا لنقل المياه.

وتستعمل الناقلات الكبيرة، لكونها أكبر وأعمق من السفن التقليدية، كميات أقل نسبيا من الصلب وعدد أقل من العاملين ومن المعدات لكل طن من طاقة الحمل. وقد أدت الاقتصادات الكبيرة التى تحققت عن طريق ناقلات الخام الكبيرة جدا هذه. وكذلك نتيجة للزيادة فى أسعار النفط، الى تغيير أثر الموقع الجغرافى للموارد الطبيعية بدرجة كبيرة وأثبتت انها عامل حاسم فى تنمية موارد أقل جودة.

ومنذ أواخر السبعينات، سبب الانخفاض فى شحنات النفط من البلدان المصدرة للنفط فائضا كبيرا فى حمولة الناقلات. وخلال عام ١٩٨٢ انخفضت متطلبات الحمولة المقدرة الى ١٥٠ مليون طن من الحمولة الساكنة. ولوضع هذا الرقم فى منظورة السليم، فان طاقة الحمل المتاحة (باستبعاد السفن المستخدمة لتخزين النفط) قد وصلت الى حوالى ٣٠٢ مليون طن من الحمولة الساكنة. ومن ثم، فانه خلال الربع الثانى من العام وصلت الطاقة الفائضة الاجمالية المقدرة الى الرقم الثانى وقدرة ١٥٢ مليون طن من الحمولة الساكنة وهو ما يساوى نسبة ٥٠ فى المائة من الطاقة الممكنة لاسطول حمل النفط. وهذه الطاقة الفائضة الهائلة هى التى جعلت نقل المياه بالناقلات مجديا من الناحية الاقتصادية. فالمياه سلعة منخفضة التكلفة يمكن من الناحية الاقتصادية حملها على مسافات طويلة بالناقلات العملاقة

فـي الجـزء المخـصص للصابـورة من الرحـلة اذا لـم يـكن لدى البلدان المستقبلة مصـادر بديـلة للدخـل .

وقـد شـمل اسـطول الناقلات العالمـي فى بدايـة عـام ١٩٨٣ ٦٣٠ ناقـلة خـام كبـيرة جـدا وناقـلة خـام بالغـة الضخـامة ، كانـت ١٨٠ منهـا خـارج الخدمـة الفعليـة ، وكانت ٤٣ منهـا تستعمل كسـفن تخزيـن وكان حـوالى ٣٠ منهـا معطـلا أو ينتظـر التشـغيل . وقـد استخدمت الـ ٣٧٧ الباقيـة فى نقل النفـط على مسـافات طويـلة مـن بلدان الخليج الفارسـى الى الشـرق والغرب.

(ب) نقل المياه العذبة في الصابـورة

لا تسـتخدم الناقـلة المخصصـة لنقـل النفـط (وهى سفينة تستعمل لنقل النفـط وحـده) ، عمـوما ، الا بنسـبة ٥٠ فى المائـة من طاقـة حملهـا الاجمـالية طيـلة الرحـلة ، حيث أنهـا فى رحـلة عودتهـا لا تحمـل نفـطا، وانما تحمل ، فقـط، ميـاه البحـر كصـابورة . ويمكن للناقـلات ان تسـتخدم الطاقـة الى الحـد الاقصـى عن طـريق حمل شحنـة محققـة للدخـل فـى رحـلة العـودة . وباسـتعمال الميـاه العـذبة لتحقـيق التـوازن ، تستخدم سـعة الناقـلة في حمـل النقـط بوصفهـا الخدمـة الاولى المـدرة للدخـل . وتـكون الميـاه العـذبة فى رحـلة العـودة مصـدرا ثانويـا للدخل .

وتشـجع الاتفاقيـة الدوليـة لمنـع التلـوث الناجـم عن السـفن (قـرار برنامـج رصـد التـلوث البحـرى ٧٣ / ٧٨) ، والـتى أصبحـت سـارية المفعـول فى ٢ تشـرين الاول/أكتوبر ١٩٨٣، استعمال جانب من سـعة الحمـل لنقـل الميـاه العـذبة . وترسـى تـلك الاتفاقيـة ، التـابعـة للمنظمة الدوليـة للملاحـة البحريـة ، متطـلبات معينـة للبنـاء والمعـدات تهـدف الى تقليل التلوث بالنفط أثناء التشـغيل .

وتشـترط الاتفاقيـة ان تحتفظ ناقـلات الخـام الكـبيرة جـدا وناقـلات الخـام بالغـة الضخامـة بنسـبة تصـل الى ٣٠ فـى المـائة مـن سـعة حملهـا لصـابورة الميـاه العذبـة . وقـد اقـترحت بدائل عـديدة للاحتفـاظ بجـزء مـن سـعة الحمـل ، وأكـثرها وعـدا نظـام صهـريج الصابـورة المعـزول ونظـام صهـريج الصـابورة النظيف.

ومن شأن نظام صهريج الصابورة المعزول ان يخصص جانبا من المساحة الاجمالية (حوالى ثلث الحمولة الساكنة) لاستعماله فى نقل المياه العذبة دون أى شئ آخر . وفيما يتعلق بالناقلات الجديدة يجب تنظيم الصهاريج المعزولة فى موقع يتمتع بالحماية .

أما نظام صهريج الصابورة النظيف فهو تدبير مؤقت للناقلات الموجودة تحدد بموجبه صهاريج معينة على انها صهاريج صابورة نظيفة لحمل صابورة مياه عذبة فقط . ويتعين ان تنظف صهاريج الصابورة النظيفة ، وتفتش وتوثق لغرض نقل المياه العذبة بشكل دقيق . ومن الأهمية الحيوية لتلك المشاريع أن تتمشى مع بعض المقاييس المعترف بها دوليا فيما يتعلق بالمياه واعطاء المتلقى معلومات كاملة حول نوعية المياه المسلمة .

وهناك حاجة الى معدات وتقنيات علمية خاصة لصيانة و/أو تحسين المياه وهى فى الطريق الى وجهتها النهائية . وسواء أختير نظام صهريج الصابورة المعزول أو النظيف ، فسوف يتعين ادخال تعديلات مسبقة على السفن الحاملة للمياه العذبة وتزويدها بمهندس مياه مؤهل واحد على الأقل .

ومع تنفيذ قرار رصد التلوث البحرى ٧٣/٧٨ ، يواجه الملاك الآن خيار تحسين السفن بتكاليف عالية كى تصل الى المستويات الدولية بصهاريج الغاز الخامل ، وتنقية النفط الخام ، و/أو صهاريج الصابورة المعزولة . فاما ترسل الناقلات الى أحواض الاعدام أو تجد عملا بديلا ومشاريع تحويلية . وتتباين أعمار السفن ومقاييسها التقنية ، لكن معظمها سوف يكون مناسبا ، دون تحويل ، لنقل المياه لسنوات كثيرة قادمة . كما يمكن استعمال أجسام السفن كمشاريع لاستقبال المياه ، وتخزينها ، ومعالجتها وتوزيعها (ماير ، ١٩٨٣) .

(ج) الناقلات المخصصة لنقل المياه

'١' الناقلات الكبيرة

فى أوائل عام ١٩٨٣ ، كانت أكثر من ٢٠٠ من ناقلات الخام الكبيرة جدا خارج الخدمة دون امكانيات للعمل وتصلح كل هذه السفن للخدمة المخصصة لنقل المياه . وسوف تتطلب ، الى جانب كافة الاجراءات العادية الأخرى لاعادة التجهيز للخدمة الفعلية ، تنظيفا شاملا لكافة الفراغات فى الشحنة وتركيب معدات وشبكة أنابيب لمعالجة المياه على ظهر السفن . ومن المقبول

بوجه عام ان نقل المياه بالناقلات الكبيرة المخصصة لنقلها سوف يكون اقتصاديا ، وذلك بالنسبة للرحلات السريعة قصيرة المسافة بشكل رئيسى .

وتتميز الخدمة المتخصصة ببعض المزايا على نقل المياه والنفط معا . فأولا ، تعتبر التجارة موجهة نحو طلب وعرض محددين لسلعة وحيدة . ولذلك لن تعتمد المياه المسلمة على التقلبات التى تحدث فى تجارة النفط . وبناء على ذلك ، يمكن وضع برنامج لنقل المياه العذبة ويمكن الوفاء بتعهدات التسليم على مدى فترة طويلة دون مجازفة عملية . وثانيا ، لا يوجد خطر خلط أو تلويث المياه من مخلفات شحنة نفط ، الأمر الذى قد يحتم معالجة خاصة على الشاطئ . وثالثا ، تتيح الخدمة المتخصصة فرصة وضع ترتيبات تعاقدية دائمة بين المستخدم النهائى ومقدم المياه المناسبة ، يتمتع بموجبها المستخدم النهائى بحقوق خاصة به دون غيره فيما يتعلق بكميات المياه المطلوبة ويعطى بموجبها رسميا حق الحصول عليها وحقا رسميا فيها . ورابعا ، يمكن أن يكون على ظهر الناقلة المتخصصة مشروعا خاصا بها لمعالجة المياه . وبهذا سيكون من الممكن شحن مياه عذبة ذات جودة أقل نوعا ما وتحسينها خلال المرور بحيث ترقى الى المستويات المستصوبة . وبالتالى ، فلن يكون المستخدم النهائى مقيدا بالحصول على المياه من المصدر الأكثر نقاء ، وانما سيتمتع بالمرونة اذا ما دعت الظروف لتغيير المصادر مع الاحتفاظ رغم ذلك بتوقيت وجودة الامدادات .

ويتمثل الجانب السلبى للخدمة المتخصصة فى أن الناقلة يجب أن تقوم برحلة العودة حاملة صابورة تحقق دخلا .

٢) نظم زوارق وصنادل القطر

قد يتضمن مشروع محدد للنقل المتخصص للمياه مجموعات من زوارق وصنادل القطر فى بحر أو بيئة أوقيانوسية هادئة نسبيا ، كما فى حالة رحلات النقل القصيرة بين الجزر أو بين البر والجزر القريبة . وتعد الأحوال الجوية والظروف الاوقيانوسية السائدة اعتبارات أولية فى مثل هذا المشروع ويمكن فى بعض المناطق فرض قيود كاجراءات وقائية أمنية . وقد أستعمل نظام من هذا النوع لنقل المياه من جزيرة بويرتو ريكو فى الكاريبى الى سانت توماس، وهى مسافة تبلغ حوالى ١٠٠ كم (٦٠ ميلا) لمدة تصل الى ١٥ سنة تقريبا .

وتتوافر خيارات مختلفة فى عملية نقل المياه بزوارق وصنادل القطر . ففيما يتعلق بعمليات النقل القصيرة صغيرة النطاق سوف يتطلب واحد من هذه النظم مرسى واحدا للشحن ومرسيين عند محطة التفريغ النهائية وذلك فى حالة استخدام زورق وصندلين . ويتمثل الاستعمال الأكثر كفاءة لزورق قطر فى اشتراكه مع ثلاثة صنادل قطر : الأول عند مرسى الشحن ، والثانى أثناء العبور مع قطره بزورق القطر والثالث عند محطة التفريغ النهائية . ويعتبر وقت التوقف بالنسبة

للصندل أعلى ولكن ، نظرا لأن الصندل أقل كثافة من حيث رأس المال ، فـــان هذا يعتبر مقبولا فى العادة . وسوف تستلزم عملية تتميز بالكفاءة مرسيين للشحن ومرسيين للتفريغ .

أما المستوى التالى فسوف يتطلب زورقين وخمسة صنادل للقطر . وفـى حين أن زوارق القطر تستخدم استخداما كاملا ، فسوف تحدث حالات من التوقف بالنسبة للصنادل . وسوف يتطلب ميناء الشحن مرسيين ، فى حين أن مينـــاء التفريغ سوف يتطلب ثلاثة مراسى .

(د) ازالة النفط

يبين تحليل شحنات مياه الصابورة بعد وصولها والمنقولة فى الصهاريج ، وهى الشحنات التى تكون قد نقيت من النفط الخام ونظفت بالمياه على نحـــو لائق ، أن بالامكان تفريغ حوالى ٩٠ فى المائة من المياه بأقل من ١٥ جزءا فـى المليون من المحتوى النفطى . ويمكن ازالة النفط المتبقى فى الجزء الأخـــير من المياه العذبة التى يراد تفريغها من صهاريج شحنات النفط عن طريق الفصل بالجاذبية فى صهريج استقبال خاص لتحقيق محتوى نفطى أقل من ١٠ أجـــزاء فى المليون فى المياه . وهذه الطريقة البسيطة ذات الكفاءة التكاليفية لفصـــل النفط عن المياه تعتبر مشجعة للغاية بالنسبة للمياه المنقولة بناقلات النفط الخام وبالمقارنة ، فان معدات فصل المياه عن النفط فى السوق سوف تقلل المحتـــوى النفطى فى المياه المعالجة الى حوالى ٢٥ جزءا فى المليون .

وقد استحدثت تقنيات جديدة لفصل المياه والنفط ، تستخدم مـــواد خزفية ماصة للنفط أو مواد محببة ماصة مرشحة . ويمكن لهذين النظامين تخفيض مستوى النفط فى المياه الى أقل من ٥ أجزاء فى المليون ، ويمكن ، فى الوقـــت نفسه ، استعمال النفط المستعاد . وقد أظهرت الأبحاث المعملية أن الميـــاه العذبة الملوثة بالنفط الخام والتى تمر عبر مرشحات متعددة ماصة للنفط سوف يقل مستوى محتوياتها النفطية أكثر الى أقل من ١ جزء فى المليون . وتعد هـــذه طرقا متخصصة التكلفة نسبيا لازالة الملوثات من المياه .

ويمكن تحسين المياه العذبة الملوثة تحسينا اضافيا بحيث تصل الـــى المستويات الصالحة للشرب ، باستعمال معالجة المياه عن طريق المرشحات الرملية البطيئة أو المرشحات الكربونية المنشطة أو التطهير بالكلور .

٤ - التطبيق في البلدان النامية

على الرغم من أنه قد تكون هناك امكانية معينة طويلة الأجل لاقامة مشاريع لنقل المياه بين البلدان النامية ، الا أن التجارة التى تطورت حتى الآن تشمل بوجه عام البلدان الأوروبية بوصفها بلدان موردة ، والمناطق الجافةالواقعة حول البحر المتوسط أو الخليج الفارسى كأسواق . وكما بينت الخريطة ١ ، تقع معظم مناطق العالم الجافة الساحلية فى بلدان نامية . وهذه المناطق ، خاصة تلك الواقعة على طول خطوط الناقلات الرئيسية ، هى الأسواق الممكنة الكبرى للمياه المنقولة .

(أ) الأسواق الممكنة

كما هو الحال مع أسواق مصادر المياه غير التقليدية الأخرى ، سوف تميل البلدان المشترية الرئيسية للمياه المنقولة الى ان تكون بلدانا تشكو من نقص المياه والدول الجزرية التى تستمد دخلها من مصادر كالصادرات البترولية والسياحة . ومن الواضح ان البلدان الواقعة حول الخليج الفارسى تقع على الطرق الرئيسية للناقلات . وهناك حاجة الى امداد الموانئ الأوروبية من الخليج الفارسى بمتوسط قدره السنوى ٦٢٥ شحنة من شحنات النفط التى تنقلها ناقلات الخام الكبيرة جدا (متوسط ٢٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة لكل ناقلة) . وكل تلك السفن التجارية قادرة على العودة بمياه عذبة ، اما كشحنة جزئية أو كشحنة كاملة (ماير ، ١٩٨٣) . ويبلغ متوسط نقل النفط عن طريق البحر من بلدان الخليج الفارسى الى الولايات المتحدة حوالى ١٦٠ شحنة من شحنات ناقلات الخام الكبيرة جدا (٢٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة) سنويا . وتعتبر السفن التى تفرغ حمولتها فى موانئ خليجان الولايات المتحدة ومنطقة الكاريبى فى وضع مناسب لنقل المياه العذبة اما داخل منطقة الكاريبى أو من موانئ الكاريبى والموانئ الأمريكية الجنوبية الى الخليج الفارسى فى رحلة عودتها .

وتستورد اليابان وبلدان آسيوية أخرى حوالى ١٣٤ مليون طن من النفط سنويا من بلدان للخليج الفارسى . ويمثل هذا ٥٣٦ رحلة لناقلات الخام الكبيرة جدا الى آسيا سنويا . وحوالى ٨٠ فى المائة من تلك السفن فى وضع مؤات بالنسبة لنقل المياه العذبة فى رحلة العودة (ماير ، ١٩٨٣) . وتوجد لدى كثير من البلدان الآسيوية الواقعة على طول طرق الناقلات فوائض ضخمة من المياه العذبة ، خاصة خلال موسم الرياح الموسمية . ويمكن تكييف تلك

المصادر للتصدير الى الخليج الفارسى ، ربما بموجب ترتيبات مقايضة مع مصدر النفط، مادام مشغل الناقلة سوف يعوض عن خسارته لايرادات بديلة .

ويصل النفط الاجمالى المصدر فى ناقلات النفط من بلدان الخليج الفارسى فى الوقت الحاضر الى حوالى ٣٦٠ مليون طن سنويا ، ينقل حوالى ٢٢٠ مليون طن منها فى ناقلات خام كبيرة جدا وناقلات خام بالغة الضخامة وهكذا ، توجد امكانية كبيرة لنقل المياه العذبة عند العودة الى بلدان الخليج الفارسى فى الناقلات الكبيرة . واذا ما استخدمت الناقلات المتخصصة فى نظام امداد سريع بالمياه فى رحلات قصيرة المسافة ، فسوف تكون امكانية الاستيراد أزيد بكثير (مايو، ١٩٨٣) .

(ب) <u>موانئ المياه العذبة</u>

تعتبر الامدادات من المياه العذبة ذات النوعية الجيدة متاحة بالفعل بكميات ضخمة من موانئ عديدة ، بعضها محدد فى الجدول ١٤ . ومعظم تلك الموانئ الممكنة لتصدير المياه العذبة لها مواقع استراتيجية على طول طرق الناقلات الرئيسية (انظر الخريطة ٢) . وتتوافر لدى كثير من موانئ استيراد النفط الرئيسية مياه عذبة فى الميناء أو فى مصدر قريب، وفى بعض المواقع، سوف يكون من الضرورى الانحراف عن المسار لأخذ المياه ، الا انه من الممكن تقليل هذا الانحراف عن المسار الى أدنى حد لتخفيض التكاليف .

الجدول ١٤ـ بعض الموانئ الممكنة لشحن المياه العذبة

١ - النرويج

كفينا - سيرا . يبلغ الانسياب السطحي الى البحر من شبكة المياه التي تزود محطات الطاقة الكهربائية حوالى ٣ ٦٠٠ مليون متر مكعب سنويا . وتتوافر كميات ضخمة من المياه ذات النوعية الممتازة . ويعتبر محتوى الكلوريد أقل من ٣ أجزاء في المليون . ويمكن بناء ميناء محمي في المياه العميقة لكي يسع الناقلات الضخمة ويكون قريبا من طرق الناقلات .

هاردابخيرفيورد . عبارة عن كتلة ضخمة من المياه السطحية ذات النوعية الممتازة . وقد اختبرت و وفق عليها رسميا فيما يتعلق بتجارة المياه . وهي مياه مجمعة في أنابيب يتراوح ارتفاعها بين ٨٠٠ و٩٠٠ متر فوق سطح البحر وتستعمل في محطة الطاقة الكهربائية . وتقدر محتويات الكلوريد بأقل من ٢ جزء في المليون . وتبلغ طاقة التسليم السنوية ٥٠ مليون متر مكعب . وهي مزودة بمرسى محمي لرسو الناقلات التي تصل حمولتها الى حوالى ٣٥٠ ٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . وتتطلب انحرافات طويلة عن طرق الناقلات الرئيسية : ١٤٠ كم للابحار الى هاردابخيرفيورد من البحر .

ماتري . عبارة عن مياه سطحية بنفس خصائص المياه المذكورة أعلاه . وتبلغ طاقة التسليم السنوية ٣٠ مليون متر مكعب . معدل تنفيذ الشحن ٦ ٠٠٠ - ٨ ٠٠٠ متر مكعب في الساعة . وهي مزودة بمراسي محمية للناقلات التي تصل حمولتها الى ٣٥٠ ٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . امكانية الوصول اليها من البحر سهلة . بعض الانحراف عن طرق الناقلات الرئيسية ،

فاكسدال . عبارة عن مياه سطحية ذات نوعية ممتازة . وتبلغ طاقة التسليم السنوية ١٥ مليون متر مكعب . وهي مزودة بمرسى محمي للناقلات التي تصل حمولتها الى ٣٥٠ ٠٠٠ طن . بعض الانحراف عن طرق الناقلات الرئيسية .

٢ - هولندا

روتردام . عبارة عن مياه سطحية عذبة آتية من بريلس مير ، جيدة النوعية

الجـــــدول ١٤ (تابع)

ذات محتوى من الكلوريد يصل فى المتوسط الى ٢٤٠ جزءا في المليون وهى تستعمل فى الرى . توافر للمياه قدره ٣٠ مليون متر مكعب سنويا ، الا انه يمكن اتاحة ما هو أكثر من ذلك للناقلات . الحد الأدنى لمعدل شحن المياه ٢٠٠٠ متر مكعب فى الساعة . يقع بالقرب من أكبر ميناء فى أوروبا وأكبر المحطات النهائية للنفط فيها . وهناك خطط لانشاء مرافق لشحن المياه العذبة تتسع لناقلات تصل حمولتها الى ٣٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . الحد الأقصى للسحب ٦٨ قدما .

٣ - ايرلندا

خليج بانترى . عبارة عن مياه سطحية عذبة جيدة النوعية مصدرها الأنهار والبحيرات . به أحجام كبيرة من المياه تقدر تقديرا أوليا بـ ١٥ مليون متر مكعب سنويا ، يمكن زيادتها الى ٣٠ مليون متر مكعب . ويبلغ محتوى الكلوريد فى المياه حوالى ٢٠ جزءا فى المليون . محطة نفط نهائية محمية ، يمكن ان تستوعب فى الوقت الحاضر ناقلات تصل حمولتها الى ١٢٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . ويمكن اعادة بناء مرسى مصاب بالأضرار لاستيعاب ناقلات تصل حمولتها الى ٣٢٦٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . انحراف قصير عن طرق الناقلات الرئيسية .

مصب نهر شانون . عبارة عن مياه نهرية مناسبة للرى عند المصدر . به مياه تقدر بحوالى ٢٠ مليون متر مكعب سنويا ، ويبلغ متوسط محتوى الكلوريد فيها ٢٠ جزءا فى المليون . وتوجد لمحطة النفط النهائية مرافق رسو لاستيعاب ناقلات تصل حمولتها الى ٢٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . انحراف قصير عن طريق الناقلات الرئيسى .

٤ - المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وايرلندا الشمالية (باور، ١٩٨٤)

ميلفورد هافن (ويلز) . تتوافر مياه جيدة النوعية ، تصل الى معدل شحن قدره ١٠٠٠٠ م^3 / ساعة ، يمكن أن يستوعب ناقلات تصل حمولتها الى ٣٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة لخدمة نقل المياه عند العودة . يقع على طرق الناقلات الرئيسية .

الجـــــدول ١٤ (تابع)

نورثمبرلاند (شمال - شرق انجلترا) . مياه من النوعية الصالحة للشرب يصل المتاح منها الى ٤٥٠٠٠ متر مكعب يوميا ، مع كميات أكبر من المياه الأقل جودة حسب الاقتضاء . يمدها خزان كايلور بالمياه من خلال شبكة توزيع تاين - تيز - وير .

٥ - شمال - غرب أسبانيا

لاكورنا - كيب فينيستيرى . عبارة عن مياه صالحة للشرب من مرافق المياه المحلية . يوجد حوالى ٤ مليون متر مكعب سنويا من المرافق الحالية . يمكن زيادتها الى ٩ مليون متر مكعب . متوسط محتوى الكلوريد فى المياه ١٣ جزءا فى المليون . مزود بمرافق رسو محمية لاستيعاب ناقلات تصل حمولتها الى ٨٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة ، سوف تزاد الى ٢٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . قريب من طرق الناقلات الرئيسية .

كوركوبيون . عبارة عن مياه سطحية خام من نهر خاللاس، يوجد ٣٠ مليون متر مكعب سنويا كفائض مائى من محطة الطاقة الكهربائية . متوسط محتوى الكلوريد فى المياه ١٣ جزءا فى المليون . ميناء محمى جزئيا مع امكانية وصول سهل من البحر وقريب الى ناقلات النفط المارة العائدة من أوروبا الشمالية . الشحن من خطوط الوصل عن طريق نظام طافية الارساء . يمكنه استيعاب الناقلات من أى حجم .

موروس . عبارة عن سطحية جيدة النوعية من الأنهار والبحيرات، يوجد ٣٠ مليون متر مكعب سنويا كفائض مائى من محطة الطاقة الكهربائية . متوسط محتوى الكلوريد فى المياه ٢٠ جزءا فى المليون . ميناء محمى مع امكانية وصول سهل من البحر وقريب من ناقلات النفط المارة العائدة من أوروبا الشمالية . الشحن من خطوط الوصل عن طريق نظام طافية الارساء . يمكنه استيعاب ناقلات نفط من أى حجم .

٦ - الجنوب الفرنسى

مارسيليا / فوس/ لافيرا . عبارة عن مياه سطحية جيدة النوعية من كانال دى بروفاس . فى عام ١٩٨٣ ، سلمت لافيرا المياه عن طريق ناقلة الى

الجـــدول ١٤ (تابع)

تاراغونا باسبانيا (ناقلة حمولتها ... ١٠٠ طن من الحمولة الساكنة حملت ... ٨٣ متر مكعب من المياه فى رحلة سريعة استغرقت ستة أيام، وعادت فارغة)، ويوجد ١٠ مليون متر مكعب سنويا . وتوجد لميناء لافيرا محطات نهائية مناسبة لاستقبال ناقلات صغيرة الى متوسطة تصل حمولتها الى ... ١٠٠ طن من الحمولة الساكنة. ويمكن لفوس، أكبر ميناء للنفط فى البحر المتوسط، ان يتعامل مع الناقلات من أى حجم، الا انه يتعين انشاء خط أنابيب مياه عذبة لشحن المياه (مايو، ١٩٨٣ و وورلد ووتر، تشرين الأول / أكتوبر ١٩٨٣) .

٧ - ايطاليا

تريستا . يمكن ان يتاح للتصدير أكثر من ٢٥ مليون متر مكعب من المياه السطحية النهرية ذات النوعية المقبولة . الميناء الرئيسى لايطاليا، يمكن لمحطة النفط النهائية أن تستقبل أربع ناقلات حمولة ... ١٦٠ طن من الحمولة الساكنة فى وقت واحد، يجرى تفريغ ٣٠ مليون طن من النفط سنويا .

٨ - رى اونيون (فرنسا)

جزيرة فى قناة موزامبيق . يمكن اتاحة مياه سطحية من البحيرات والأنهار . " ريفيير دى ليست" هى أقرب محطة للطاقة الى البحر حيث يمكن ان تتاح للتصدير المياه المارة بالتوربينات . ويتعين توفير خط امداد مائى تحت البحر الى طافية الارساء الموجودة بعيدا عن الشاطئ . ويمكنه ان يستوعب ناقلات نفط من أى حجم . بعض الانحراف عن طريق الناقلات الرئيسى .

٩ - اليابان

جزيرة ياكوشيما . عبارة عن مياه سطحية خام من أنهار عالية الجودة . بها موارد مائية وفيرة : ٢٠ - ٥٠ مليون متر مكعب سنويا . يمكن زيادة الكمية، تحصل على ... ٨ ميلليمتر من الأمطار سنويا . محتويات الكلوريد حوالى ٣ أجزاء فى المليون . مرافق ارساء تعمل

الجـــدول ١٤ (تابع)

بنظام طافية الارساء الموجودة بعيدا عن الشاطئ والموصولة بالمصـــدر عن طريق خط أنابيب تحت البحر . يمكنها استيعاب ناقلات تصـــل حمولتها الى ٣٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . قريبة من طريـــق الناقلات الرئيسى .

١٠ - منطقة الكاريبى الشرقية

دومينيكا . عبارة عن مياه سطحية خام وفيرة ممتازة النوعية مستمدة مـــن نهر لايو . متوسط محتويات الكلوريد بها ١٠ -١٩ جزءا فى المليـــون ؛ ٥٠ مليون متر مكعب سنويا ، يمكن زيادتها بدرجة كبيـــــرة . مرافق للارساء باستخدام الطافية بعيدا عن الشاطئ مع خطوط أنابيب تحـــت البحر لخزان المياه الموجود على الشاطئ ، وتبلغ طاقتها الحالية علـــى الضخ ٣٨٠٠ متر مكعب يوميا دون قطع امدادات المياه المحليـــــة . قريبة من طرق الناقلات الرئيسية .

١١ - باكستـــان

نهر الهندوس . عبارة عن مياه نهرية سطحية خام غير نظيفة . يمكـــن تزويد محطة نهائية أو أكثر لناقلات المياه العذبة بالمياه عن طريـــــق المياه المنسابة الى البحر ، يمكن اتاحة ٥٠ - ١٠٠ مليون متر مكعب من المياه سنويا أو أكثر . قد تحتوى المياه على الطمى الذى سوف يترسب ويتراكم كراسب فى صهاريج الشحنة . نظم ارساء بالطافية بعيدا عـــن الشاطئ وموصولة بخط أنابيب تحت البحر بطول يصل الى حوالى ١٠ كم الى محطة ضخ المياه العذبة من أعلى النهر . يمكن اجراء ترتيبـــات لشحن ناقلات تصل حمولتها الى ٣٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنـــة فى رحلات سريعة الى الخليج العربى . تضع أحوال الطقس خـــــلال موسم الرياح الموسمية ، منتصف يونية / حزيران الى منتصـــــف ديسمبر / كانون الأول ، قيودا على الامدادات المنتظمة .

المصدر : المعلومات الخاصة بكل المواقع، باستثناء المشار اليها على نحو آخر، مأخـــوذة بتصـــرف مـــــن Trygve A. Meyer, "Freshwater ballasting as a means for the conservation of energy and

الجـــدول ١٤ (تابع)

(تتمة المصـــدر)

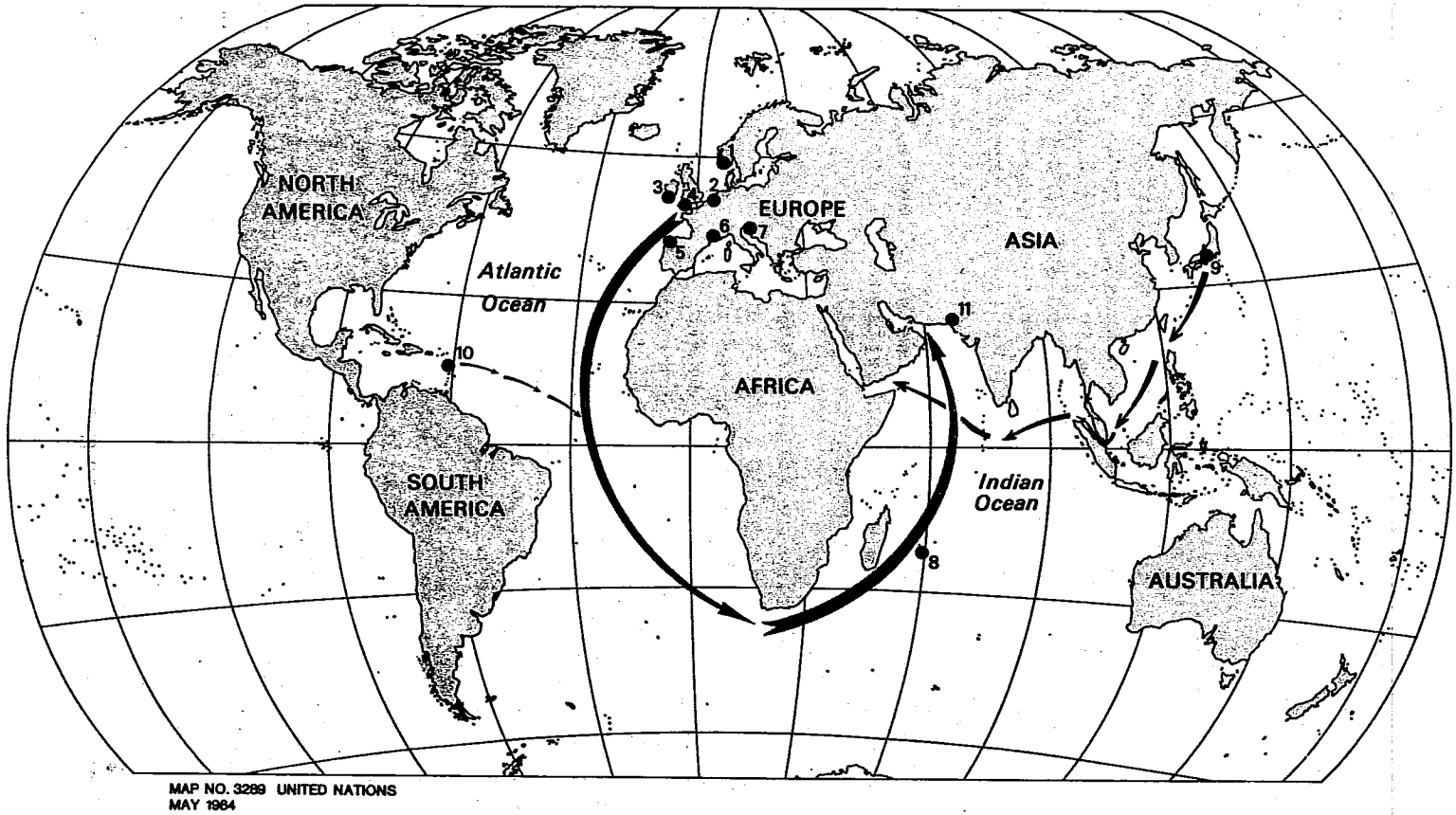
natural resources", in Proceedings of the International Seminar on Fresh Water Tanker Ballasting, Tripoli, 31 May to 1 June 1983 (London, International Maritime Organization, 1983).

ويوجد كثير من المصادر المحددة للمياه جيدة النوعية فى البلدان الصناعية . وفى أوروبا الشمالية ، تتاح المياه من مواقع فى النرويج ، والمملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وايرلندا الشمالية ، وايرلندا ، وهولندا وجمهورية ألمانيا الاتحادية . وبالاضافة الى ذلك ،تتاح امدادات من بعض الموانئ الأوروبية الواقعة على البحر المتوسط مثل لافيرا فى الجنوب الفرنسى . كما توجد فى مقاطعة غاليسيا فى شمالى اسبانيا كميات ضخمة من المياه المتاحة للشحن (مايو، ١٩٨٣) . وفى آسيا ، توجد فى جزيرة ياكوشيما (اليابان) كميات ضخمة من المياه التى يمكن نقلها بناقلات النفط العائدة الى منطقة الخليج الفارسى (الكياما ، ١٩٨٣) ، وفى نصف الكرة الغربى تتاح امدادات مياه الشحن من المناطق الواقعة على طول سواحل كندا الشرقية والغربية ، وكذلك من بعض مصبات الأنهار فى الولايات المتحدة .

وقد استحدثت خطط لامدادات المياه المنقولة بالناقلات فى العديد من هذه البلدان المتقدمة . ويمكن تكييف قدرة الموانئ المائية على الامداد بالمياه وفقا للطلب عليها وقدرات النقل . وقد وجد ، بوجه عام ، أن عمليات النقل السريعة للمياه على مسافات قصيرة باستخدام ناقلات صغيرة الحجم الى متوسطة الحجم تعد اقتصادية . وعلى سبيل المثال ، فقد تم تأجير ناقلة حمولتها ١٠٠ ٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة (حملت ٨٣ ٠٠٠ متر مكعب من المياه) فى عام ١٩٨٣ لنقل المياه فى رحلات سريعة بين الميناءين الواقعين على البحر المتوسط : لافيرا فى الجنوب الفرنسى ، وتاراغونا فى شرقى اسبانيا . وقد وقع العقد فى منتصف عام ١٩٨٣ لفترة سنة واحدة أو طالما استمر الجفاف فى ذلك الجزء من أسبانيا (وورلد ووتر، تشرين الأول / أكتوبر ١٩٨٣) . وقد اوقفت العمليات فى منتصف تشرين الثانى / نوفمبر ١٩٨٣ عندما انتهى الجفاف، بعد ان كان قد تم شحن ١ر٣ مليون متر مكعب على مدى فترة استمرت ثلاثة أشهر فى ناقلات أتمت رحلة الذهاب والعودة فى ستة أيام . وقد وصلت تكاليف المياه المرسلة الى المشترين الأسبان الى حوالى ٢ر٥ دولار للمتر المكعب : ٥ر٠ دولار للمياه و ٢ر٠٠ دولار للنقل والرسوم الأخرى . وكانت الهيئات الفرنسية فى Société du Canal de Provence و Port autonome de Marseille تبحث عن أسواق جديدة فى أوائل عام ١٩٨٣ للخدمة السريعة داخل مدى يصل الى ٤ ٦٢٥ كم (٢ ٥٠٠ ميل بحرى) اعتبرته هدفا واقعيا للرحلات السريعة (باور، ١٩٨٤) . وكانت قبرص، ومالطا وموريتانيا من بين الأسواق التى كانت تدرسها .

كما أن هيئة ميناء روتردام فى هولندا قد منحت حقوق تصدير لمؤسسة خاصة لنقل المياه من بريلزى مير الى موانئ البحر المتوسط والبحر الأحمر وكذلك

الخريطة رقم ٢ - الطرق الممكن استخدامها لنقل المياه



المصدر : مأخوذة من تراينغيف أ . ماير " نقل المياه العذبة بالصابورة كوسيلة للمحافظة على الطاقة والموارد الطبيعية " ، الوارد في " أعمال الندوة الدولية المعنية بنقل المياه العذبة بالصابورة " ، طرابلس ، ليبيا ، من ٣١ ايار/مايو الى ١ حزيران/يونيه ١٩٨٣ (لندن ، المنظمة الدولية للملاحة البحرية ١٩٨٣).

ملحوظة : الأرقام تشير الى مواقع ذكرت في الجدول ١٤ .

الى الخليج الفارسى (هولمان ، ١٩٨٣) ، وفى النرويج ، يمكن ان تتاح للشحن كميات وفيرة من المياه عالية الجودة تصل الى حوالى ٦٠٠٠ الى ١٢٠٠٠ متر مكعب فى الساعة للشحن فى ناقلات الخام الكبيرة جدا وناقلات الخام بالغة الضخامة خلال مهلة قصيرة (ماير ، ١٩٨٣) .

بيد انه نظرا لأن المسافات تصبح أطول والسفن تصبح أكبر ، فان نقل المياه فى صابورات السفن عند العودة يبدو أكثر اقتصادا من الخدمة المكوكية السريعة . وقد أشارت هيئة الميناء فى ميلفورد هافن (ويلز) الى ان فى حوزتها ما يصل الى ١٠٠٠٠ متر مكعب من المياه فى الساعة للنقل فى رحلات العودة فى سفن تصل حمولتها الى ٣٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . وبالمثل ، تتاح كميات تصل الى ٤٥٠٠٠ متر مكعب يوميا من المياه الصالحة للشرب للتصدير من هيئة مياه نورثمبرلاند (شمال - شرق انجلترا) ، مع كميات أكبر من المياه الأقل جودة والتى يمكن استعمالها فى الزراعة أو الصناعة) . وهذه المياه يوفرها خزان كايلد المتسع وشبكة أنفاقه التى تخدم وديان نهر تاين تيز - وير (باور ، ١٩٨٤) . ويمكن شحن المياه العذبة فى رحلات العودة فى صهاريج صابورة نظيفة تبلغ نسبة ٣٠ فى المائة من سعة الناقلة ، الأمر الذى من شأنه ان يمكن الناقلات متوسطة الحجم من العودة عبر قناة السويس .

وفى اليابان ، يمكن شحن المياه العذبة اما فى موانئ التفريغ مثل يوكوهاما أو كيبرى فى جزيرة ياكوشيما ، التى تقع على طول طرق الناقلات الرئيسية . وسيكون نظام نقل المياه العذبة عند العودة الطريقة الأكثر اقتصادا بسبب بعد المسافة بين اليابان والخليج الفارسى (اكيياما ، ١٩٨٣) .

اما الموانئ فى البلدان النامية فلم تكيف حتى الآن على نطاق واسع لشحن المياه . وقد منحت حكومتا دومينيكا فى شرقى الكاريبى والفلبين حقوق تصدير للمؤسسات خاصة . وتقع دومينيكا قرب طرق الناقلات وقد أتاحت امداداتها الضخمة من المياه جيدة النوعية للشحن . وتتوافر مرافق لطافية الارساء بعيدا عن الشاطئ فى المياه العميقة مع خطوط أنابيب تحت البحر تمتد الى خزانات المياه على الشاطئ . ويمكن اتاحة مياه وفيرة جيدة النوعية من نهر لايو بكميات تتجاوز ٥٠ مليون متر مكعب سنويا للشحن الى موانئ الكاريبى أو الشرق الأوسط . وفى أوائل عام ١٩٨٤ كان يجرى شحن صادرات من المياه من دومينيكا الى آروبا (جزر الأنتيل الهولندية) . وفى الفلبين ، منحت الحكومة حق تصدير المياه من ذلك البلد فى عام ١٩٨٢ . وقد حددت طبقة جوفية رئيسية حاملة للمياه تقع قرب خليج باتانغاس فى جزيرة لوزون على انها مصدر التصدير الأولى المحتمل . ويمكن شحن ناقلات الخام الكبيرة جدا من رصيف كالتيكس القائم ولن تستتبع الرحلة غير انحراف بسيط عن طرق الناقلات

الرئيسية بين اليابان والخليج الفارسى (هولمان، ١٩٨٣) .

وعلاوة على ذلك، يمكن اتاحة كميات كبيرة من المياه سنويا من جزيرة رى أونيون فى قناة موزامبيق . وسوف يتطلب هذا الخط امداد بالمياه تحت البحر يمتد الى طافية بحرية بعيدا عن الشاطئ . ويمكنها استيعاب ناقلات من أى حجم، الا انه سيكون من الضرورى الانحراف بعض الشئ عن طرق الناقلات الرئيسية .

وربما تكون هناك امكانية اضافية لمصادر المياه العذبة فى البلدان النامية تتمثل فى مصبات الأنهار الكبرى فى العالم . وعلى سبيل المثال، يمكن لأنهار الأمازون، وأورينوكو وبليت فى أمريكا الجنوبية ان تقدم كميات تكاد تكون غير محدودة من المياه العذبة . وفى معظم الحالات، سوف تكون هناك حاجة الى الرسو بعيدا عن الشاطئ وفى بعض الحالات، الى خطوط أنابيب تحت الماء . على أن المياه العذبة من الأمازون تمتد مسافة أكثر من ٢٠٠ كم من الساحل . وفى هذه الحالة، قد تتمكن احدى الناقلات من أن تضخ المياه بشكل مباشر . وطبيعى ان معظم هذه المياه سوف يتطلب معالجة واسعة النطاق اذا كانت سوف تستعمل فى الشرب . كما سيكون من الضرورى الانحراف بعض الشئ عن الطرق الرئيسية بين أوروبا / أمريكا الشمالية والخليج الفارسى .

وتتمتع أنهار كبرى أخرى فى أفريقيا، مثل الكونغو والزامبيزى، والهندوس وبراهمابوترا، وايراوادى والميكونغ والغانج فى آسيا بامدادات فائضة ضخمة، خاصة فى أوقات الرياح الموسمية . ويمكن تكييف هذه المياه بسهولة للنقل الى المناطق الى تعانى نقصا فى المياه . فللاستفادة من المياه من نهر الهندوس (باكستان) على سبيل المثال، يمكن عمل ترتيبات لشحن ناقلات تصل حمولتها الى ٣٥٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة فى رحلات مكوكية سريعة الى الخليج الفارسى . وقد تم بالفعل توصيل نظم الرسو التى تستخدم طافية الارساء الموجودة بعيدا عن الشاطئ بخط أنابيب تحت البحر على بعد ١٠ كم الى محطة ضخ للمياه العذبة فى أعلى النهر . ويمكن اتاحة ما بين ٥٠ و١٠٠ مليون متر مكعب سنويا من هذا المصدر وحده . والمشكلة الرئيسية مع كل الأنهار الكبرى تقريبا هى شحنة الرواسب الثقيلة التى سوف تتطلب معالجة لازالة المواد العالقة .

(ج) مزايا نقل المياه بالناقلات

يتيح نقل المياه الى منطقة تعانى نقصا فى المياه عن طريق ناقلات كبيرة عددا من المزايا، يرد بعضها أدناه .

٠١٠ التوافر

تجرى العمليات الخاصة بالناقلات فى ظروف السوق الحرة ، وتعد الناقلات فى الوقت الحاضر متاحة بوجه عام ، ليس للتأجير فقط وانما للشراء كذلك . واذا كانت المنطقة التى تعانى نقصا فى المياه تقع على طول طرق الناقلات الدولية ، لذلك فان وضع الترتيبات الخاصة بتوفير طاقة للنقل عند العودة يعد ممكنا تماما .

٠٢٠ المقايضة

اذا كان بوسع مستورد للنفط أن يقدم مياها عذبة لرحلة عودة الناقلة الى بلد مصدر للنفط يعانى نقصا فى المياه ، فقد يكون بالامكان اجراء ترتيب للمقايضة أو الخصم من سعر النفط ، الأمر الذى سوف يكون مفيدا لكلا البلدين .

وهناك حاجة الى بعض الترتيبات المؤسسية بين موردى النفط / الحاصلين عليه ، ومشغلى السفن والمصالح الخاصة والحكومية الاخرى للسماح بنقل النفط فيما وراء البحار الى جانب نقل المياه العذبة بالناقلات . وضمن الاطار القائم لنظم استئجار الناقلات لنقل النفط (استئجار الناقلات لرحلة واحدة أو لرحلات متعاقبة ، وعقود استئجار السفن والاستئجارات الموقوتة) ، من الممكن تكييف أحكام الاستئجار بحيث تلبى الاحتياجات من الامدادات المنتظمة من المياه العذبة . ويمكن التفاوض على ترتيبات تعاقدية اذا ما كانت السوق فى حاجة الى ذلك .

٠٣٠ الحماية البيئية

اذا نفذ حمل المياه العذبة فى الصابورة على اساس منتظم ، فسوف يكون هذا نافعا من الزاوية البيئية ، حيث سيكون من الممكن بدرجة كبيرة الحد من الممارسة غير المستصوبة والتى تتمثل فى افراغ حمولة الصابورة القذرة (مياه البحر) فى البحر عند المحطات النهائية لشحن النفط فى البلدان المصدرة له . ويمكن المحافظة على الطاقة عن طريق تقليل عمليات تنظيف الصهاريج واستعادة النفط من المياه التى تم تفريغها من الصابورة .

٠٤٠ فائض الناقلات الممكن

مع تنفيذ قرار برنامج رصد التلوث البحرى ٧٣ / ٧٨ فى تشرين الاول / أكتوبر ١٩٨٣ ، سوف يعتبر حوالى ثلث اسطول العالم غير صالح لحمل النفط . وسوف يجد مشغلون كثيرون

للسفن انه من غير الاقتصادى الى حد بعيد استثمار اموال فى تحسين الناقلات تقنيا كيما تتفق مع المتطلبات الجديدة للمنظمة الدولية للملاحة البحرية . وهكذا ، قد تصبح ناقلات يصل حمولتها الكلية الى حوالى ١٠٠ مليون طن من الحمولة الساكنة زائدة عن الحاجة فى السنوات القادمة . ويتمثل أحد البدائل فى تشغيل مثل هذه الناقلات فى نقل المياه .

وتوجد تكنولوجيا لادخال تعديلات طفيفة على السفن كيما تصبح صالحة لحمل المياه العذبة . وسوف يفيد ذلك البلدان المانحة للمياه والبلدان المتلقية لها ومشغلى الناقلات . وعلاوة على ذلك ، فقد يساهم فى المحافظة على الطاقة ، والايكولوجيا والبيئية البحرية ، ويوجد مزيدا من العمالة ويشجع النمو الاقتصادى لما فيه فائدة المستهلكين .

وقد تنضم مؤسسات مالية لها مصالح هامة فى الاستعمال الاكثر انتاجا للناقلات غير العاملة حاليا الى حكومات كل من البلدان المتقدمة النمو والبلدان النامية لبحث مختلف نماذج مشاريع نقل المياه القادرة على البقاء . ويمكن لمنظومة مؤسسات الامم المتحدة ان تعمل كعامل حافز فى هذا المسعى بتحديد طرق وبدء مشاريع لتقديم المياه الى البلدان النامية التى تعانى نقصا فى المياه .

(د) مثالب نقل المياه بالناقلات

على الرغم من ان نقل المياه بالناقلات يتيح بعض الفرص الفريدة لبعض المناطق التى تعانى نقصا فى المياه ، فان هناك ايضا مثالب ممكنة ، تجرى مناقشة بعرضها ادناه .

'١' العوّل

يضع استعمال نقل المياه لمسافات طويلة المستورد فى وضع يعتمد فيه على ظروف كثيرة خارج سيطرته . وهذه الظروف تشمل : حالة الطقس والحالة الاقتصادية فى البلد المصدر والعلاقات السياسية معه ، الوضع المادى والمالى لشركات الملاحة وسفنها ، اسواق البترول والناقلات العالمية ، واحوال الطقس والظروف السياسية على طول طرق الناقلات . وذلك هو السبب فى أن معظم المشاريع

التي تقترح حاليا تركز على أن المياه المنقولة سوف تكون مصدرا تكميليا للامدادات المتواجدة ، يستعمل في الزراعة أو اعادة الشحن الاصطناعية . وقد يكون الامداد بالناقلات بوصفه مصدرا من مصدرين أو مصادر عديدة ، خيارا جذابا لبعض البلدان التي تعاني من حالات نقص المياه قصيرة الاجل أو ذات أجل اطول (باور ، ١٩٨٤) .

'٢' مرافق الموانئ والمحطات النهائية

تعد ناقلات الخام الكبيرة جدا وناقلات الخام بالغة الضخامة سفنا كبيرة ، تتطلب مرافق جيدة في الموانئ للتحرك والرسو بأمان . وهناك حاجة الى قنوات ذات اعماق تزيد عن ٢٥ مترا للسماح للناقلات المحملة بالكامل من الاقتراب من مرافق التفريغ . وبالاضافة الى ذلك ، توجد حاجة الى مضخات ومرافق تخزين ضخمة حتى يمكن تفريغ الناقلات بسرعة لتقليل وقت الاستدارة (والنفقات) في الميناء الى ادنى حد . كما قد تكون هناك حاجة الى مرافق لمعالجة ايه المياه التي تكون في حاجة اليها .

وقد يعني هذا كله انه يتعين ايجاد استثمارات رأسمالية كبيرة تتيح الفرصة لاستعمال الناقلات في نقل المياه الى أحد البلدان . وقد لا يكون من الممكن الاستفادة من تلك المرافق على نحو فعال بالنسبة لشحنات اخرى بالقدر اللازم لتوزيع التكاليف . وفي المواقع التي لها طلبات صغيرة فيما يتعلق بطاقة الناقلات يتعين انشاء مرافق تخزين ضخمة ستكون ضرورية للاحتفاظ بمياه كافية للامداد خلال احدى حالات الطوارئ . وقد تحدث هذه الحالات اذا انحرفت الناقلة أو اصيبت بأضرار . وتتطلب زيادة التخزين نفقات كبيرة .

'٣' القطع الاجنبي

نظرا لان نقل المياه سوف يتطلب دائما تقريبا شراء المياه والخدمات الملاحية من بلدان وشركات خارجية ، فسوف يستلزم حاجة متصلة الى القطع الاجنبي وانقاقة . ان طابع المعاملات يجعل من السهل للغاية على المصدر والشاحن ان يوقفا العملية في حالة عدم تقديم المدفوعات حال طلبها .

وفيما يتعلق بالبلدان المصدرة للنفط ، قد لا يمثل القطع الاجنبي مشكلة خطيرة حيث أنه اما ان تكون النقود متاحة أو ان بالامكان اجراء ترتيبات مقايضة ، بين أن الحصول على القطع الاجنبي قد يكون صعبا فيما يتعلق ببعض البلدان النامية .

٥ - الاعتبارات الاقتصادية

سوف تتوقف تكاليف الوحدة المتكبدة فى مشروع لنقل المياه على نوع نظام النقل ونطاق العمليات المطلوبين . وسوف يتوقف الاخير على الطلب السنوى الكلى على المياه ، مع مراعاة التغيرات الموسمية ، والمسافة من مكان المنشأ الى جهة الوصول .

وسوف تتوقف متطلبات طاقة النقل الكلية على الطلب المتبقى على المياه بعد استعمال المصادر المتاحة . وسوف تستند جدولة سفن النقل (الناقلات أو زوارق وصنادل القطر) فى مشروع ما على الطلبات ، وسعة السفن والاستعمال الأمثل لمرافق البنية الأساسية البحرية فى المحطات النهائية للشحن والتفريغ .

ولاسباب خاصة بالميزانية ، تقدر تكاليف الوحدة لنقل المياه المحمولة فى السفن البحرية على اساس سنوى . ويتم التوصل الى تكلفة الوحدة بقسمة تكاليف التشغيل السنوية الكلية (استهلاك رأس المال على السفن ، ورسوم الميناء ، وتكاليف النقل ، الخ) على الحجم الكلى للمياه المنقولة . وتستعرض ادناه وتلخص فى الجدول ١٥ تكاليف عدد من مشاريع نقل المياه ، لكل من الناقلات المخصصة لنقل المياه وعمليات النقل عند العودة . على أن تلك التكاليف لم تراع تكاليف المياه عند المصدر وتكاليف التخزين عند جهة الوصول .

الجدول ١٥ - موجز تكاليف نقل المياه المنقولة بالناقلات وزوارق وصنادل القطر

مشروع نقل المياه	نوع السفن	التكاليف التقريبية (دولار /م٣)	ملاحظات
الخدمة السريعة والصغيرة فيما بين الجزر المحيطية	زورق وصندلان للقطر (أ)		
	(سعة ... ١٠ طن من الحمولة الساكنة)	١ر٠٠ (ب)	رحلة دائرية طولها ١٣٥ كم
	ناقلة حمولتها ... ٥ طن من الحمولة الساكنة	٠ر٩٥ (ب)	رحلة دائرية طولها ١٣٥ كم
	زورق قطر وزوارق بخارية (طاقة ... ١٠ طن من الحمولة الساكنة) (ج)	٤ر٢٥	رحلة دائرية طولها ٢٠٠ كم
	ناقلة (... ٤٠ طن من الحمولة الساكنة)	٠ر٢٠٠ (د) - ٣ر٠٠	رحلة دائرية طولها ٢ر٠٠٠كم
	ناقلات صغيرة (هـ)	١ر٠٠ - ١ر٥٠	
الخدمة السريعة الضخمة لنقل المياه العذبة (أ)			رحلة دائرية طولها
	ناقلات خام كبيرة جدا: ... ١٠٠ طن من الحمولة الساكنة (أ)	٢ر٢٥	١ر٨٥٠ كم
		٣ر٠٠	٣ر٧٠٠ كم
		٥ر٥٠	١١ر١٠٠ كم
	ناقلات خام بالغة الضخامة: ... ٣٠٠ طن من الحمولة الساكنة (أ)	١ر٢٠	١ر٨٥٠ كم
		١ر٨٠	٥ر٥٥٠ كم
		٣ر٠٠	١١ر١١٠ كم
عمليات النقل الضخمة لنقل المياه العذبة عند العودة	ناقلات خام كبيرة جدا/ناقلات خام بالغة الضخامة: ... ٢٥٠ الى ... ٣٥٠ طن من الحمولة الساكنة (أ)	١ر١٠	ياكوشيما - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٣٠
		١ر٥٠	دومينيكا - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٦٠
		١ر٦٠	روتردام - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٥٠
		١ر٦٠	دومينيكا - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٧٠
		١ر٨٥	ياكوشيما - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٧٠
		٢ر٠٠	روتردام - الخليج الفارسي بالمقياس العالمي ٧٠

الحواشي:

المقياس العالمي . المقياس العالمي هو مقياس معدل الشحن الاسمي العالمي المستعمل على نطاق واسع كمرجع فيما يتعلق بتأجير الناقلات . وهو مجموعة من القيم القياسية، تراجع مرتين في السنة، ويسعر على اساسها كل طن من النفط . ومعدل المقياس العالمي الاساسي هو ١٠٠ في المائة وتحدد الاستئجارات كنسبة مئوية من رقم المقياس العالمي وذلك استنادا الى المنشأ وجهة الوصول، ونوع السفينة، والسرعة، والحمولة، واستهلاك مستودع الوقود، ومعدل الاستئجار الثابت . وهكذا، فان الاستشهاد بـ "المقياس العالمي ١٠٠" سوف يعني نقل الشحنة بسعر المقياس العالمي الكامل، "المقياس العالمي ٦٠" بنسبة ٦٠ في المائة من السعر الكامل و "المقياس العالمي ١٣٠" أعلى بنسبة ٣٠ في المائة .

أ) التقديرات تستند الى الدراسات المشار اليها في القسم ٥ .

ب) التكاليف تستند الى التكاليف التشغيلية للاسطول في عام ١٩٨٠ . واستهلاك الدين والتكاليف التشغيلية للمحطات النهائية .

ج) التكاليف الفعلية، ١٩٨٠-١٩٨١ : بورتوريكو الى سانت توماس، فيرجين ايلاندز التابعة للولايات المتحدة .

الجـــــدول ١٥ (تابع)

تتمة الحواشـــي :

د) التكاليف المقدرة لنقل المياه بالناقلات من دومينيكا الى أروبـــــا ، أوائل ١٩٨٤ .

هـ) تكاليف نقل المياه من بر اليونان الى الجزر الصغيرة البعيدة عـــن الشاطئ مثل هيدر وسبيتسيسى قدمها أ . أ . ويليانيس (١٩٨٤) .

(أ) مشاريع نقل المياه فيما بين الجزر

فى عام ١٩٨٠ ، اختيرت حالة لدراسة تتعلق بمشروع صغير النطاق لنقل المياه بين الجزر المحيطية التى تبعد احداها عن الاخرى مسافة ٦٧كم . وقد قدرت الكمية التى تتطلب النقل بحوالى ١٣٦٠٠ متر مكعب من المياه يوميا . وبسبب القيود التى تحكم الرسو فى ميناء الشحن ، اختيرت للدراسة ناقلة صغيرة تبلغ طاقة حملها حوالى ٥٠٠٠ متر مكعب . وبالاضافة الى ذلك ، درس ايضا نظام زورق واحد وصندلين للقطر تبلغ طاقة حملها الكلية حوالى ١٠٠٠٠ متر مكعب وقد قدرت تكاليف الوحدة من المياه المنقولة بما يلى :

(أ) ١ دولار/م^3 (٣٫٧٨ دولار/١٠٠٠ غالون) لعمليات زوارق وصنادل القطر المكوكية السريعة ؛

(ب) ٠٫٩٥ دولار/م^3 (٣٫٦٠ دولار/١٠٠٠ غالون) لعمليات الناقلات المكوكية السريعة (برادانوفيتش، ١٩٨٠)

وقد وضعت التكاليف التشغيلية السنوية المقدرة لعمليات زوارق وصنادل القطر المكوكية السريعة ونظام الناقلات المكوكى على أساس تكاليف عام ١٩٨٠ فيما يتعلق بما يلى :

(أ) التكاليف التشغيلية الثابتة . الطاقم ، المستودعات والامدادات ، الصيانة والاصلاحات ، رسوم التأمين ، استهلاك رأس المال بنسبة ١٠ فى المائة (مياه اقتصادية قوامها ١٢ سنة لزورق القطر ، وثمانى سنوات للناقلة ، و١٢ و٢٠ سنة لصندل القطر) ؛

(ب) التكاليف المتغيرة - رسوم الميناء ، الوقود والتشحيم ؛

(ج) التكاليف التجارية - العمولات ، المستحقات ، اتعاب الادارة .

غير ان هناك حاجة الى ممارسة الحذر فى استعمال التكاليف المقدرة من الدراسات . وتعتبر تكاليف تشغيل الزوارق والناقلات فيما بين بويرتو ريكو وسانت توماس فى فيرجين ايلاندز التابعة للولايات المتحدة مدعمة تماما بالوثائق بدرجة معقولة فيما يتعلق بالسنوات النهائية للتشغيل من عام ١٩٨٠ الى عام ١٩٨١ وهى أكثر تكلفة بدرجة كبيرة من التكاليف المشار اليها اعلاه . وفيما يتعلق بعملية بويرتوريكو - سانت توماس، كان يجرى نقل حوالى ٤٠٠٠٠م^3/شهريا (١٠٫٥ مليون غالون شهريا) من المياه . وكانت مسافة النقل حوالى ١٠٠ كم (٦٠ ميلا) وكان الأمر يحتاج الى ما يقرب من يوم لتفريغ صندل فى سانت توماس. وكانت المياه تشترى بحوالى ٠٫٤٠ دولار/م^3 (١٫٥٠ دولار/١٠٠٠ غالون) فى بويرتو ريكو، تسلمها ناقلات وصنادل صغيرة تتراوح سعاتها بين ٣٨٠٠م^3 و١١٥٠٠م^3 (بين ١٫٣ مليون غالون) بتكلفة تصل الى حوالى ٤ دولار/م^3

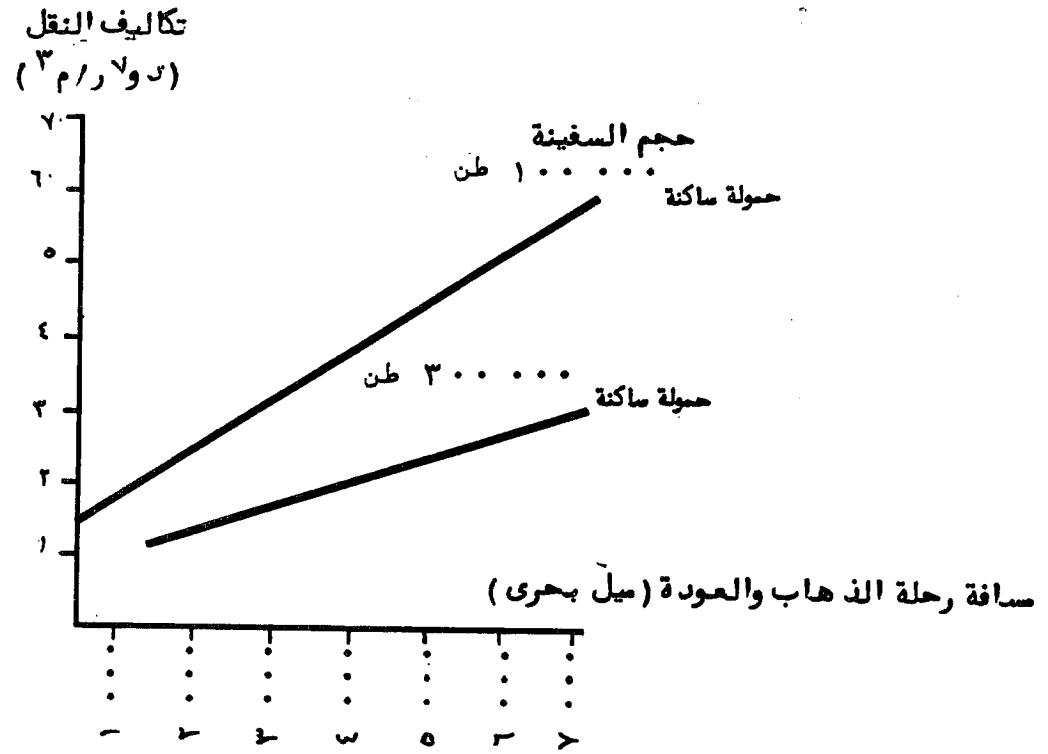
(١٥ر١٥ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) . وكانت هذه التكاليف تتكبد بموجب عقود طويلة الاجل مع ناقل المياه التجارية الخاص . وقد تجاوزت التكلفة الكلية البالغة ٤ر٦٥ د ولار/م^3 (١٧ر٧٠ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) التكلفة المحلية لمياه البحر الخالية من الملوحة ، والتى كانت تصل الى حوالى ٢ر٨٠ د ولار/م^3 (١٠ر٥٠ د ولار / ١٠٠٠ غالون) خلال تلك الفترة ، لكن المرافق الاضافية لازالة ملوحة المياه لانتاج المياه المطلوبة لم تستكمل حتى عام ١٩٨١ .

وفى عام ١٩٨١ ، دخلت حكومة دومينيكا ، التى لديها مصادر وفيرة من المياه العذبة ، فى اتفاق طويل الاجل مع مؤسسة خاصة للملاحة كيما تبيع لها حقوق جمع المياه وشحنها الى مناطق اخرى فى منطقة الكاريبى . وقد دعا الاتفاق الى تقديم مدفوعات الى الحكومة تبلغ ٥٠ر٠ د ولار/م^3 (٩٠ر١ د ولار/ ١٠٠٠ غالون) من المياه ، وترتفع خلال فترة ١٥ سنة الى ٢ د ولار/م^3 (٦٠ر٧د ولار/ ١٠٠٠غالون) وسوف تكون المؤسسة مسؤولة ماليا عن انشاء وتشغيل كل البنية الأساسية اللازمة المستخدمة فى جمع وتحويل المياه الى الناقلات . وبحلول أوائل عام ١٩٨٤ لم تكن هذه العملية قد بدأت بعد . على ان حكومة دومينيكا كانت تبيع المياه العذبة فى أوائل عام ١٩٨٤ مقابل سعر يصل الى حوالى ٤٠ر١ د ولار/م^3 (٣٠ ره د ولار/ ١٠٠٠ غالون) لتسليمة الى أوربا . ويجرى نقل المياه الى أوربا فى ناقلة صغيرة تبلغ حمولتها حوالى ٤٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة . تقدر تكلفة النقل على نحو تقريبى بحوالى ٢ الى ٣ د ولارات/م^3 (٥٠ر٧ د ولارات الى ٩٠ر١١ د ولارات/ ١٠٠٠ غالون) كما كانت تجرى دراسات بشأن الجدوى الاقتصادية لبيع مياه تنقل الى الشرق الأوسط فى الصابورات فى رحلة عوده ناقلات النفط التى تسلم النفط الى معامل التكرير فى منطقة الكاريبى .

(ب) الخدمة المكوكية كبيرة النطاق لنقل المياه العذبة

قام ماير (١٩٨٣) بتقدير تكاليف الخدمة المكوكية كبيرة النطاق لنقل المياه العذبة . وقد وجد أن استعمال الناقلات فى خدمة مكوكية فيما بين المحطات النهائية لشحن وتفريغ المياه يعتبر عملية عالية التكلفة نسبيا بالمقارنة بالقيمة السلعية المنخفضة للمياه .

يعد حجم السفينة ومسافة رحلة الذهاب والعودة أهم البارامترات التى تؤثر فى تكاليف النقل لعملية خدمة مكوكية . فكلما كانت السفينة أكبر ومسافة رحلة الذهاب والعودة أقصر ، كانت تكلفة النقل أقل . ويشير الشكل السادس الى تكلفة النقل لكل متر مكعب بناقلات تبلغ طاقة حملها ١٠٠٠٠٠ و ٣٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة خلال رحلة الذهاب والعودة لكل منها (المسافة بالاميال البحرية) . وقد اعطيت التكاليف النموذجية فى الجدول ١٥ اعلاه .



الشكل رقم ٦ – تكاليف النقل بواسطة الخدمة المكوكية ، حسب حجم السفينة ومسافة رحلة الذهاب والعودة

المصدر: مأخوذ بتصرف من ت . أ . ماير " نقل المياه العذبة بالصابورة كوسلة للمحافظة على الطاقة والموارد الطبيعية "، في مداولات الحلقة الدراسية الدولية حول نقل المياه العذبة بالصابورة ، طرابلس ليبيا ، ٣١ أيار/مايو – ١ حزيران/يونيه ١٩٨٣ (لندن ، المنظمة الدولية للملاحة البحرية ، ١٩٨٣) ص ١٢ .

وترى هيئات الموانئ الفرنسية فى لاڤيرا وفوس ان نقل المياه فى ناقلات متوسطة الحجم الى المستهلكين الذين يعانون نقصا فى المياه داخل مسافة ٤٦٢٥ر كم (٢٥٠٠ ميل بحرى) سوف يكون هدفا واقعيا لخدمة مكوكية . وهى مقتنعة بأنه ضمن هذا المدى يمكن لتكاليف نقل المياه بالناقلات ان تقارن بشكل مؤات مع تكاليف ازالة ملوحة المياه بالطرق التقليدية وبأنه لا يوجد نقص فى السفن ، حيث ان نصف اسطول الناقلات العالمى بلاعمل (باور، ١٩٨٤) .

(ج) النقل واسع النطاق للمياه العذبة اثناء رحلة العودة

هناك ، أساسا ، ثلاثة بدائل فى اطار ترتيبات النقل هذه : استعمال صهاريج الصابورة المعزولة ، أو استعمال صهاريج الصابورة النظيفة ، أو نقل المياه اثناء رحلة العودة .

وتعتبر نظم الصابورة المعزولة والنظيفة ، على نحو ما نوقشت فى القسم ٣ اعلاه ، واعدة للغاية ، شرط توخى الدقة فى تنظيف الصهاريج ، وتفتيشها وتوثيقها لغرض نقل المياه العذبة . وعلى اعتبار أن ما يصل الى نسبة ٣٠ فى المائة من طاقة حمل الناقلة يمكن ان يخصص لملء الصابورة بالمياه العذبة ، فان بوسع ناقلات الخام الكبيرة جدا وناقلات الخام بالغة الضخامة ان تقدم مساهمة كبيرة الى المجتمعات الساحلية أو الجزرية فى المناطق الجافة . ويمكن لتلك السفن ان تنقل مابين ٢٥٠٠٠ و ٨٠٠٠٠ م^3 من المياه العذبة اثناء رحلات عودتها ، تبعا لحجم الناقلة .

وسوف يراعى فى تكلفة النقل فيما يتعلق بمشروع النقل اثناء عودة الناقلة أية تكلفة تتعلق بالانحراف عن طريق التجارة العادى وتبديد الوقت فى الشحن والتفريغ . ويقدم هولمان (١٩٨٣) مثالا للتكاليف التى سوف تتكبد من الانحراف عن طريق الناقلات الممتد من بوكوهاما الى راس تنوره . ويفترض أن توافق ناقلة تبلغ حمولتها ٢٨٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة على نقل شحنة من المياه العذبة تصل الى ١٥٠٠٠٠ م^3 من الفيليبين لتفريغها فى البحرين . وسوف يعنى هذا ان جزءا من مياه الصابورة سوف يحمل فى صهاريج صابورة نظيفة ويحمل جزء آخر فى الصهاريج المستخدمة للنفط . ويبلغ متوسط استهلاك السفينة التى يصل معدل سرعتها الى ١٢ عقدة ١٠٠ طن انكليزى من الوقود فى اليوم . ويحتاج الأمر الى ٩ر٥ ايام اضافية للانحراف الى خليج باتانغاس، ولاغراض الشحن ، والوقت الاضافى فى البحر، والتفريغ وتخصيص نصف يوم لحالات الطوارئ . ويبلغ حجم الوقود الاضافى المستهلك ٤٩٠ طنا .

ويقدر هولمان ان التكلفة اليومية لمثل هذه السفينة هى ٤٠٠٠ دولار فى اليوم ، بما يساوى المقياس العالمى ٢٤ - ٢٥ . وهذا هو المعدل الذى يعتقد

هولمان وزملاؤه انه سوف يسمح لاصحاب الناقلات بتجنب خروج الناقلات من الخدمة الفعلية في سوق تحقق فائضا . وباستخدام تكلفة وقود قدرها ١٨٠ د ولار للطن سوف تكون التكلفة الاضافية الكلية ١١٢ ٠٠٠ د ولار . أما بالنسبة للـ ١٥٠ ٠٠٠ مترا مكعبا ، فسوف تعني تكلفة الوحدة تقدر بـ ٧٥ر٠ د ولار/م٣ . وطبيعي أن هذا لا يشمل تكلفة المياه عند مصدرها . وتختلف الظروف الفعلية ، لكن هذا النوع من التقدير يشكل الاساس للمفاوضات بين اصحاب الناقلات ، والمستورد بين والمصدرين (هولمان ، ١٩٨٣) . وتبعا لحجم الناقلة المستخدمة ومسافة الرحلة من المرجح ان تتراوح تكلفة الوحدة من المياه العذبة المسلمة بين ٧٥ر٠ د ولار و ٢ر٠٠ د ولار للمتر المكعب .

وترتبط تكاليف النقل فيما يتعلق بنقل المياه العذبة كشحنة كاملة للصابورة في رحلة العودة ارتباطا مباشرا بسوق ناقلات النفط الخام . فمشغل السفينة يقيم اقتصادات نقل المياه من زاوية التكاليف والدخل . ولا يكاد الدخل الناشئ عن سوق الناقلات الكاسد حاليا يغطي التكاليف . ولذلك فان اية مساهمة اقتصادية تتجاوز التكاليف الاضافية المرتبطة بانحراف يتطلب اجراء بديلا تعتبر هامة . وفي سوق رائجة للناقلات ، سوف يتعين مقارنة العائد الناجم عن انحراف نقل المياه ، بالدخل البديل من نقل النفط .

وسوف يحتاج مشترى المياه العذبة ، الذى سوف يتعين عليه تحمل التكاليف الاضافية لنقل المياه العذبة في صابورات الناقلات ، الى مقارنة تكاليف المياه العذبة المسلمة بالبدائل الاخرى المتاحة للامداد بالمياه . ويستلزم نقل المياه العذبة عند العودة مجموعة من الانحرافات تتباين حسب موقع الميناء المائي ، وكمية المياه والوقت الاضافي المطلوب . ومن الممكن تماما ان يقدم مصدرو النفط حوافز الى اية سفن تصل وعليها شحنات من المياه العذبة .

واذا كانت المرافق المناسبة لتوريد واستقبال المياه العذبة متاحة في موانئ تفريغ وشحن النفط ، على التوالي ، فلن تكون هناك تكلفة اضافية متكبدة نظير الوقت الضائع لنقل كمية من المياه العذبة تتطابق مع احتياجات الصابورة العادية . وعلى الرغم من أن تكاليف النقل الاضافية تكاد تكون معدومة ، فان هذا البديل قد لا يكون الاكثر جاذبية لمشاريع النقل كبيرة النطاق للمياه العذبة لاسباب عديدة . فبالاضافة الى مشكلة توافر المياه ، سوف يتعين تقديم استثمارات كبيرة في موانئ شحن وتفريغ النفط وذلك لتسلم المياه واتاحة الفرصة لتنظيف الصهاريج ومعالجة المياة .

وهناك عدد من بدائل النقل اثناء رحلة العودة سوف تعطى ارقاما مختلفة فيما يتعلق بتكلفة النقل . الا انه يفترض، فى التقديرات التالية، ان نسبة ١٠٠ فى المائة من طاقة حمل الناقلات تستخدم لشحنات المياه وأن الحد الاقصى المسموح به لتركيز النفط فى المياه عند الطرف المتلقى هو ١٥ جزءا فى المليون . وقد قيمت ثلاثة طرق تجارية عادية للناقلات فى مدى يتراوح بين ٢٥٠ ٠٠٠ طن و ٣٥٠ ٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة .

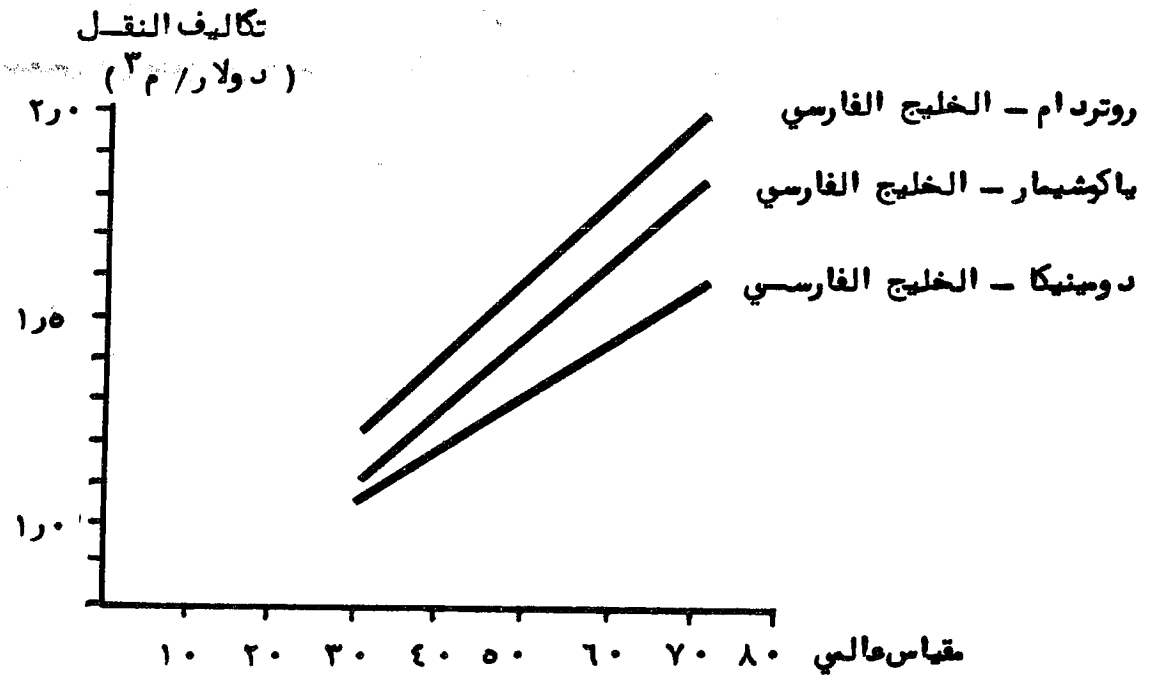
هذه الطرق هى :

(أ) روتردام (هولندا) - الخليج الفارسى (طريق رأس الرجاء الصالح)؛

(ب) دومينيكا (الكاريبى) - الخليج الفارسى (طريق رأس الرجاء الصالح)؛

(ج) ياكوشيما (اليابان) - الخليج الفارسى .

والتقييم الاقتصادى، كما هو مبين فى الشكل السابع، يستند الى مدى معقول يتفق وظروف سوق الناقلات، اى، بالمقياس العالمى ٣٠ الى ٦٠ .



الشكل رقم ٧ ـ تكاليف نقل المياه العذبة أثناء رحلة عودة الناقلات التي تتراوح حمولتها بين ٢٥٠٠٠٠ و ٣٥٠٠٠٠ طن حمولة ساكنة

المصدر : مأخوذ بتصرف من ت.أ. ماير " نقل المياه العذبة بالصابورة كوسيلة للمحافظة على الطاقة والموارد الطبيعية "، في مداولات الحلقة الدراسية الدولية حول نقل المياه العذبة بالصابورة، طرابلس ليبيا، ٣١ أيار/مايو ـ ١ حزيران/يونيه ١٩٨٣ (لندن، المنظمة الدولية للملاحة البحرية، ١٩٨٣) ص ١١٠

واذا استخدمت ناقلات الخام الكبيرة جدا (حمولة ١٠٠٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة واكثر) فى نقل المياه اثناء العودة باستخدام ١٠٠ فى المائة من طاقة حملها ، فان طرقها سوف تكون محدودة بسبب السحب المغرط . وحاليا ، لايمكن لناقلات الخام الكبيرة جدا المحملة بالكامل ان تعبر قناة السويس ولذا ، فان عودتها بشحنة كاملة من المياه العذبة من ميناء اوروبى الى ميناء على الخليج يتعين ان تكون عن طريق رأس الرجاء الصالح ، مما سوف يزيد بدرجة كبيرة من مسافة رحلة الذهاب والعودة العادية . ولاستخدام قناة السويس، لايمكن غير شحنة جزئية من المياه العذبة ، مما سوف يقلل المسافة ، وان كان سيقلل الحمولة الصافية .

ويبدو أن التكاليف المقدرة لنقل المياه العذبة اثناء العودة تعتبر أقل تكلفة بدرجة كبيرة مما هى بالنسبة الى الخدمة المكوكية المتخصصة الكبيرة النطاق لنقل المياه العذبة ، عند مقارنة التكاليف بالمسافات المتساوية .

ويلخص الجدول ١٥ الوارد فى بداية هذا القسم التكاليف المقدرة التى نوقشت اعلاه . ولاتشمل تلك التكاليف التكلفة الأولية للمياه كما لاتشمل ، باستثناء ما هو مشار اليه ، تكلفة استهلاك مرافق الموانئ والمحطات النهائية .

(د) تكاليف الناقلات

نتجت السعة الزائدة الحالية فى حمولة الناقلات عن الاعتماد الشديد على الاستئمانات الميسرة فى الستينات والسبعينات والانخفاض فى متوسط النمو السنوى لصادرات النفط منذ عام ١٩٧٤ . وقد وصلت شحنات النفط الخام الى ذروة حجمها وهو ١٥٣٨ مليون طن فى عام ١٩٧٩ ، ثم انخفضت بصورة متصلة الى ١٠٤٥ مليون طن فى عام ١٩٨٢ ومن عام ١٩٧٥ الى عام ١٩٨١ كان متوسط حجم تدمير الناقلات ١٠٫٣ مليون طن من الحمولة الساكنة سنويا . الا انه فى عام ١٩٨٢ كان اكثر من ٢٠ مليون طن من الحمولة الساكنة من سعة الناقلات عبارة عن نفاية . ونقل الى مكان ناء ما مجموعه ٢٤٢ ناقلة ، كانت ٦١ منها ناقلات خام كبيرة جدا . وفى عام ١٩٨٣ كان من المتوقع أن ناقلات الخام الكبيرة جدا سوف تستأثرب ١٥ مليون طن من الحمولة الساكنة من بين ٢٣ مليون من حمولة الناقلات المقرر تحويلها الى خردة ، طبقا لمؤسسة دروري للمستشارين الملاحيين فى لندن . (صحيفة ايكونوميست ، ١٠ كانون الأول / ديسمبر ١٩٨٣)

وقد نتج الانخفاض فى شحنات النفط عن انخفاض صادرات النفط وكذلك عن الاستعمال الاكثر انتشارا لخطوط الأنابيب . ولهذا هبطت الاسعار الثانوية لناقلات الخام الكبيرة جدا الى ما فوق مستويات أسعار الناقلات المقرر تحويلها الى خردة مباشرة ، وقد تتكلف ناقلة خام كبيرة جدا قدم طلب بشأنها مؤخرا ١٠ أضعاف

تكلفة ناقلة مستعملة (عمرها أقل من سبع سنوات) . وعلى سبيل المثال ، هبطت قيمة ناقلة خام كبيرة جدا تبلغ حمولتها حوالى ٢٢٦ ٠٠٠ طن من الحمولة الساكنة من حوالى ٤٥ مليون دولار فى عام ١٩٧٣ الى ٥ مليون دولار فى منتصف عام ١٩٨٢ . وكان من الممكن أن تتكلف ناقلة خام كبيرة جدا حديثة البناء وقدم طلب بشأنها الى اليابان فى منتصف عام ١٩٨٢ حوالى ٥٥ مليون دولار، غير أنه لم تقدم طلبات جديدة . وفى اواخر عام ١٩٨٣ بيعت ناقلة حمولتها ٣٣٠ ٠٠٠طن من الحمولة الساكنة بنيت فى عام ١٩٧٦ لعملية ناقلات نرويجية بمبلغ ٦ مليون دولار (صحيفة ايكونوميست، ١٠ كانون الأول /د يسمبر ١٩٨٣) .

ولذلك يتيح وضع فائض الحمولة فرصة فريدة للحصول على ناقلات بأسعار ثانوية منخفضة من أجل الخدمات المكوكية لنقل المياه العذبة . وتمثل الناقلات غير العاملة موردا غير مستعمل يمكن استخدامة بشكل منتج فى مختلف مشاريع نقل المياه بتكاليف رأسمالية اولية منخفضة . ومع ذلك فان المساومات الحالية للحصول على الناقلات لن تدوم الى اجل غير مسمى ، خاصة اذا ما استمرت اتجاهات التدمير ، وتحسن وضع الاقتصاد العالمى .

جيم - جبال الجليد

١ - خلفية تاريخية

على الرغم من أن الكابتن كوك سجل فى عام ١٧٧٣ صلاحية ماء الجليد للشرب، فان الجدوى الاقتصادية لنقل جبال الجليد أو المياه المأخوذة من كتل الجليد الى المناطق التى تعانى من الجفاف فى العالم لم تثبت عمليا بعد . وقد حدثت خلال الفترة من ١٨٩٠ الى ١٩٠٠ بعض الامثلة على تدبير سحب جبال جليدية، صغيرة الحجم من الاغوما، سان رافائيل فى شيلى، الى قالباريزو، ميناء سنيتاغو، ومن منطقة القطب الجنوبى الى كالاو فى بيرو، التى تقع على مسافة حوالى ٤٠٠٠ كم (روزنبرغ، ١٩٧٨) . وعلاوة على هذا، فقد انجز قدر كبير من البحث حول حركة وتكوين الجبال الجليدية . وفى أعقاب غرق الباخرة تيتانيك فى شمال المحيط الاطلسى فى عام ١٩١٢، تولى خفر السواحل فى الولايات المتحدة عملية الاستكشاف الدولى للجليد فى عام ١٩١٤ . وثبت أن الرقابة يجب أن تجرى قرب سواحل نيو فوند لاند وجرينلاند لانه خلال فصل الربيع من كل عام يجرف التيار مئات من جبال الجليد الى الممرات الملاحية فى شمال الاطلسى ومنذ عام ١٩٦٨ أجريت عمليات مسح أكثر شمولا باستخدام مستندات التصوير الجوى، والقيام بزيارات للشواطئ، وقياسات مواقع جبال الجليد . وترجع التقارير العلمية وتقارير عمليات الاستكشاف الدولى للجليد الى حوالى ٧٠ عاما وتشكل العمود الفقرى لتكنولوجيا جبال الجليد الحالية (كولمير، ١٩٧٨) .

وخلال الحرب العالمية الثانية فكرت القوات العسكرية من أمريكا الشمالية والمملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية فى استخدام جبال الجليد المسطحة كحاملات طائرات فى شمال الاطلسى . وعلى الرغم من التخلى عن هذه الفكرة، فقد استخدمت جبال الجليد كمحطات انزال وتجارب (خلال، ١٩٧٨) . وقد استغلت الكتل الجليدية المنسلخة عن حقول الجليد فى شمال كندا لسنوات عديدة كمنصات عائمة فى خدمة العديد من التجارب العلمية، بل ان بها مصدرها الذاتى من الماء العذب اللازم للمحطات العلمية . واحتلت الولايات المتحدة من عام ١٩٥٢ حتى عام ١٩٦١ " جزيرة جليدية" كبيرة (٦ × ١٤ كم، وسمك ٥٨ م)، كأول محطة أمريكية ضخمة تسبح مع التيار . وأكملت الجزيرة طريقا دائريا فى بحر بوفورت خلال عشر سنوات (كيلى، ١٩٢٨) .

وفى مطلع الخمسينات ظهر أول اقتراح على أساس علمى لنقل جبل جليدى لاستعماله كماء عذب، على لسان جون اسحق من معهد سكريبس لعلم المحيطات، فى لاجولا، بكاليفورنيا . ولكن نتائج ابحاثة لم تنشر حتى عام ١٩٦١ وقد بنى اقتراحة، جزئيا، على ان التاريخ المعروف لم يشهد سوى حالات قليلة

ظهرت منها جبال جليدية من منطقة القطب الجنوبى على شواطئ بيرو، حملها الى هناك تيار همبولت . وعلاوة على ذلك، حدث خلال الخمسينات مثال على النقل التجارى لثلج الاسكا ، وثم الثلج الجليدى فيما بعد ، الى سان فرانسسكو عندما حدث عجز فى امدادات المياه . ومنذ ذلك الحين ، ظهرت عدة مرات اقتراحات باستغلال أنهار الجليد فى الحصول على الماء (كيلى ، ١٩٧٨) .

ونوقشت، كذلك ، فكرة سحب جبال الجليد الى شيلى فى منتصف الخمسينات (فى مؤسسة ابحاث الثلج والجليد والارض دائمة التجميد ، التابعة لسلاح المهندسين فى جيش الولايات المتحدة) . وكانت الفكرة الاصلية بسيطة الى حد ما : وهى الابحار من قالباريزو، شيلى ، فى اتجاه الجنوب بمجموعة من زوارق السحب، والبحث عن جبل جليد مناسب، وربطة بالحبال ، وسحبه الى تيار هامبولت وابقائة فى مجرى التيار الى أن يطفو على الساحل الشيلى . بعد ذلك يتم دفعة داخل خليج صغير ثم تثبت ستارة من النسيج على فتحة الخليج . ويستطيع المستفيدون وضع مضخات وخطوط أنابيب ويقيمون مجتمعا زراعيا مزدهرا . وكان الهدف أن يكون ذلك نواة لتنمية زراعة قائمة على الرى على مساحة ٥٠٠٠ كم٢ من التربة البركانية شديدة الخصوبة على امتداد ٢٥٠٠ كم من السواحل القاحلة فى بيرو وشيلى ، حيث تمتد المياه الباردة حتى الشريط الساحلى (بدر، ١٩٧٨) .

وقد نشر ويكس وكامبل فى عامى ١٩٦٩ و١٩٧٣ أول بحث جاد حول جدوى نقل جبال الجليد . وقد وسعا الفكرة الاصلية بأن مدا بصرهما الى غرب استراليا وصحراء ناميب فى جنوب غرب افريقيا كمحطات وصول محتملة . ولكن السواحل فى هاتين المنطقتين ضحلة ، ولذا فانه لابد من ارساء جبل الجليد على بعد يتراوح بين ١٠ و ٢٠ كيلو مترا من الشاطئ . ومن ثم أصبحت العملية أشد تعقيدا (بدر ١٩٧٨) . ومع هذا فقد أسهم ويكس وكامبل مساهمة كبيرة فى المناقشة . وقد ذكرا بعض الاحصائيات حول أعداد وأحجام جبال الجليد التى تظهر بصورة طبيعية فى منطقة القطب الجنوبى واحتياجات قوة السحب المقدرة ومعدلات الذوبان المتوقعة . وركزا على محطات الاصول فى نصف الكرة الجنوبى بسبب مشكلة الذوبان (ويكس وكامبل ، ١٩٧٣) .

وطورت الفكرة أكثر من ذلك على أيدى هلت واوسترانبدر (١٩٧٣) ، اللذين استحدثا نموذجا لنقل جبل جليدى من بحر روس فى منطقة القطب الجنوبى الى جنوب كاليفورنيا . واشتمل النموذج على المعلومات البيئية المتيسرة حول التيارات والرياح ودرجات الحرارة . وعلى الرغم من أن المعلومات كانت بدائية ومحدودة ، فان ماورد بها من نموذج أولى للجدوى دل على أن العملية مجدية ، الا انها تحتاج الى عزل جبال الجليد حتى تبقى فى حالة مقبولة الى أن تصل نصف الكرة الشمالى .

وفى أوائل السبعينات قامت جامعة ميموريال يونيفيرسيتى أوف نيوفاوند لاند باجراء تجارب هندسية حول سحب جبال الجليد من منطقة القطب الشمالى المتاخمة للحدود الشرقية لكندا . وتم سحب سبعة جبال جليدية تراوحت أوزانها بين ٧٧٠٠٠ و ٢٦٥٠٠٠ طن . وأستخدمت فى تجارب السحب مختلف أنواع حبال السحب التى تم وصلها بسفن شحن عادية حمولة ٢٥٠٠ طن . واليوم أصبحت عملية سحب جبال الجليد مألوفة الحدوث الى حد ما عندما يكون هناك مايتهدد أبراج أو منصات البترول فى بحر لبرادور وجرينلاند الغربية (برونو وأخرون ، ١٩٧٨) .

وبحلول منتصف السبعينات استحوذت فكرة استغلال جبال الجليد للحصول على الكميات الكبيرة من الماء العذب والطاقة المختزنة فيها على خيال عدد كبير من العلماء ومن غير المتخصصين ولكن لم تكن هناك حكومة واحدة على استعداد لأن تبذل مجهودا كبيرا فى دراسة جدوى مثل هذا المشروع الى أن استأجرت المملكة العربية السعودية مهندسين لدارسة جدوى نقل جبال الجليد الى شواطئ المملكة .

وترتب على الاهتمام الواسع الذى دفعت اليه المبادرة السعودية عقد المؤتمر الدولى الاول وحلقات التدريب حول استخدام جبال الجليد فى انتاج الماء العذب وتغيير الاحوال الجوية وغير ذلك من الاستخدامات فى جامعة الدولة فى أيوا ، ايمز، بولاية زيوا ، فى الفترة من ٢ الى ٦ تشرين أول /أكتوبر ١٩٧٧ . وأمكن تجميع ثروة من المعلومات حول جبال الجليد فى ذلك المؤتمر (حسينى، ١٩٧٨) . ولكن الاهتمام ضعف بعد عام ١٩٧٧ ، ربما لان الجدوى الاقتصادية لاستغلال جبال الجليد بدت موضع شك . وربما لان الحاجة الى الماء العذب لم تصبح بعد من الضخامة بحيث تبرر سحب جبال الجليد من أجل سد هذه الحاجة . ويبدو الان أن المصادر الاخرى غير التقليدية ، مثل ازالة الملوحة ، والنقل بواسطة الناقلات ، واعادة استخدام المياه المستعملة ، أكثر واقعية وأقل تكلفة . ومع هذا فان أنهار الجليد تعتبر مصدرا هائلا للمياه غير المستغلة التى يمكن فى نهاية الامر استخدامها .

٢ - اعتبارات تقنية

يحتبس حوالى ٨٠ فى المائة من موارد المياه العذبة فى الكرة الارضية فى ثلج الانهار الجليدية ، وهو ما يعادل سقوط الامطار على سطح الكرة الارضية كلها لمدة ٦٠ عاما تقريبا . بل ان كمية المياه المختزنة فى الثلج والجليد فى أمريكا الشمالية تفوق ما هو موجود فى جميع الانهار والبحيرات والمستودعات الارضية . وعلى الرغم من أنه لا توجد الان وسيلة اقتصادية واضحة لاستغلالها ، فان الجبال الجليدية الصغيرة التى تدخل الممرات الملاحية فى المحيط الاطلسى تعد بعشرات الآلاف . وان الجليد يمثل مصدرا هائلا لم تكديد الاستغلال تمتد اليه بعد .

والماء مختزن الان لكى يستخدمة الجنس البشرى عند ما يصبح فى حاجة ماسة اليه (كيلى، ١٩٧٨) .

ويقدر هلت اجمالى الناتج السنوى المستمر من جبال الجليد من منطقة القطب الجنوبى بـ ٢٠٠ ٠٠٠ ١ مليون متر مكعب من الماء عالى الجودة، الذى يمكن الحصول عليه والاستفادة منه دون استنزاف لمنطقة القطب الجنوبى أو احداث أضرار بيئية بها . واذا تيسر توريد ١٠ بالمئة من الغلة السنوية، فان هذه النسبة ستسد احتياجات ٥٠٠ - ٦٠٠ مليون نسمة من سكان الحضر من المياه، بمعدل استخدام سنوى من ٢٠٠ الى ٣٠٠ م^3 للفرد (كيلى، ١٩٧٨، هلت ١٩٧٨) .

(أ) مصدر جبال الجليد

ان الجبال الجليدية المسطحة فى منطقة القطب الجنوبى هى فيما يبدو أنسب الجبال الجليدية للنقل بالسحب . وتعتبر الارصفة الجليدية فى منطقتى روس وامرى هى المواقع الرئيسية لانتاج جبال الجليد فى منطقة القطب الجنوبى . ويعتبر الرصيف الجليدى فى منطقة روس (٥٣٠ ٠٠٠ كم^2) أكبر أرصفة المنطقة كلها وأسهلها استغلالا، فضلا عن أنه يشكل ثلث مساحة الرصيف الجليدى فى منطقة القطب الجنوبى . والطابع الغالب على تدفق الجليد فى رصيف روس هو التحرك فى كتل صلبة، ويصل متوسط سرعة تصريف الثلج عند الحافة الامامية للرصيف الى حوالى ٧٠٠ متر فى السنة . وتنشق جبال الجليد أو تنفصل عن الحافة المواجهة للبحر فى رصيف روس الجليدى فى الفترة من كانون الثانى / يناير حتى آذار / مارس، وينتج منها بالتأكيد كمية كافية من جبال الجليد المسطحة القابلة للاستعمال لنقلها الى الساحل الغربى لامريكا الجنوبية وفى اتجاه الشمال (هلت، ١٩٧٣) .

أما الرصيف الثانى الذى يليه فى الحجم، وهو رصيف فلتشر (٤٠٠ ٠٠٠ كم^2) فقد اعتبره ويكس وكامبل (١٩٧٣) أفضل مصدر لجبال الجليد التى يمكن نقلها الى صحراء ناميب على الساحل الجنوبى الغربى لافريقيا، ويعتبر رصيف امرى الجليدى، وان كان أصغر حجما، أفضل مورد لجبال الثلج لاستراليا . ويعتبر هذا الرصيف من أغزر الارصفة انتاجا وأهم الارصفة الجليدية الصغيرة على الاطلاق . وقد عثر على جبال جليدية فى منطقة القطب الجنوبى طافية عند خط ٥٠° جنوبا فى اتجاه الشمال .

وهناك ايضا جبال جليدية مسطحة فى شمال الاطلسى، ولكنها ليست شائعة ولا كبيرة اذا قورنت بجبال المنطقة القطبية الجنوبية . ويعتبر رصيف وارد هنت الجليدى المصدر الرئيسى لجبال الجليد المسطحة فى منطقة

القطب الشمال . ويمضى انتاج جبال الجليد هناك على نحو غير منتظم ، للاسف ، وفى العادة لاتخرج جبال الجليد من المحيط القطبى الشمالى الى بحر جرينلاند حيث يمكن نقلها عن طريق السحب (كيلى ، ١٩٧٨) . ومن جهة أخرى ، فكو كزلمير (١٩٧٨) فى امكانية استخدام الجبال الجليدية فى جرينلاند كمصدر للمياه للبلدان المطلة على البحر المتوسط فى شمال افريقيا أو الشرق الاوسط .

١ ' الحجم والشكل

ان أنسب شكل للجبل الجليدى المراد نقله هو الشكل المسطح ، شبة المستطيل فى قطاع عرضى ، حتى يمكن تجنب الانزلاق أو الانشقاق عند سحبه ويشجع الشكل المسطح للجبال الجليدية فى المنطقة القطبية الجنوبية على سحبها. وأفضل الاشكال هو ما تكون نسبة الطول الى العرض فيه كبيرة من أجل تخفيف قوة الشد وتكون نسبة العرض الى السمك فيه أكبر من الوحدة حتى لا ينقلب جبل الجليد . وقد حدد ويكس وكامبل لتجاربهما نسبة الطول الى العرض بـ ٤ - صفر لانها أكبر نسبة تظهر كثيرا . كذلك اعتبرا أن نسبة العرض الى السمك اللازمة لتحقيق الثبات هى ١ - ٥ على الاقل .

وتبين من مسح محدود لجبال الجليد فى شرق منطقة القطب الجنوبى أن متوسط طول جبل الجليد يزيد على ١ كم ومتوسط ارتفاعة فوق سطح الماء يبلغ حوالى ٥٠م (هلت، ١٩٧٣) . وتبلغ نسبة ما يظهر من مجموع ارتفاع جبل الجليد فوق سطح الماء السدس تقريبا . ويبدو أن الاطوال التى تصل الى ٢١ كم ليست نادرة (كيلى ، ١٩٧٨) .

ولاحظ ويكس وميلور (١٩٧٨) أن جبال الجليد ذات الاطوال التى تزيد على ٢ كم غالبا ما تكون قابلة لان تنكسر تلقائيا بفعل الامواج المرتفعة الطويلة . وذكرا أن الجبل الثلجى المناسب يجب أن لايزيد طولة عن ٢ كم ويجب أن يتراوح عرضه بين ٥٠٠ و ٢ كم ، حسب النسبة المثلى المعتقدة بين الطول والعرض . وتساوى تلك الابعاد ما يصل الى ١ × ١٠٩م٣ من الجليد أو الى ٥٠٠ × ١٠٩م٣ تقريبا من الجليد الذى يصل الى شواطئ استراليا . ورأت بعض التقديرات أن هذا المشروع لن يكون مجديا الا اذا كان الماء مطلوبا للاستخدام الصناعى أو فى البلديات . غير أن هذا يؤكد أهمية جبال الجليد الصغيرة (ويكس وميلور، ١٩٧٨) .

وهناك باحثون آخرون ، لاسيما هلت، يرون أن جبال الجليد ذات الاحجام الاكبر هى وحدها التى يمكن نقلها على أسس اقتصادية . واقترح عمل قطارات طويلة تزيد على ٢٠ كم من جبال الجليد المعزولة لنقلها الى امريكا الشمالية .

ويتكون جليد البحر في آذار/ مارس ونيسان /ابريل ويغلق مساحة متزايدة ، بما في ذلك ما بها من جبال جليدية ، حتى شهر تشرين الاول /أكتوبر . ويذوب جليد البحار الضحلة (١ - ٢م) في موسم ضوء النهار ويصبح العدد الاكبر من جبال الجليد الهامة طليقة بحلول كانون الثاني /يناير حتى آذار/مارس بحيث تكون في أسهل الحالات التي يمكن فيها تجميعها في قطار من جبال الجليد (هلت، ١٩٧٣) .

(٢) النوعية

ثبت أن جبال الجليد في منطقة القطب الجنوبي خالية بدرجة كبيرة من الشوائب (حوالي ٤ أجزاء في المليون محتوى معدني) لانها تتكون من مياه الامطار في جو خال نسبيا من الثلوث . وتنتقل جميع الجبال الجليدية المسطحة الاكبر حجما الى البحر من الارصفة الجليدية حيث تذوب معظم انقاض الجليد المضغوطة العالقة بالقاع وتتخلف . ومن بين الاسباب التي دعت الى اخذ فكرة استغلال جبال الجليد مأخذ الجد أن الجليد النقي يعتبر الى حد كبير مصدرا بالغ الاهمية ويمكن أن يساعد على حل المشاكل التي يسببها نقص المياه عالية الجودة في العالم .

(ب) معدلات الذوبان

ظهرت أفكار كثيرة حول معدلات ذوبان جبال الجليد ، وأجريت تجارب عديدة في هذا العدد . ويتوقف مدى الصلاحية العامة لاى مشروع من هذا النوع على الجزء الذى يبقى من الجبل الجليدى عندما يصل الى محطة الوصول .

وفي تجربة هلت، توقفت معدلات الذوبان في جبال الجليد المكشوفة على معاملات الانتقال الحرارى المحلية ودرجات حرارة المياه والجليد . ومن ثم اختلف المعدل على امتداد طول جبل الجليد ، ومع تغير درجة حرارة مياه المحيط في العمق . وأمكن تحديد معدلات الذوبان الفعلية بصورة تقريبية فقط . بيد أن هلت أكتشف أن ما يزيد على ١٠٠٠ متر من عمق الجليد يذوب من السطح الثلجي غير المحمي والمعرض للمياه أثناء النقل الى نصف الكرة الشمالي بأى سرعة نقل معقولة . وانتهى هلت الى ضرورة عزل جبال الجليد المسافرة الى نصف الكرة الشمالي ، وأن العزل بطريقة الشبكة اللحاف من شأنه أن يخفض الذوبان الى أقل من ١٠ في المائة في عملية نقل تستغرق عاما واحدا (هلت ، ١٩٧٣) .

وانتهى ويكس وكامبل في تقييمهما لجبال الجليد كمصدر للماء العذب، الى أن جبال الجليد الضخمة في منطقة القطب الجنوبي يمكن نقلها دون عزل الى أماكن في نصف الكرة الجنوبي بنسبة ذوبان تقل عن النصف (ديقيز، ١٩٧٨) .

وأجرى ج . ج . جوب (١٩٧٨ب) تجربة لسحب جبال جليدية مكشوفة من منطقة القطب الجنوبى (٦٦° جنوبا) الى خط عرض ٣٨° جنوبا . وتمثلت النتائج النظرية التى توصل اليها فى أنه يمكن توصيل جبال الجليد بحصيلة تبلغ نسبتها ٥٠ فى المائة تقريبا الى خط عرض ٣٨° جنوبا ، الا أن نسبة التلف فى المياه الدافئة أثبتت أن الحماية تكون ضرورية فى الرحلات الاطول . ومن هنا فان نتائجه تتفق الى حد كبير مع ويكس وكامبل . وقد أشار، علاوة على هذا ، الى أن مهمة نقل جبل جليدى فى مياه نصف الكرة الجنوبى المعتدلة ، عملية سهلة نسبيا اذا قورنت بفكرة نقل جبل جليدى من منطقة القطب الجنوبى الى المملكة العربية السعودية (جوب، ١٩٧٨ ب) .

وفى عام ١٩٧٦ قام خبراء خفر السواحل فى الولايات المتحدة بتعقب جبل جليدى مسطح ضخم بالقرب من ساحل نيوفوندلاند ، وكانت النتائج التى توصلوا اليها أقل تفاؤلا من التجارب الآتية الذكر . وعلى الرغم من أن درجة حرارة مياه السطح كانت فى ذلك الحين (آيار/مايو - حزيران/ يونيه) بين ٢° و ٤° مئوية ، فان جبل الجليد تناقص فى منطقة السطح من ١٩ الى ١١ هكتار فى ٢٥ يوما ثم تفكك بعد ذلك (بدر، ١٩٧٨) .

(ج) تغيرات الطقس

ان سحب جبل جليدى الى مناخ اكثر دفئا سوف يؤدى ، فيما يبدو، الى حدوث تغيير فى الاحوال الجوية . ويتكون جبل الجليد من كتلة صلبة ، تشبة الى حد ما جزيرة صغيرة ، وبالوعة حرارية (لتصريف الحرارة من منطقة معينة) . ومن ثم فانها لابد أن تؤثر فى الرياح وتيارات المحيط الى حد ما . والاثار الفعلية لنقل جبال الجليد غير معروفة على وجه التأكيد ، لان هذا النقل لم يحدث بعد ، فضلا عن أن المشاريع الخاصة التى تحاول استحداث التكنولوجيا اللازمة تحتفظ بالكثير من المعلومات لنفسها . وربما يؤدى عدم الثقة الى عدم الارتياح لدى بعض الدول : فقد يؤدى وجود جبل جليدى بالقرب من شاطئ احدى الدول الى التأثير على المناخ فى دولة مجاورة . ولابد وأن يؤدى ذلك ، المشروع الخاص بجبل الجليد الى حدوث تغيير دقيق فى الطقس، ولذا فان الخلاف يكون حول درجة التغيير . ومن الممكن أن يحدث تغيير بيئى كبير نتيجة لتغيير درجة أو درجتين مئويتين فقط. ولذا يصبح من المستصوب وجود نوع من الاشراف الدولى ، ويجب أن يرافق جميع الجهود الرامية الى استغلال جبال الجليد ، عملية تقييم بيئى . ومن بين العناصر التى يجب أن تخضع للرقابة ما يلى : (أ) تأثير جبل الجليد على تيارات الهواء ، وأنماط الترسيب والتبخر، (ب) تأثيره على تيارات المحيط، وانتقال الحرارة وفيضان الابار، ثم (ج) تأثير ازالة جبل الجليد على كتلة الجليد القطبية كلها (بونتى ، ١٩٧٨) .

وقد توقع ويكس وكامبل أن لا تكون آثار عملية النقل ذات أهمية ، ولكنهما توقعا أن تسبب جبال الجليد انخفاضا فى درجة حرارة البحر بالقرب من محطة الوصول . واضافة الى ذلك ، سيحدث انخفاض فى ملوحة مياه البحر نتيجة لاختلاط الماء العذب المتسرب خلال عملية الذوبان . وسيكون هناك ايضا احتمال حدوث تغييرات فى المناخ المحلى للمنطقة المجاورة لجبال الجليد الراسية ، مثل زيادة فى حدوث الضباب والمطر (روزنبرغ ، ١٩٧٨) .

ورأى هلت (١٩٧٣) ، فيما يبدو ، أن الاثر الرئيسى لجبل جليدى كبير سينحصر فى مساحة لاتتجاوز كيلو مترات قليلة من الجليد نفسه . ومن الممكن ان يكون قطار جليدى يمتد طوله عشرات الكيلو مترات ويثبت على قاع المحيط على بعد من ٥ الى ١٠ كم من شاطئ كاليفورنيا ، بمثابة حاجز أمواج ضخم للتخفيف من حدة الامواج فى البحر الداخلى . وقد رأى هلت أن المياه المحلية سوف تبرد قليلا لان الثلج سيكون له أثر تبريدى على التلوث الحرارى الساخن . ونوه بأن هذا ستكون له آثار محلية على الحياة البحرية ، وأن هجرات وأنواع الحياة البحرية سوف تتغير فيما يبدو تغييرا يتناسب مع ما هو متوقع من تغيير محدود فى المنطقة . وتحتاج هذه الاثار الى دراسة (هلت ، ١٩٧٣) .

ويتفق العلماء عموما على أنه حتى اذا جئ بجبل جليدى معزول عزلا محكما الى أراضى العربية السعودية ، أو جنوب كاليفورنيا مثلا ، حيث يكون هذا الثلج فى غير بيئته ، فانه سوف يسبب تكثيفا من بخار الماء المنبعث من الهواء اكثر مما يخرج منه فى عملية التبخر . وترى سمبسون أن جبلا جليديا فى منطقة البحر الاحمر يمكن أن يولد كميات كبيرة من الضباب . وهى تعتقد أنه اذا ما أرسى جبل جليدى بالقرب من الشاطئ الشرقى لفلوريدا ، فانه يمكن أن يقلل من الطاقة البخرية للاعاصير التى تمر على مسافة قريبة (بونتى ، ١٩٧٨) . وفى حين قد يؤدى ذلك الى اضعاف الاعاصير ، فانه ، مع ذلك ، قد يؤدى بدرجة محدودة الى اضعاف نقل الحرارة في مجرى الخليج . وفى حالة اغلاق مجرى الخليج ، فان التيارات المتجهة الى أوربا الشمالية ستكون أبرد كثيرا . وأى تأثير من هذا النوع على تيارات الخليج قد يؤثر على بلدان كثيرة ويعرض مشترى جبل الجليد للمشاكل اذا رأت تلك الدول أى خطر من أى تغيير طفيف فى التيارات (بونتى ، ١٩٧٨) .

ومن جهة أخرى فان المروجين لهذا الموضوع فى العربية السعودية ، سوف يرحبون ببعض التغيير فى الطقس على ساحلهم . وهم يأملون فى أن يحدث جبل الجليد تغييرا فى الحياه النباتية والمناخ فى بعض المناطق الساحلية . وربما تؤدى التأثيرات التبريدية للسطح الكبير البارد للجبل الجليدى الى سقوط المطر فوق الاراضى القاحلة والقابلة للرى الى حد كبير فى منطقة عصير ، جنوبى جده . وسوف يؤدى الجبل الجليدى العائم ، خلال فصل الصيف الحار ، عندما تصل الرطوبة الى أكثر من ٩٠ فى المائة ، الى تكثيف ماء الغلاف الجوى ، الذى

يمكن أن يزيد من غلة الماء العذب المنتجة من ذوبان الثلج بنسبة تصل الى ٢٥ فى المائة (عبد الفتاح ، ١٩٧٨) .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجى الأخيرة

ان نقل جبل جليدى كبير من منطقة القطب الجنوبى الى منطقة قاحلة عملية كبيرة تكتنفها الشكوك . اذ أن اختيار الجبل الجليدى ، وعزله ، وربطه ، وتوفير القوة اللازمة لنقله ربما لمسافة ٨٠٠٠ كم فى البحار المفتوحة وعبر المناطق الاستوائية ، وارسائه عند مرفأ الوصول ثم استخلاص الماء منه ، تعتبر كلها مشاكل هندسية عويصة لم يسبق وضع حلول لها .

وربما كانت أعوص وأعقد مشكلة هى المتعلقة بالنقل . اذ أن ضخامة القوى المطلوبة ، واحتمال تعرض الجبل الجليدى للتكسر والتفتت وما ينتج عن ذلك من تدحرج أثناء النقل ، وما يحدث فى الطريق من فاقد بسبب الذوبان ، ثم احتمال العزل ، كلها جوانب ينبغى اخضاعها لقدر كبير من الدراسة والتجارب لكى يتسنى معرفة الحلول لها . وهناك نهج للتوصل الى الحلول يتمثل فى دراسة سلوك نماذج صغيرة فى ظروف معينة يمكن فى ظلها تنويع العناصر المميزه الهامة من أجل جعل الحلول فى أتم صورة لها وتحديد الظروف الحرجة . وقد اقترح هلت (١٩٧٨) تنفيذ مشروع تجريبى ، يتضمن سحب جبليين جليديين صغيرين معزولين الى كاليفورنيا . ولم تتقدم حكومة أو معهد للابحاث بعد بالاعتمادات اللازمة لمثل هذه التجربة ، ولذا فان الافكار المتعلقة بذلك المشروع ما يزال فى حيز الافكار . وتتناول السطور الآتية بايجاز بعض التقنيات التى استحدثت أو أقترحت .

(أ) الاستشعار عن بعد

تبسطت صور التوابع الاصطناعية دقيقة التفاصيل ، مشكلة اختيار جبال الجليد . واذا لم تكن التحسينات التى ادخلت على تقنيات التوابع الاصطناعية دقيقة التفصيل جدا الى جانب نقل المعلومات فورا والاستشعار عن بعد بواسطة الطائرات ، ضرورية لنجاح الاستخدام الاقتصادى على نطاق واسع لغلة منطقة القطب الجنوبى المستمرة من جبال الجليد ، فانها لابد وأن تعزز هذا النجاح كثيرا .

كذلك يضيف تعقب جبال الجليد الى المعرفة المحدودة بتيارات المحيط حول منطقة القطب الجنوبى . وسوف يكون للتعقب والمراقبة لفترة طويلة علاقتهما باختيار وجمع جبال الجليد لاستخدامها فى منطقة معينة . وهناك تقنيات متنوعة

للاستشعار عن بعد والتعزيز متيسرة ويمكن استخدامها ليس فقط فى التعقب، ولكن أيضا لمعرفة المزيد حول ديناميكيات البيئة التى ستتحرك فيها جبال الجليد (كيلى، ١٩٧٨).

وقد كشفت صور التوابع الاصطناعية عن وجود وفرة من الجبال الجليدية فى منطقة القطب الجنوبى ذات أحجام وأشكال مناسبة، كما ذكر هلت (١٩٧٨). وينبغى أن تكون هذه الصور كافية لاختيار المنطقة الواقعة شرق رصيف روس الجليدى التى منها يمكن اختيار وتحديد جبال الجليد التجريبية. ومن الممكن اختيار جبال جليدية بديلة محددة يبلغ سمكها من ٣٠٠ الى ٥٠٠ متر للمشروع التجريبى.

ومن الممكن تمييز جليد البحر، نظرا لارتفاع معامل انعكاسه فى جميع الذبذبات الطيفية فى أجهزة المسح متعددة الطيوف فى توابع لاندسات، الاصطناعية، على الرغم من أن الذبذبات حين تكون فى مدى الرؤية تحقق أحسن النتائج فى تصوير حواف الجليد واكتشاف الجليد الرقيق. ونظرا للتباين الشديد بين الماء والجليد، فانه يمكن ملاحظة الاسطح الخطية التى لا يتجاوز عرضها ٧٠ سم. ومن ثم تكون معلومات لاندسات نموذجية لدراسات توزيع الاشكال والاحجام. كذلك يمكن ملاحظة طبقات الجليد الرقيقة وتمييزها عن الجليد الاكثر سمكا.

ويجرى استخدام الصور والقياسات الحرارية بالاشعة تحت الحمراء من أجهزة المسح بالاشعة تحت الحمراء المثبتة على التوابع الاصطناعية طراز نيمبوس وأجهزة المسح المثبتة على التوابع الاصطناعية التابعة للادارة القومية للاوقيانوسيا والغلاف الجوى، على نحو متزايد فى التطبيقات العملية والبحثية لمراقبة جليد البحار. وقد بينت هذه الابحاث أنه يمكن بواسطة صور الذبذبات بالاشعة تحت الحمراء وللميكروويف عمل خرائط للحدود الاجمالية للجليد خلال فترات الظلام القطبية.

ويتمثل العائق الذى يعترض استشعار جليد البحار وجبال الجليد بالتوابع الاصطناعية فى مدى الرؤية والاطوال الموجية للاشعة تحت الحمراء، فى غطاء السحاب. وتخفف السحب التى تميز المناطق القطبية بعض الشئ من الابتعاث الذى يخرج من أسطح الجليد فى مدى الطول الموجى للميكروويف ويمكن على الفور ومن خلال السحب ملاحظة التباين الكبير فى درجات حرارة النصوع - الذى يرجع الى القدرة الابتعاثية وليس الى فروق درجات الحرارة الطبيعية - الذى اكتشف عند الحدود بين الجليد والماء.

(ب) وسائل النقل

جرت محاولات عديدة على مدى سنوات كثيرة لاثبات جدوى نقل جبال الجليد . وقد قامت ثلاث من كسارات الجليد التابعة للولايات المتحدة باثبات أنه يمكن نقل جبل جليدي مستطيل ومسطح لمسافة ٤ كم في ١٢ ساعة وثبت أنه يمكن تخفيض اجمالي القوة اللازمة لسحب جبل الجليد الى حد كبير اذا كانت نسبة طوله الى عرضه كبيرة . واتضح أن أفضل السرعات هي التي تكون بطيئة وثابتة وفي حدود عقدة واحدة . وبهذا المعدل ، تتراوح مدد النقل الى نصف الكرة الجنوبي بين ١٢٠ و ١٦٠ يوما . وقد اكتشف ويكس وكامبل (١٩٧٣) أنه على الرغم من وجود مشاكل هندسية اساسية وما قد يسبب التبخر والذوبان ، فان العملية تبقى جديرة بالمحاولة (كيلي ، ١٩٧٨) .

وأكد هلت أن تكاليف نقل جبال الجليد سوف تتوقف على تصميم عمليات النقل والاشكال العامة "لقطارات" جبال الجليد . ومن المفضل أن تكون القطارات ذات عرض محدود يتراوح بين ٣٠٠ م الى ٦٠٠م لان التقديرات تقول أنها ستقلل من صافي تأثير كوريوليس على جبال الجليد . أما القطارات التي يزيد طولها على ٢٠ كم فسوف تزيد تكاليف نقل وعزل الكتلة بما يتناسب مع هذا الطول .

وقد رأى هلت أنه يمكن استخدام مراوح ذات ريش مقواة تعمل بمحركات كهربائية وتربط على جانبي قطار جبل الجليد في عملية النقل . ويمكن الحصول على الطاقة من محطة طاقة تعمل بوقود الديزل فوق سفينة حراسة .

(١) زوارق السحب (القطر)

ان وسيلة نقل جبال الجليد المقترحة الاكثر شيوعا هي استخدام زوارق سحب ذات قوة هائلة . وقد اشار ويكس وميلور (١٩٧٨) الى ان القوة اللازمة لسحب جبال جليدية ضخمة عبر بحر الجليد الكثيف هائلة . وقد افترضا ، مثلا ، أن سمك جليد البحر في المنطقة القطبية الجنوبية هو ام ، وعندما قدرا القوة اللازمة لتحريك سفينة لتكسير الجليد عرضها ١ كم عبر هذا الجليد بسرعة تبلغ عقدة واحدة ، حصلا على ناتج ٣ر٣ × ١٠^٥ كيلوواط (٤٤٩٠٠٠ حصان لذراع الادارة) . ويحتاج الامر الى ١٧ زورقا من أضخم زوارق السحب المتيسرة حاليا من أجل توفير هذا القدر من القوة . والواقع، أن الاحتياجات الحقيقية من القوة اللازم توافرها عن طريق جليد البحر، اكبر من ذلك لان الجبل الجليدي مثلوم الحافة بالكاد يعتبر أداة لتكسير الجليد على نفس القدر من كفاءة سفينة مصممة خصيصا لذلك .

وتحتاج جبال الجليد الكبيرة الى أعمدة لربط الجبال ذات قوة سحب تتراوح بين ١٠٠ و ١٠٠٠٠ كيلو نيوتن . وقد زاد حجم وحدات زوارق السحب وقوتها بدرجة كبيرة منذ أواخر الستينات . وفي ذلك الحين كان الحد الاقصى

لقوة أكبر زورق سحب هو ٩٠٠ حصان . وفى أواخر السبعينات كانت المؤسسة البحرية فى جنوب افريقيا تقوم ببناء زوارق سحب قوة ٢٦ ٢٠٠ حصان . وتبلغ قوة سحب عمود ربط الجبال فى أكبر زوارق السحب التابعة للبحرية الامريكية والتى تعمل فى المحيطات ٥٠٠ كيلو نيوتن ، بينما هناك زوارق سحب تجارية تصل قوة سحب عمود ربط الجبال فيها الى ١ ٢٠٠ كيلو نيوتن . وكما ورد آنفا ، تحتاج عملية سحب جبل جليدى كبير واحد الى عدة زوارق سحب.

وتحدد القوة الحصانية لذراع الادارة ، وخصائص مروحة الدفع، قوة السحب فى زورق السحب، ويمكن حساب هذه القوة عند ما تعرف هذه الاشياء وقدم ويكس وميلور رسما بيانيا يقيم قوة السحب المقدرة لعمود ربط الجبال فى الزوارق الموجودة ، حسب وظيفة القوة المركبة ، بنى على أساس المعلومات التى وردت فى مسح صناعى أجرى عام ١٩٧٧ . وتقع معظم المعلومات فى حدود شريحة تمثل قوة سحب تتراوح بين ٠ر١٠ و ٠ر١٨ نيوتن /واط.

وقد يبلغ استهلاك زورق سحب يعمل بالديزل ويدار أليا أو يدويا ، من الوقود ١ر٨ طنا فى الساعة لكل ١٠٠٠ قوة حصانية لذراع الادارة . وبناء على هذا المعدل يحرق زورق سحب تبلغ قوة ذراع الادارة فيه ٢٠٠٠٠ حصان حوالى ١٥ ٩٠٠ طن من الوقود فى فترة سحب مدتها ستة أشهر أو ٢٣٠٠٠ طن فى فترة سحب مدتها تسعة أشهر.

وقد رهلت أنه سيلزم للمشروع التجريبى الذى اقترحه ، حوالى ٤٠٠٠ كيلو نيوتن من قوة السحب من أجل سحب جبليين جليديين صغيرين خلال فترة عام واحد الى كاليفورنيا . وفى تقديره ان هذا يمكن توفيره بـ ٤٠٠٠٠ قوة حصان ، ربما باستخدام زورقى سحب وناقلة ، تستهلك ٨٠٠٠٠ طن من الوقود .

(٢) وسائل نقل أخرى

اقترح الباحثون عددا من نظم النقل ، تمت تجربة بعضها على نموذج ذى حجم قياس . وفيما يلى بعض هذه النظم.

(أ) من الممكن توفير القوة اللازمة بواسطة دورة دينامية حرارية مماثلة لطاقة المحيط الحرارية . ويمكن الحصول على الطاقة من جبل الجليد فى صورتين : تدرج درجات الملوحة وتدرج درجات الحرارة . ويمكن استخدام الطاقة التى يتم الحصول عليها من الفرق فى درجة الحرارة بين الجليد وماء البحر فى تشغيل مروحة ضخمة (قطرها ٢٣م مثلا) وخلال عملية النقل من منطقة القطب الجنوبى الى لوس أنجلوس ستتحول نسبة ١ر٦ فى المائة من جبل الجليد الى ماء نتيجة لاستخلاص الطاقة (فوهز وآخرون ، ١٩٧٨) .

(ب) ستكون عجلات التجديف المثبتة على طول جانبى جبل الجليد قادرة على الحركة تحت الماء . ويتم تزويدها بالطاقة عن طريق وحدات لتوليد

الطاقة توضع فوق جبل الجليد أو على السفن المرافقة لجبل الجليد . ويمكن عن طريق تغيير سرعة دوران عجلات التجديف على أحد الجانبين ، ابقاء جبل الجليد فى الطريق الصحيح (الفيصل واسماعيل ، ١٩٧٨) .

(ج) وهناك بديل آخر يستخدم نظام باراشوت مماثل لمراساة عائمة ، ويقال انه ينتج قوة دفع فعالة بكفاءة تبلغ خمسة أمثال المروحة التقليدية . ويوضع هذا الباراشوت فى الماء على صف من عوامات سائدة أمام جبل الجليد ، الذى يسحب فى اتجاهها بواسطة أداة لف مناسبة . وعندما يقترب جبل الجليد من الباراشوت ، تقوم سفينة معاونة باعادة توزيع العوامات الى الامام (جوب ، ١٩٧٨م)

(د) وهناك نظام آخر مقترح يقوم على استخدام نوع من الطاقة الشمسية وهو على وجه التحديد الفرق فى الضغط الازموزى بين ماء البحر والماء الذائب من جبال الجليد . ويتم تحويل الماء الذائب الى نظام دفع أزموزى ، يدفع جبل الجليد بمساعدة سفينة معاونة (ديقيز ، ١٩٧٨) .

ولم يوضع بعد أى من هذه النظم موضع التجربة . ولم يتجاوز الامر استخدام زوارق السحب وسفن النقل وكسارات الجليد وحدها لتحريك جبال الجليد التى يجرفها التيار فى طريق منصات التنقيب .

(ج) الحبال والاحزمة

قام براوند ودمبستر ، تحت رعاية اتحاد عمال بترول الساحل الشرقى ، باجراء تجارب فى أوائل السبعينات على سحب جبال جليدية من منطقة القطب الشمالى بعيدا عن الساحل الشرقى لكندا . وكانت أبعاد أكبر جبل جليدى تم سحبة كالآتى : العرض ٩٠م ، الطول ١١٥م ، أعلى نقطة ارتفاع فوق سطح الماء ٢٣م ، وكان وزنه ٢٦٥٠٠٠ طن .

وكانت السفينة عبارة عن سفينة شحن عادية حمولة ٢٥٠٠ طن طولها ٨٤م ، ومحركاتها تنتج قوة ٢٥٠٠ حصان لذراع الادارة . واستخدم نوعان من حبال السحب ، كان الاول عبارة عن حبل سلك طوله ٢٢٠م مصنوع من سلكين من الصلب سمك ٢٫٥ سم ، وتم وصل السلكين ببعضهما بسلاسل ٨ مم طولها ٩ أمتار . وتم تدعيم كل هذا بعوامات على سلاسل ١٢ مترا .

وكان النوع الثانى عبارة عن سلك مفرد طوله ٢٢٠م مصنوع من بوليبروبيلين ٢٠ سم ، وثم وصله بكبل قطر طوله ٢٢٠م موصول بزمام قطر على السفينة . وكان النوع الثانى أخف وأفضل كثيرا فى التعامل مع جبال الجليد المسطحة ، نظرا لان الحبل المفرد يصنع حزا واحدا فى جبل الجليد عند سطح الماء . أما الحبل

المزدوج فيكون أفضل فى مسك الجبال غير المسطحة ، ولكنه اكثر تكلفة واستخدامه اكثر تعقيدا .

وقد أصبحت الاساليب التى توصل اليها اصلا برونو ود مبستر فى عام ١٩٧٢ تستخدم الان كمعلم ثابت من معالم أنشطة الاستكشاف على طول ساحل لبرادور . وذكر بنيديكت أن وسيلة السحب المستخدمة تتضمن ربط حبل بوليبرولين ١٠سم عائم حول خط الماء وتشغيل قوة بين ٤٥ و ٣١٠ كيلو نيوتن عند تلك النقطة لدفع جبل الجليد بعيدا عن منصة الحفر . ويجب أن يوضع النظام ويرفع على وجه السرعة . ونظرا لاتساع النسبة بين حجم جبل الجليد والسفينة المعونة ، فان هذا يحتم الطواف حول جبل الجليد أثناء وضع ما يزيد على ٦٠٠م من المعدات كبيرة الحجم الضرورية فى لسرع وقت ممكن .

واقترح بنيديكت نظاما محسنا لان النظام القائم قد منى بالفشل فى بعض الاحيان فيما يتعلق بجبال الجليد الاصغر حجما وغير الثابتة والمقببة الشكل . وقد اضاف جزءا مطاطا وجزءا مغمورا الى الجزء العائم ، وربطت الثلاثة الى بعضها بواسطة مجموعة مكونة من مشبك ووصلة . وقيل ان هذا النظام يقضى على مشكلة التكيف الشائعة فى جميع الانظمة التى تستخدم اثنين أو أكثر من الاجزاء المتوازنة حاملة النقل فى نفس الوقت . وعلاوة على هذا ، قيل انه سهل المعالجة ويتمشى مع النظم الحالية (بنيديكت، ١٩٧٨) .

واقترح هلت فى مشروعة التجريبى المعروض لنقل جبلين جليد بين صغيرين الى كاليفورنيا ، تجريب أنواع مختلفة من اساليب التحكم على طول الطريق . وقال انه ينبغى تصميم شبكة كبلات لكى تعطى قوة دفع لجبل الجليد فى فترة حياته بما فى ذلك وقت استخلاصة فى منطقة القطب الجنوبى ، ونقله الى محطة الوصول وارسائه فى فترة تحويله الى ماء عذب ومبرد . وينبغى مقارنة أساليب التحكم المسجلة التى من شأنها أن تبقى الحزام فى موضعه الصحيح تحت الضغط المناسب مع التوزيع المناسب لجهد الشد على الجليد بالقرب من زوايا الجهد العالى . وأن نقط وصل كوابل السحب والارساء ستكون متوافرة فى كل زاوية (هلت، ١٩٧٨) .

(د) العزل

أكد هلت كما ورد من قبل ، ضرورة عزل جبال الجليد عند الشروع فى نقلها الى نصف الكرة الشمالى واقترح لف جبل الجليد بأحزمة متقاطعة من خيوط متينة من البلاستيك عرضها حوالى ٣م على امتداد عرض الجبل . وينبغى أن لا تحتاج كل طية الى أكثر من لفة بلاستيك واحدة . وافترض هلت أن جانبى الجبل الجليدى وبطنه هى وحدها التى ستحتاج الى التغطية للعزل . أما الجانب

العلوى فيمكن استخدامه فى ربط الحلقة باحكام وغمر أطراف الحزام فى الجليد لتثبيته عكس الاتجاه الذى يسبب الاحتكاك السطحى لدى سحب الجبل الجليدى فى اتجاه التيار.

ويشمل التجهيز تحت الماء تمرير كبل مثقل تحت جبل الجليد بين زورقى سحب . ويتم ربط الكبل فى حلقة متصلة حول جبل الجليد ، ويسحب الكبل ، بالاستعانة بأوناش مناسبة على الجانب الأعلى ، مركبة لتعقب وتحزيز الجليد وفرد الاحزمة ، تعمل بالتحكم عن بعد ، حول بطن جبل الثلج .

ومن الممكن عمل لفات البلاستيك من طبقتين من الاغشية الرقيقة على أن تكون الطبقة الملاصقة للجليد مضفرة بشبكة ذات فراغات من أحبال الجهد (بمسافات ٢ر٠ م ، مثلا) وبطبقتين من الاغشية المضفرة عند الاطراف مع حبال الربط الرئيسية . وعندما تغطس حبال الجهد فى الجليد فانها ستحجز الماء الذائب فى اللحاف المجوف لتكون جيوبا من الماء الساكن تحت الغشاء المشدود بين جبل الجليد وماء البحر الجارى (هلت، ١٩٧٣) . ووجد هلت أن هذا النظام سيخفض الذوبان الى أقل من ٥ فى المائة فى السنة بالنسبة لمعظم جبال الجليد .

وكان بدر (١٩٧٩) أقل تفاؤلا ، اذ أنه رأى أن العازل يمكن أن يتفكك بسهولة . واذا سقط ولو جزء صغير منه عند خط الماء فى عاصفة ، فان هذا التلف يمكن أن يزيد نتيجة للقطع السفلى والذوبان وهو مايؤدى الى انتشار تعرى مساحات أكبر من سطح الجبل .

ورأى الباحثون المشتركون فى تجربة امكانية نقل جبال جليدية الى المملكة العربية السعودية أن العزل الحرارى يبشر بنتائج أفضل (بلسماتشى وجامجون ١٩٧٨ ؛ فريش وكريستا ١٩٧٨ ؛ وحسين ١٩٧٨) . وأجريت تحليلات واسعة لانواع عديدة من الرغاوى . واعتبرت الرغاوى أفضل من أغطية البلاستيك سهولة استخدامها ، وامتياز خواص العزل فيها وثباتها أثناء النقل . واختيرت رغوة البوليبوريتان كأفضل نوع لانها أقل الانواع توصيلا للحرارة من بين المواد العازلة المعروفة جميعا . وتوصل حسين الى أنه من الممكن رش رغوة البوليبوريتان على سطح جبل الجليد بواسطة أدوات مصممة خصيصا لذلك يمكن تشغيلها تحت الماء بالتحكم من بعد . ومن الممكن أن تقوم مركبة التحكم من بعد تحت الماء بتوصيل الرغوة الى بطن جبل الجليد عن طريق أنبوبة عازلة باستخدام جهاز كسوة بالرغوة . أما بالنسبة للجانبين ، فيتم تغطية الطبقة العازلة بطبقة من البلاستيك المقوى ، أو وصل صفائح الرغوة ببعضها باستخدام نظام اللسان والفتحة .

وقدر حسين تكاليف نظام العزل هذا عند تغطية جبل جليدى تبلغ مقاييس ابعاده ١٢٠٠م × ٣٠٠م × ٢٦٠م بـ ١ر٨ مليون دولار (بأسعار عام ١٩٧٧) . وهذا يعنى ٩٠ر من الدولار تقريبا لكل متر مكعب من الجليد . واذا

وضعنا التضخم فى اعتبارنا ، فان الرقم يصل الى حوالى ٥ ١ر من الدولار لكل متر مكعب من الجليد ، وهو مازال يبدو منخفضا جدا بالنسبة لنوع العملية المعقدة المقترحة.

٤ - التطبيق فى البلدان النامية

تدل التجارب التاريخية وكذلك التجارب الحديثة على أن أكثر الطرق الممكنة لنقل جبال الجليد هو مسار تيار همبولت المتجه الى الشمال من منطقة القطب الجنوبى على امتداد الساحل الغربى لامريكا الجنوبية . والبلاد التى بها مناطق قاحلة على امتداد هذا الطريق هى شيلى وبيرو وربما المكسيك . وتتمتع شيلى وبيرو بمزايا المياه شديدة العمق والباردة على امتداد سواحلها . ومن ثم فان هذين البلدين الناميين يستطيعان بسهولة الاستفادة من مشروع نقل جبال جليدية مكشوفة من منطقة القطب الجنوبى . ويعول علماء المحيطات على قوى الطبيعة الرئيسية فى المساعدة على خفض التكاليف . فعندما يدخل زورق السحب مجرى تيار هامبولت بالقرب من ساحل أمريكا الجنوبية ، فان تيارات المحيط ستقوم بالجزء الاكبر من حركة جبل الجليد فى اتجاه الشمال ، وستكون مهمة الزورق الاساسية على امتداد الطريق هى وضع جبل الجليد فى مجرى التيار والمحافظة عليه . ومع هذا تبقى التكاليف كبيرة ، وسوف يتعين على بلدان أمريكا اللاتينية بكل تأكيد أن تختار بدائل أخرى قبل أن تغامر بالدخول فى مشروع لنقل جبل جليدى . أما فى حالة المناطق التى تقع على مسافة أبعد ناحية الشمال على امتداد ذلك الطريق ، مثل المكسيك وكاليفورنيا ، فان العزل سيكون ضروريا ، والمرجح أن تحول التكاليف دون ذلك فى الوقت الحاضر.

ومن جهة أخرى ، كان هلت لايزال يعتقد فى أواخر السبعينات أن أفضل الاحتمالات لاستغلال جبال الجليد فى منطقة القطب الجنوبى على نطاق واسع ستكون فى جنوب غرب الولايات المتحدة وشمال غرب المكسيك ، حيث يمكن توافر الجزء الاكبر من الموارد اللازمة لهذا الاستغلال . أما معظم الطلبات الاخرى ، فسوف تكون فى أرجح الاحتمالات على نطاق أضيق فى مواطن كثيرة فى انحاء العالم . ويرى هلت ، مع هذا ، أنه فى حالة نمو الطلب النقدى على الاغذية لتوفير التغذية المناسبة لسكان العالم ، فان من الممكن أن ينمو استخدام جبال الجليد من منطقة القطب الجنوبى على نطاق واسع فى المناطق الساحلية فى شمال افريقيا والشرق الاوسط واستراليا (هلت ١٩٧٨ أ) .

وقد أعلنت المملكة العربية السعودية عن اهتمامها القاطع بنقل جبال جليدية خلال السنوات الاخيرة ، بيد أن طريق منطقة القطب الجنوبى - المحيط الهندى يمثل فيما يبدو اصعب حالة على الاطلاق . اذ تغطى الجزء الاكبر

من المحيط الهندى على امتداد طريق السحب المقترح مياه تتجاوز درجة الحرارة فيها ٢٠ درجة مئوية . وتبلغ درجات الحرارة فى مياه بحر العرب خلال شهرى كانون الثانى /يناير وشباط/فبراير (الرياح الموسمية الشمالية الشرقية) من ٢٥ الى ٢٨ درجة مئوية . وفى شهرى تموز/يوليه وآب/أغسطس،أى أثناء الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، تزيد درجات الحرارة عن ٢٨ درجة مئوية . وتؤدى حرارة سطح البحر والهواء الى حدوث نسبة كبيرة من الذوبان ، وغالبا ما تسبب العواصف العنيفة متاعب كبيرة لعملية السحب . ويبدو تنفيذ هذا المشروع أمرا مستحيلا ، مالم يتم توفير عزل حرارى وحماية لجبل الجليد ،أو ما لم يتم ابتكار وسيلة لتجميع الماء الذائب على امتداد الطريق (دينر،١٩٧٨) .

وقد رأى ويكس وميلور (١٩٧٨) أن نقل جبال الجليد يمكن أن يكون عملية مجدية بالنسبة لجنوب استراليا . وسوف توفر العملية الناتجة الخبرة اللازمة لوضع تقييم عملى لفرص نجاح توصيل جبال الجليد الى مواقع أبعد ، والوقت اللازم للتفكير فى سبل حل المشاكل العويصة المتعلقة بخفض خسائر الذوبان أثناء النقل عن طريق عزل جبال الجليد عن البحر المحيط بها . بيد أن السواحل المحيطة باستراليا تفتقر الى العمق اللازم لارساء جبل جليدى على مسافة قريبة . وعلاوه على هذا ، فان التكاليف المتزايدة لضخ الماء الى داخل البلاد والى ارتفاعات أعلى تفرض قيودا على الطلب.

وهناك مشكلة خطيرة أخرى لم تعالج بالقدر الكافى تتعلق بكيفية التعامل مع جبل الجليد عند وصوله . اذ ينبغى التوصل الى اجابات عن الاسئلة المتعلقة بكيفية ارساء جبل الجليد ، وكيفية التصرف فيه ، وكيفية تجميع الماء قبل اختلاطه بمياه البحر المحيطة ، وكيفية تخزين كميات ضخمة من المياه فى محطة الوصول ، قبل اعتبار مثل هذا المشروع مجديا . وربما يكون المشروع مجديا ، فى المدى القصير ، لو أمكن استخدام الماء من جبل الجليد دون حاجة الى نقل الجبل كله . ويمكن استخلاص الجبل بواسطة التفجير ونقل كتل الجليد الناتجة بشحنها فى سفينة لنقل المواد الخام . وبهذه الوسيلة يمكن توفير كمية من المياه توازى حمولة السفينة (أى حتى ٢٠٠٠٠٠٠ م^3) والقضاء على مشاكل الذوبان والسحب ، وتوصيل الماء بأسرع مما يحدث فى عملية لسحب جبل جليدى .

وعلى الرغم من الكم الكبير من الدراسات والافكار التى دارت حول محاولة اثبات جدوى عملية نقل جبل جليدى ، فان التكنولوجيا اللازمة لم تبتكر بعد ، كما أن الطلب لم يرتفع بحيث يبرر التكاليف الضرورية . ان هذه المياه ستبقى فى مستودعاتها لاستخدامها مستقبلا فى وقت تكون فيه البشرية فى حاجة ماسة تدفعها الى استغلالها .

٥ - اعتبارات اقتصادية

قدم عدد كبير من الباحثين ، خلال مؤتمر استخدام جبال الجليد الذى انعقد فى ايمس، أيوا ، فى عام ١٩٧٧ ، تقديراتهم لتكاليف الجوانب المختلفة لنقل جبل جليدى : الوقود ، وتشغيل زورق سحب وناقلة ، والعزل ، وغيرها . وقدرت جميع هذه التكاليف حسب ضخامة الاحجام . وبلغت تقديرات التكاليف حتى بالنسبة لمشروع هلت التجريبى ، الذى تضمن سحب جبلين جليديين صغيرين من منطقة القطب الجنوبى الى كاليفورنيا ، بـ ٣٠ مليون دولار (أى ٤٨ مليون دولار بأسعار عام ١٩٨٤) .

وقدر حجم النفقات الاولية بالنسبة لمشروع نقل جبال الجليد الى المملكة العربية السعودية بما يتراوح بين ١٠ بلايين و ٥٠ بليون دولار في نموذج التخطيط متعدد العناصر الذى وضعة أحمد ، وشو، وعبد الفتاح (١٩٧٨). واذا عملنا حساب التضخم، فان هذا المشروع يمكن أن يتكلف ما يتراوح بين ١٦ بليون الى ٨٠ بليون دولار . ويرى الباحثون أن هذه النفقات يمكن ، فى المدى الطويل أن تؤدى الى انخفاض تكاليف الماء نسبيا (من ٢٠ر من الدولار الى ٨٥ر من الدولار للمتر المكعب (٨٠ر من الدولار الى ٣ر٢٠ دولار لكل ١٠٠٠ جالون) بأسعار اليوم) نظرا لضخامة كميات الماء المنقولة . بيد أن الاستثمار الاولى فى التسهيلات والحفر وتعديل الميناء ، سيكون من الضخامة بحيث يحد بالفعل من عدد الدول التى تحاول مجرد التفكير فى هذه النفقات . ان هذا المشروع سوف يبقى فى دائرة الحلم لفترة طويلة .

ثالثا - اعادة استعمال المياه

ألف - مقدمة

يستخدم الماء فى استعمالات متعددة مثل الشرب، والطهو، والتنظيف، والكسح الصحى، والرى الزراعى، والتجهيز الصناعى. ويبلغ الماء من عدد كبير من البلدان الصناعية حدا يجعلها تستخدم الماء من نوع واحد فى كل هذه الاغراض. أما فى المناطق التى تعانى من نقص المياه. حيث تكون تكلفة مياه الشرب مرتفعة جدا، فقد يكون من الحكمة التفكير فى استخدام مياه من نوعية أدنى فى بعض هذه الاستعمالات.

والواقع ان كمية المياه المستهلكة فى مجمل استعمالات المياه للاغراض المنزلية فى المناطق الحضرية، قليلة جدا. وهى تستخدم فى الغالب كوسيلة مريحة لنقل النفايات فى شكل مادة ذائبة أو معلقة بعيدا عن البيت أو مكان العمل الى مكان يمكن التخلص منها فيه. ونادرا ما تزيد مواد النفايات، حتى فى أكثر مخلفات المياه تركيزا، على اكثر من عشر واحد بالمئة من كمية المياه المهدورة. وعندما يكون المياه وفيرة، يكون من الاسهل عادة استخدام مياه جديدة بدلا من تنقية المياه المستعملة (أو ماء الصرف). ولكن، لما كانت المياه الجديدة تزداد ندرة وتكلفة، فان ازالة بعض مواد النفايات واعادة استخدام المياه تصبح أفيد اقتصاديا من اكتشاف مصادر جديدة. وكلما زادت نسبة مواد النفايات (الملوثات) التى تتم ازالتها، أصبحت عملية المعالجة اصعب وأكثر تكلفة. والحل المستخدم بوجه عام هو ازالة جزء فقط من الملوثات ثم يعاد استعمال المياه بعد ذلك فى أغراض تحتمل وجود هذه المواد. وتتمثل الاستعمالات الشائعة للمياه المروقة، فى الرى الزراعى ورى الحدائق، والكسح الصحى، والتبريد الصناعى. وتحل المياه المروقة، فى كل حالة من هذه الحالات، محل مياه من درجة أعلى، ومن ثم تقل الحاجة العامة الى مياه جديدة فى هذه المنطقة أو تلك.

واذا قام مجتمع ما بتجميع مياهه المدورة فى نظام للصرف، تكون لديه عندئذ فرصة معالجتها واعداة استعمالها عن بعض الاغراض المفيدة. وتتوقف درجة المعالجة المطلوبة على طريقة استعمال المياه المروقة. وهذه الاستعمالات يمكن أن تتدرج من مياه التبريد الى الرى الزراعى الى ماء الشرب. ولم يحدث أن تم ترويق المياه المهدورة لاستخدامها بقصد واضح كماء للشرب الا فى حالات نادرة، ويحتاج الماء، لكى يكون صالحا لفترة طويلة، الى معالجة على درجة من التعقيد والتطور. بيد أن المعالجة يمكن أن تكون أبسط كثيرا حينما يتعلق الامر بأغراض صناعية وزراعية معينة، ويمكن اتمامها فى الغالب باستخدام نظم تحتاج الى طاقة قليلة مثل البحيرات الضحلة والمسطحات المائية.

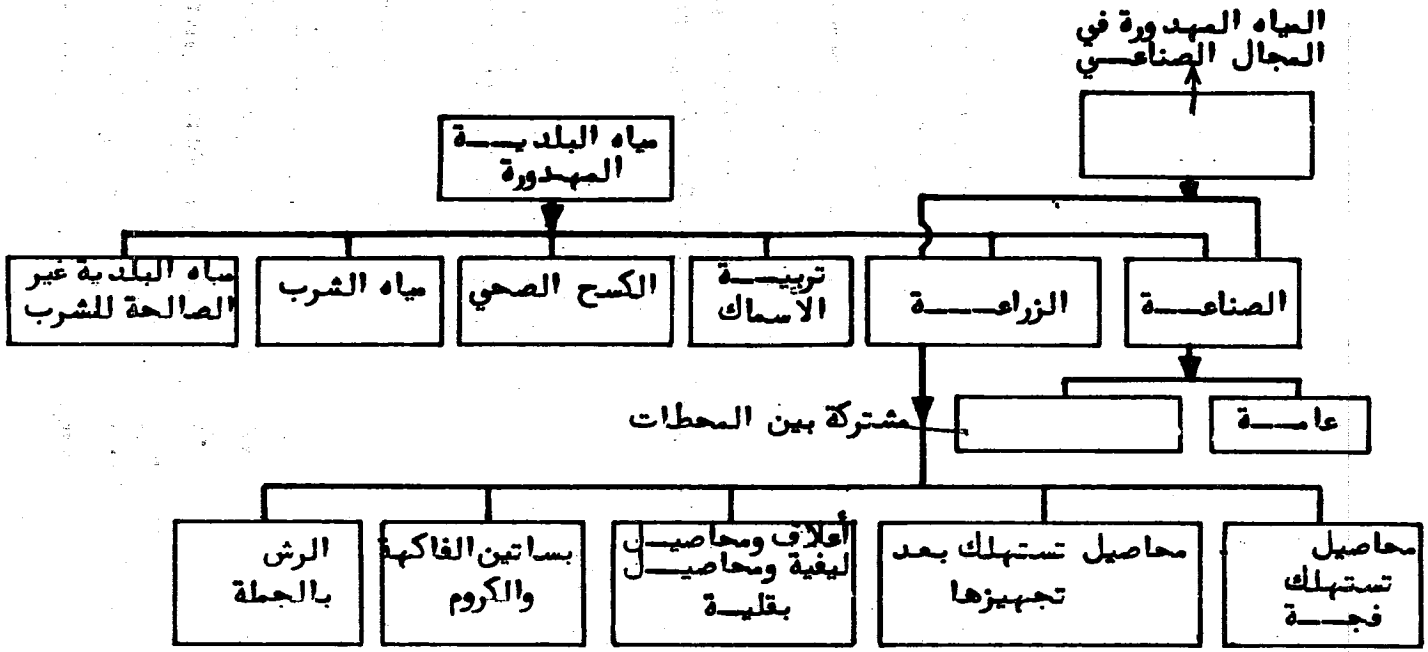
باء - ترويـــــق المياه المهد ورة

تعتبر المياه المهد ورة مصد را للمياه على د رجة كبيرة من الاهميـــة حيث يمكن ترويقهـــــا واعادة استخد امها بغية تخفيض الطلب على مصاد ر مياه الشـرب المتاحة أو زيادة هذه المصاد ر . ومن اساليب تخفيض الطلب على استعمال ميـاه الشرب، الاستعاضة عنها بمياه متوفرة من نوعية أقل ولكنها أقل تكلفة فى الاغـــراض التى لا تحتاج الى مياه عالية الجودة . ومن الممكن فى بعض المناطق ، معالجـة المياه المستعملة أو مياه المجارير من المصاد ر البلدية أو الصناعية واعـــــــادة استخد امها (ترويقهـــــا) فى بعض الاغراض المفيدة . ويمكن أن يحقق ذلـــك فائدة مزد وجة نظرا لانه يمكن أن يخفف من تأثير تصريف المياه المستعملة ويقـــلل فى الوقت ذاته الطلب على مياه الشرب.

وهناك خلاف يظهر أحيانا عند مناقشة اعادة استعمال المياه المهـد ورة حول المعنى الد قيق للمصطلحات المستخد مة . وقد وردت تعريفات للمصطلحـات الواردة فى هذا الفصل (أخذت عن كاسبرسون وكاسبرسون ، ١٩٧٧) فى نهايـة هذا الجزء .

وتتناول الفصول التالية بالمناقشة استخد ام المـروق من المياه المهـد ورة من البلد ية والصناعة فى الاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية . ويقد م الشـكل الثامن رسما توضيحيا يبين امكانية استخد ام المياه المهد ورة .

وقد وجهت بعض الاستعمالات الشائعة للميـــــاه المهـــــد ورة المروقـة التى ساعد ت على تخفيض الطلب على مصاد ر المياه المتاحة الى الـــــرى الزراعى والتبريد الصناعى . وتتضمن الاستعمالات التى تتعلق بزياد ة المصـــاد ر المتاحة اعاد ة تغذية المياه الجوفية واعاد ة الاستخد ام المباشر (بعد المعالجـة المناسبة) لاغراض الشرب.



الشكل رقم ٨ – اعادة استخدام المياه المهدورة بصورة متعددة

المصدر: مأخوذة بتصرف من ف.م ميدلتون "تطبيق تكنولوجيا معالجة المياه المهدورة في مجال اعادة استخدام المياه في ..."
H.I. Shuval, ed. Water renovation and reuse, (New York, Academic Press, 1977), p. 6.

-237-

١ - خلفية تاريخيـــة

شهدت السنوات المائة الماضية زيادة هائلة فى استخدام الماء فى نقل ناتج النفايات المنزلية والصناعية ، وفى تجهيز السلع الزراعية والصناعية وفى التبريد الصناعى . ويؤخذ الماء عموما من البحيرات والانهار أو المياه الجوفية ، ويجـــرى تصريفة بعد استخدامه برده مرة أخرى الى البحيرات والانهار والمياه الجوفيـــة . وقد ترتب على هذا التتابع من استعمال ثم صرف ثم استعمال ثم صرف ، الـــخ ، قدر معين من اعادة استخدام المياه المستعملة من قبل (المياه المهدورة) فـــى مجالات عديدة . ويصدق هذا بوجه خاص على البلدان الصناعية حيث تتركـــز المراكز الصناعية والسكانية فى الغالب على امتداد أنهار كبيرة . وتحدث اعـــادة الاستعمال غير المقصودة هذه بانتظام على امتداد نظم أنهار مثل الرايـــــن أو المسيسيبى .

وساعدت القدرة التنظيفية الطبيعية للبحيرات والانهار وانواع التربـــة ، الى جانب قيام المستفيدين بمعالجة تصريف المياه المستعملة وقيام المستهلـــك بتوفير امدادات المياه غير المعالجة ، على تقليص مشاكل نوعية المياه الرئيســـية المرتبطة باعادة الاستعمال غير المخطط الى الحد الادنى . أما اعـــادة الاستخدام المخططة للمياه المستعملة فقد تمت بطريقة اكثر تنظيما . وقـــد استعملت مياه البلدية المهدورة والراسب الطينى فى الرى الزراعى باســـتخدام درجات مختلفة من المعالجة فى بلدان مثل استراليا ، وجمهورية ألمانيا الاتحادية ، والمكسيك ، وجنوب افريقيا ، والولايات المتحدة الامريكية لفترة طويلة . واســتعملت مدينة مكسيكوسيتى ، على سبيل المثال ، جزءا من مياهها المستعملة فى الـــرى الزراعى منذ عام ١٨٨٦ . وغالبا ما كان الهدف من اعادة استعمال الماء فـــى بلدان عديدة هو معالجة المياه المستعملة أكثر منه خفض الطلب أو زيـــادة امدادات المياه .

وقد ازداد اهتمام عدد من البلدان النامية خلال السنوات الثلاثـــين الماضية بدراسة اعادة الاستخدام المباشر المخطط للمياه المهدورة لاغراض الشرب . وحدث جفاف شديد فى منتصف الخمسنات فى وسط الولايات المتحدة ، دفـــع مدينة صغيرة مثل شانوت فى كانساس ، الى استخدام جزء من مياه معمل الميـــاه المستعملة فيها كمصدر مباشر ، وبصفة مؤقتة ، لمعمل معالجة المياه بها من أجـــل توفير امدادات مستمرة من مياه الشرب (متزلر وآخرون ، ١٩٥٨) . وفى اواخـــر الستينات قامت مدينة وندهوك ، فى ناميبيا ، بانشاء معمل متطور لمعالجة الميـــاه المستعملة وبدأت فى استخدام جزء من مياهها المستعملة المعالجة فى توفـــير ما وصلت نسبته الى ٣٠ فى المائة من امدادات مياه الشرب فيها .

وخلال السبعينات، وجه عدد كبير من البلدان الصناعية نسبة كبيرة من البحوث الى امكانيات ومخاطر اعادة الاستخدام المباشر فى الشرب . وعلى الرغم من أن ذلك أدى الى معرفة قدر كبير من المعلومات حول الموضوع، الا أنه لم يسفر عن أى تطبيق واسع النطاق لاعادة الاستخدام المباشر للمياه المستعملة لاغراض الشرب . وبدلا من ذلك، فان جميع الاستعمالات الحالية صغيرة الحجم وتتم على سبيل الكراسة بوجه عام .

بيد أن اعادة استخدام المياه المستعملة فى أغراض غير الشرب مثل الرى الزراعى، ورفع منسوب المياه الجوفية، واعادة الدورات داخل المصانع، قد ارتفعت بدرجة كبيرة خلال السنوات العشرين الماضية . وقد حدث هذا بصفة عامة فى البلدان الصناعية، حيث تدخل اعتبارات مكافحة التلوث، فى الغالب، فى قرارات اعادة استخدام المياه المستعملة .

٢ - اعتبارات تقنية

يمكن تقسيم المياه المهدورة الى فئتين عامتين هما المياه المنزلية والصناعية المهدورة . وتتكون المياه المنزلية المهدورة أساسا من خليط من المياه والنفايات الناتجة عن الانشطة غير الصناعية (المنازل والمطاعم، والمدارس) . وتشتمل هذه النفايات، فى العادة، على مواد ذائبة ومعلقة تتكون من المخلفات البشرية والحيوانية، والصابون، والزيوت، والدهون، والخضروات، والفضلات الحيوانية، والمواد الكيميائية المنزلية، والتربة، والبكتريا، والفيروسات .

ويبين الجدولان ١٦ و ١٧ التكوين والخصائص العامة للمياه المنزلية المهدورة، وخير مثال على المياه المستعملة المتوسطة المقاومة هى المياه المستعملة الموجودة فى بلد صناعى مثل الولايات المتحدة أو كندا، حيث تتيسر امدادات وفيرة من المياه . أما فى المناطق التى يستخدم فيها الماء بمزيد من الحرص، بسبب ندرته أو ارتفاع تكلفة، فان المياه المستعملة المتوقع وجودها تكون ذات مقاومة أعلى . وتتواجد المياه المستعملة ضعيفة المقاومة عادة حيث تكون شبكة تجميع المياه المستعملة (المجارى) تجمع أيضا كميات كبيرة من الطين أو مياه العواصف بسبب الرشح أو التسرب .

الجدول ١٦ - المكونات النمطية للمياه المنزلية المستعملة

	المكونات في المليجرام الواحد		
	معدنية	عضوية	المجموع
جوامد معلقة	٦٥	١٧٠	٢٣٥
جوامد ذائبة	٢١٠	٢١٠	٤٢٠
مجموع الجوامد	٢٧٥	٣٨٠	٦٥٥

المصدر: G.M. Fair and J.C. Geyer, Elements of Water Supply and Waste Water Disposal (New York, John Wiley and Sons, 1958).

الجدول ١٧ - الخصائص الطبيعية والكيميائية
للمياه المنزلية المستعملة

المكونات الرئيسية	التركيز (في الملغم الواحد) قسوى	متوسط	ضعيف
مجموع الجوامد	١٢٠٠	٧٠٠	٣٥٠
جوامد مذابة	٨٥٠	٥٠٠	٢٥٠
جوامد معلقة	٣٥٠	٢٠٠	١٠٠
نيتروجين	٨٥	٤٠	٢٠
فوسفور	٢٠	١٠	٦
كلوريد (أ)	١٠٠	٥٠	٣٠
قلوية (في صورة كلسيوم كوبلت^{٣})	٢٠٠	١٠٠	٥٠
دهون	١٥٠	١٠٠	٥٠
الطلب على الاوكسيجين الكيميائي الكيميائي الحيوي (ب)	٣٠٠	٢٠٠	١٠٠

المصدر: This data adapted from Metcalf and Eddy, Inc., Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, Reuse, 1st. ed. (New York, McGraw Hill Book Company, 1972), page 231.

(أ) تزيد هذه الكمية بالضرورة بتركيز هذه المكونات في مياه الصرف. يبين الجدول المكونات الرئيسية فقط.

(ب) الطلب على الاوكسيجين الكيميائي الحيوي هو الطلب لمدة خمسة أيام من هذا الاوكسيجين مقاسا عند درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية. وهو قياس للمحتوى العضوي القابل للتحلل الحيوي في المياه المستعملة.

وتتميز مخلفات المياه الصناعية بتغير انسيابها وتكوينها وحرارتها ، وفقا لاستعمالات الماء في كل عملية تصنيعية . ومن الممكن أن تتدرج تلك الاستعمالات من اذابة أو كسح مواد مثل المواد الكيميائية أو مخلفات الطعام الى استخدامها كمياه تبريد فى محطات توليد الطاقة أو مصانع صقل المعادن . ويغير كل استخدام مختلف من خصائص الماء الذى يتم تصريفة من هذه الصناعة

وتكاد المياه المستعملة ، سواء من البلدية أو الصناعة ، باستثناء النفايات الصناعية شديدة المقاومة ، أن تكون فى الغالب مياه نقية تحتوى على كمية ضئيلة من الملوثات . وتتكون هذه الملوثات فى مخلفات المياه المنزلية ، عادة من أقل من ١٠٠٠ جزء فى المليون من المزيج كله . وعادة ما يكون من الصعب ، مع الاسف ، التخلص تماما من هذا التركيز الضئيل ، فضلا عن أن وجوده يمكن أن يقلل الى حد بعيد من امكانية اعادة استخدام المياه .

ومصدر القلق الرئيسى فى اعادة استخدام المياه المنزلية المستعملة هو وجود مواد مسببه للامراض مثل البكتريا ، والفيروسات ، وغيرها من الكائنات الحية المجهرية التى يمكن أن تسبب الامراض . وأصبح مصدر القلق الرئيسى مع استخدام المخلفات الصناعية هو بوجه عام وجود مواد سامة أساسا أو غيرها من المواد التى يمكن أن تضر بالصحة العامة . وكلما ظهرت مواد كيميائية جديدة واستخدمت فى البيوت والصناعة ، زاد احتمال حدوث مشاكل . ومما يعقد اعادة استخدام المياه المستعملة كون ان الجزء الاكبر من المياه المستعملة التى تجمعها البلديات تأتى من مجموعة مصادر صناعية ومنزلية .

ويتمثل الاعتبار الاول فى نجاح اعادة استخدام المياه المستعملة فى ازالة تلك المواد التى تعوق الاستخدام المقترح للمياه المستعملة وذلك بطرق اقتصادية . ويتمثل القيد على اعادة استخدام الماء فى أن تكلفة الازالة المؤكدة لتلك المواد التى يمكن أن تسبب الضرر غالبا ما تفوق تكلفة الحصول على الماء من مصدر آخر .

(أ) اعادة الاستخدام المنزلى

تعنى اعادة الاستخدام المنزلى اعادة استخدام المياه المستعملة للاغراض المنزلية . وهناك مثالان محددان على ذلك هما استخدام المياه المستعملة المعروفة فى الكسح والاستهلاك لاغراض الشرب . ومن الشائع استخدام المياه المستعملة المرشحة أو غير المرشحة فى كسح المراحيض فى عدد كبير من الفنادق والمجمعات السكنية فى المناطق التى تعانى من نقص المياه فى منطقة الكاريبى ، وفى سنغافورة ، وفى بعض الفنادق ، والاسكان ، الادارى والمجمعات الصناعية فى اليابان .

ويتعين أن تكون نوعية المياه جيدة بدرجة كافية لتجنب حدوث أى مشاكل للصحة العامة، فى حالة حدوث اتصال قصير. ويتعين كذلك أن تكون مقبولة للذوق العام . والعامل الحاسم فى هذا النوع من اعادة الاستخدام هو مراقبة الانشطة فى منطقة ما بغية القضاء على امكانية حدوث اختلاط بين شبكات المياه المخصصة للشرب والمياه المخصصة لغير للشرب.

ويمكن تقسيم اعادة الاستخدام لاغراض الشرب الى قسمين ، اعادة استخدام مباشر وغير مباشر . وفى حالة اعادة الاستخدام المباشر تتم معالجة المياه المستعملة ثم تستخدم مباشرة فى أغراض الشرب. أما فى حالة اعادة الاستخدام غير المباشر، فان المياه المستعملة تعالج ، ثم تصرف فى مياه المصادر الطبيعية حيث تخلط بها ثم تروق لاستخدامها فيما بعد . ومن أهم الامثلة على اعادة الاستخدام غير المباشر اعادة تغذية المياه الجوفية بالمياه المعالجة .

وينبغى الاعتناء ، سواء فى حالة اعادة الاستخدام المباشرة أو غير المباشرة، بحماية الصحة العامة، لان المياه المستعملة بطبيعتها ، تشكل خطرا كبيرا على الصحة . وتفضل المياه المستعملة من المصادر المنزلية بصفة عامة على المياه المستعملة الصناعية، بالنسبة لاعادة الاستخدام المنزلى ، نظرا لان مياه المجارير المنزلية تكون عادة أسهل فى المعالجة فضلا عن أن احتمالات وجود مواد كيميائية سامة بها تكون أقل بكثير.

(أ) اعادة الاستخدام المباشر لاغراض الشرب

ان معالجة المياه المستعملة الى الحد الذى يمكن عنده اعادة استخدامها بأمان فى اعراض الشرب، تحتاج بصفة عامة الى مستوى أعلى من المعالجة . وهى تتطلب على وجه التحديد أقصى قدر من العناية والحرص، لان المخاطر الصحية الطويلة المدى المرتبطة باعادة استخدام المياه المستعملة المعالجة بعمليات مختلفة لاغراض الشرب، لم تتحدد على نحو كامل بعد . وبغية تقليل الاخطار الى الحد الادنى ، ينبغى أن يقتصر التفكير فى اعادة الاستخدام المباشر للمياه المستعملة لاغراض الشرب على الاماكن التى بها مستويات عالية من الدعم التكنولوجى لانشاء وتشغيل شبكات متطورة لمعالجة المياه المستعملة والاشراف عليها (الامم المتحدة، ١٩٧٤) .

وعلى الرغم من أن اعادة الاستخدام المباشر لاغراض الشرب قد نوقشت باستفاضة خلال السنوات العشرين الماضية ، فليس هناك عمليا فى الوقت الحاضر اعادة استخدام مباشر مخططة . وقد شرعت عدة بلدان أو مناطق فى رسم سياسات بأهداف أو تجارب ترمى فيما يبدو الى استخدام المياه المعالجة فى أغراض الشرب. ومن بين هذه البلدان هونغ كونغ، وناميبيا ، والولايات المتحدة .

وخلال الفترة ١٩٧٩ - ١٩٨٠، انشأت حكومة هونغ كونغ مرفق لمحطة تجريبية ودرست المصادر المختلفة للمياه المستعملة وعمليات المعالجة من أجل تحديد أنسبها استخداما كمصدر ممكن لمياه الشرب . وعلى الرغم من أن التجارب دلت على أن أساليب المعالجة الفيزيائية - الكيميائية مشجعة، فان الدافع الى مواصلة وتوسيع المشروع تقلص الى ادنى حد عند ما اتفقت حكومتا هونغ كونغ والصين على أن تقوم الاخيرة بتزويد الاولى بامدادات من المياه السطحية لفترة طويلة (افيريست، ١٩٨١) .

وفى ناميبيا بدأت مدينة ونددهوك عملية اعادة استخدام مباشرة لجزء من مياه بلديتها المستعملة المعالجة فى عام ١٩٦٩ . وعدلت عملية المعالجة خلال الفترة من ١٩٧٤ الى ١٩٧٦ بحيث شملت ترسيب الجوامد باستخدام الجير، واستخلاص الامونيا، واعادة الاشباع بثانى أكسيد الكربون، والترشيح، واستجذاب الكربون والتطهير بالكلور . واختلفت كمية المياه المروقة فى شبكة مياه الشرب وفقا للطلب، وتوافر المياه الجوفية وتشغيل المحطة . وخلال احدى الفترات فى عامى ١٩٧٧ و ١٩٧٨، تراوحت كمية المياه المروقة فى شبكة التوزيع بين ٢٠ و ٢٥ فى المائة (فان فورين وآخرون، ١٩٨٠) .

وقد ظهرت اعادة الاستخدام المباشر المخططة فى وقت مبكر فى الولايات المتحدة فى عامى ١٩٥٦ و ١٩٥٧، عندما أرغم الجفاف المسؤولين فى المدن على اتخاذ اجراء طارئ واستعمال جزء من مصدر المياه المستعملة لديهم كمصدر لتغذية محطة معالجة المياه عندهم . وعولجت المياه المستعملة بمرشحات نضاحة ثم بعد تصريفها فى بركة لحفظ المياه (حيث تمكث ١٧ يوما فى المتوسط) كان الماء يعالج فى محطة للمياه بواسطة وحدة لتحلية مياه بترسيب الجوامد باستخدام الشبه، والجير، ورماد الصودا، ثم يتبع ذلك اعادة الاشباع بثانى أكسيد الكربون والترسيب، والترشيح، والتطهير (متزلر وآخرون، ١٩٧٨) .

وفى أواخر عام ١٩٨٣ بدأ تشغيل مرفق الترويق المياه المستعملة بطاقة ٣٨٠٠ م^3/يوم (مليون غالون فى اليوم) فى دينفر بولاية كولوراد و، بطريقة أكثر دقة ونظاما . وهذا المرفق يعد جزءا من مشروع لهيئة المياه فى دينفر بلغت تكلفة ٢٩ مليون دولار وهو يؤكد جدوى تجهيز المياه المستعملة الثانوية وتحويلها الى مياه صالحة للشرب بصورة يعتمد عليها . وتتجة النية حاليا الى اثبات صلاحية المحطة لفترة تتراوح بين خمس وسبع سنوات . واذا ثبت نجاحها، فان هيئة المياه ستنظر فى انشاء محطة شاملة قادرة على معالجة ما يصل الى ٣٨٠٠٠٠ م^3/يوم (١٠٠ مليون غالون فى اليوم) .

وبالرغم من أن ناتج المياه من محطة الترويق لا يستخدم الان كماء للشرب فى شبكة مياه المدينة، فان المياه المروقة سوف تستخدم فى اجراء ابحاث

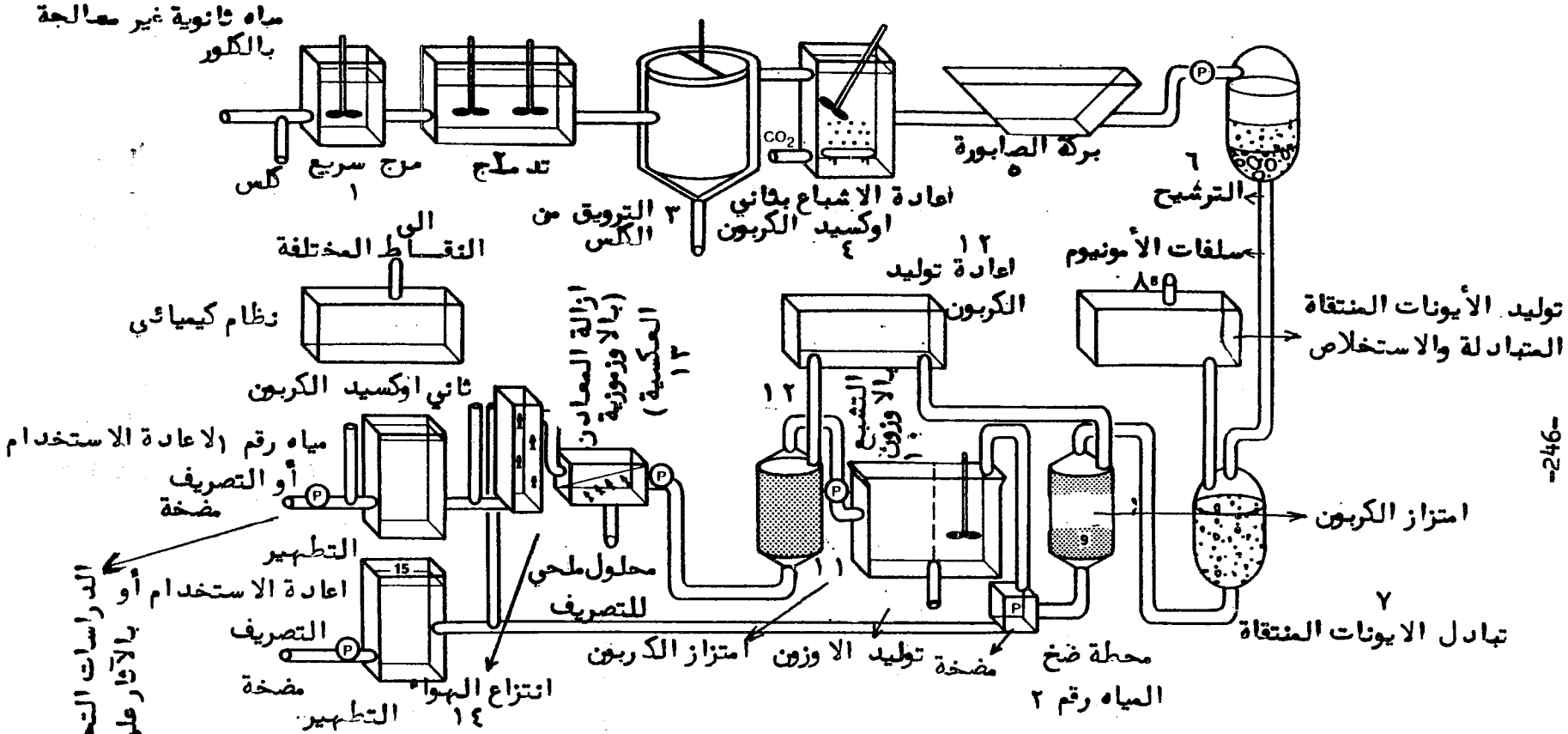
واختبارات واسعة على الاثار الصحية . وتتسم عمليات المعالجة التى تجرى فى هذه المحطة للمياه المستعملة الثانوية بقدر من التعقيد . ويقدم الشكل رقم (٩) رسما توضيحيا للعملية التى تتضمن التخثر الكيميائى ، والترشيح ، والتبادل الايونى ، والامتزاز الكربونى ، والتشبيع بالاوزون ، والاوزموزية العكسية ، والتطهير النهائى بثانى اكسيد الكلور . وسوف يكون لما يتحقق من تقدم ومعلومات من هذا المعمل خلال السنوات الخمس المقبلة أهمية بالغة فى تقييم امكانية اعادة الاستخدام الامن المباشر فى الشرب (أرمسترونج ، ١٩٨٣) .

(٢) اعادة الاستخدام غير المباشر لاغراض الشرب

يتميز هذا النوع من اعادة الاستخدام بأن المياه المستعملة المعالجة تصرف فى مياه المصادر الطبيعية حيث تختلط بها قبل استعادتها لاعادة استعمالها فيما بعد . وأشهر الامثلة على هذا هو تصريف المياه المستعملة المعالجة (أو غير المعالجة) فى نهر أو مجرى مائى بعد تخفيفها ، وتعرضها للهواء الطبيعى ثم سحبها بعد ذلك فى اتجاه مجرى النهر لاستعمالها فى أحد مصادر الامداد بالمياه . وهذا النوع من اعادة الاستخدام العفوى وغير المباشر شائع الى حد ما وهو غير مخطط بوجة عام .

وهناك شكل أكثر تخطيطا من أشكال اعادة الاستخدام المباشر وهو اعادة تغذية المياه الجوفية بالمياه المستعملة لمعالجة . ويمكن أن يتم ذلك لزيادة المياه الجوفية الموجودة أو الحد من تداخل مياه البحر ، ويمكن أن تؤدى العمليتان الى استهلاك الفرد لجزء من المياه المستعملة بعد استردادها .

وقد استخدمت الاحواض المنتشرة (أو سريعة السريان) فى اعادة تغذية المياه الجوفية بنجاح . وفى البداية تتم معالجة المياه المستعملة بدرجة ما ثم تنقل الى الاحواض فى مناطق ذلت تربة مسامية ومستودعات مياه أرضية خازنة . ومع تسرب المياه من سطح التربة ورشحها الى أسفل من خلال طبقات التربة تحدث تفاعلات حيوية وطبيعية وكيميائية تنتج عنها معالجة اضافية وازالة للجزء الاكبر من التلوث . واذا كانت الفترة التى يقطعها الماء فى رحلتة الطويلة كافية فان نسبة كبيرة من الكائنات المسببة للامراض والفيروسات تموت . وكما يبين الجدول ١٨ فان نوعية المياه الجوفية المستخلصة يمكن مقارنتها بما تنتجة شبكة متطورة لمعالجة المياه المستعملة . ومع هذا فانها شبكة طبيعية ، تقل فيها احتمالات الفشل بسبب التشغيل غير الكفء ، وتسهل ادارتها وانشاؤها . ويعتبر انسداد التربة تحت الحوض احدى مشاكل التشغيل الشائعة التى تحدث . ويمكن تخفيف حدة هذه المشكلة الى أدنى حد عن طريق المعالجة التحضيرية الكافية واستخدام دورات الترطيب ـ والتجفيف للاحواض .



الشكل رقم ٩ – عملية دينفر لمعالجة المياه لاعادة استخدامها

المصدر : أ . ارسترونغ ، "Technological magic demonstrated in Denver", in CH2M Hill Reports 21:4 (Denver, CH2M Hill International corporation, 1983).

الجدول ١٨ - النوعية المتوقعة للمياه المستعادة بعد الترشيح السريع في حوض منتشر

(ملليغرام/لتر)

المكونات	المتوسط (أ)	الحد الاعلى (أ)
الطلب على الاوكسيجين الكيميائي الحيوي	٥	١٠
جوامد معلقة	٢	٥
نيتروجين	٠ر٥	٢
مجموع النتروجين H_3	١٠	٢٠
مجموع الفوسفور	١	٥
بكتيريا القولون الغائطية عدد / ١٠٠ ميلي لامبرت	١٠	٢٠٠

المصدر: Adapted from United States Environmental Protection Agency and others, Process Design Manual; Land Application of Municipal Wastewater (Cincinnati, CH, USEPA, 1981).

(أ) وضع على اساس استخدام المياه المستعملة المعالجة سلفا بحد أدنى من الترسيب الابتدائي والترشيح خلال ٠ر٤ مترا (١٥ قدما) من التربة غير المشبعة.

وبالرغم من حقيقة أن شبكات الترشيح تنتج ماء مجددا على درجة عالية من الجودة ، فان الماء الذى يستخدم فى اعادة التغذية قد لايكون على نفس الدرجة من الجودة مثل الماء الجوفى الطبيعى ، وبالذات فيما يتعلق بنسب الملوحة . وعندما يكون من الضرورى حماية المياه الجوفية الطبيعية ، فانه يمكن التحكم فى حركة المياه المجددة وابعادها عن مستودع المياه الارضية المخصص لاعادة الاستخدام . ويمكن عمل ذلك بتصريف المياه التى تستخدم فى اعادة التغذية فى جسم من المياه الطبيعية يكون له مصارف من الآجر ، أو مجموعة من الآبار ، اذا كان سطح الماء عميقا .

وفى حالات خاصة ، حيث تكون مستودعات المياه الجوفية محصورة أو حين تكون الاراضى المناسبة لاحواض الترشيح غير متاحة ، فانه يمكن استخدام أساليب حقن الآبار . وهناك عيبان آساسيان فى هذا النوع من اعادة تغذية مستودع المياه الجوفية . يتمثل العيب الاول فى أن المياه المستعملة لابد أن تمر بقدر كبير من المعالجة التخضيرية قبل الحقن حتى ينخفض الى أدنى حد انسداد التكوينات الجيولوجية القريبة من البئر . والعيب الثانى هو أن هذا النوع من المستودعات لايتيح قدرا من المعالجة الطبيعية مساويا لما يحدث فى الاحواض ذات الاسطح المنتشرة .

وتستعمل اعادة التغذية بواسطة آبار الحقن عموما مع تسهيلات صممت للتحكم فى تداخل مياه البحر عن طريق عمل حاجز من الماء العذب فى مستودع الماء الارضى الساحلى . وقد ظهر فى أجزاء كثيرة من العالم استخدام أحواض الترشيح السريع واعادة تغذية المياه الجوفية كجزء من برنامج متكامل لاعادة استخدام المياه المستعملة .

وادرك مخططو مصادر المياه فى اسرائيل منذ حوالى عام ١٩٥٦ ضرورة وامكانية ترويق المياه المستعملة كمصدر بديل للحصول على المياه . وبحلول عام ١٩٨١ ، كانت اسرائيل تعتبر استخدام ٣٠ فى المائة من مما لديها من مياه مستعملة فى عدة أغراض ، ولكن فى الرى الزراعى آساسا . وفى أواخر الستينات ، كان هناك اقتراح بانشاء مشروع منطقة دان لترويق واعادة استخدام المياه المستعملة على نطاق واسع ، وقد بدأ تنفيذه بالفعل . ويقضى المشروع بجمع المياه المستعملة من منطقة تل ابيب ، ومعالجتها حيويا ثم استخدام الماء المعالج لتغذية المياه الجوفية من خلال احواض انتشارية . بعد ذلك يتم استعادة المياه الجوفية الجديدة الناتجة وخلطها بمياه صالحة للشرب تنقل من شمال البلاد الى حوالى ٥٠ تجمعا سكانيا صغيرا جنوب تل أبيب لاستعمالها فى الشرب والزراعة (شوقال ، ١٩٨٠) . ولكن خلال الفترة من منتصف السبعينات حتى أواخرها دفعت الاعتبارات المتعلقة بالاثار الصحية المحتملة الحكومة الى تعديل الخطة بحيث يقتصر استخدام المياه التى تم استعادتها على الاستعمالات الزراعية والصناعية وحدها .

وتجرى عمليات اعادة التغذية منذ منتصف السبعينات، وخلال الفترة بين ١٩٧٧ و١٩٨٢ تمت معالجة ٧٧ مليون متر مكعب (٢٠ بليون غالون) وتمت التغذية بها فى اطار هذا المشروع . وتشتمل المعالجة على برك اكسده يتبعها التخثر الكيميائى والترويق باستخدام الجير ($Ca(OH)_2$) وعملية المغنيسيوم ($MgCl_2$) . بعد ذلك يحتجز الماء المعالج الذى تكون به نسبة تركيز عالية من الهيدروجين والايون فى سلسلة من برك التنقية من الشوائب حتى تتم ازالة الامونيا دون عائق واعادة الكربنة الطبيعية قبل اعادة تغذية مستودع المياه الجوفية فى المنطقة به باستخدام الاحواض الانتشارية . ويتم ضخ المياه الجوفية فى المنطقة المجاورة لمنطقة اعادة التغذية بواسطة سلسلة من آبار الاستعادة .

وبحلول نهاية عام ١٩٨٢ بلغ حجم ما تم ضخة من خلال آبار الاستعادة من المياه الجوفية حوالى ٧٠ مليون مترمكعب (١٨ بليون غالون) . وكانت هذه المياه حتى تلك اللحظة ما تزال مياه جوفية محلية آساسا ، نظرا لان مياه التغذية الجوفية لم تكن قد وصلت الى آبار الاستعادة بعد . ويتم ضخ هذة المياه الجوفية ، التى تحتوى على نسبة ضئيلة من المياه المستعملة المحقونة ، فى الخط الرئيسى المركزى لنقل المياه الذى ينقل ويوزع المياه الى الجزء الجنوبى من البلاد . وعندما تبدأ آبار الاستعادة فى ضخ كميات أكبر من المياه المأخوذة من المياه المستعملة المحقونة ، عندئذ لن يضاف الماء المستعاد الى الخط الرئيسى المركزى لنقل المياه ، ولكنه سيوزع فى شبكة مستقلة لاستخدامه فى غرض آخر خلاف أغراض الشرب . ومن المتوقع أن يكون هذا الغرض هو الرى غير المقيد (اديلوفيتش وآخرون ، ١٩٨٣) .

وفى أوائل السبعينات نفذ مشروع لاعادة التغذية تحت رعاية حكومة الولايات المتحدة على جزيرة كرويكس لمدة تتراوح بين ثلاث وأربع سنوات . وقد عولجت المياه المستعملة المحلية فى محطة ثانوية (حمأة منشطة) باضافة الشبة ، والترشيح ، والمعالجة بالكلور . ونقل الماء المعالج الى أحواض انتشارية أعادت تغذية المياه الجوفية ، التى تحسن النوعية ، من حقول آبار البلدية . وكانت العمليات تتوقف بسبب وجود مياه ملحة أحيانا فى المياه المستعملة نتيجة لاستعمال مياه البحر فى الكسح الصحى فى أحد أجزاء الجزيرة . وتوقف البرنامج فى أواخر السبعينات نتيجة لتداخل الماء المالح ووجود مشاكل فى شبكة التجميع (بوروس، ١٩٨١) .

ومن الامثلة الناجحة على استخدام المياه المستعملة المروقة كحاجز للماء المالح ما حدث فى مقاطعة أورانج بكاليفورنيا . فقد تعرضت مستودعات المياه الجوفية الساحلية فى تلك المنطقة للاستنزاف فى الماضى وتم حقن المياه المستعملة المروقة فى مستودات المياه الجوفية لتقليل أى تداخل لمياه البحر . وعلى الرغم من أن جزءا من الماء الذى تم حقنه يندفع فى اتجاة البحر، فان

جزا أخر يختلط بالمياه الجوفية الطبيعية ويتم استخلاصه بواسطة الآبار الموجودة في المنطقة . وقامت منطقة المياه المحلية ببناء محطة للمعالجة بطاقة ٥٧٠٠٠ م^3/يوم (١٥ مليون غالون في اليوم) أطلق عليها اسم محطة المياه ٢١ ، من أجل حماية الصحة العامة ومستودعات المياه الجوفية . ويقوم مرفق الترويق هذا بمعالجة المياه المستعملة الثانوية من محطة مجاورة منذ عام ١٩٧٨ . وقد صممت المحطة بحيث تقوم معالجة متطورة (تتضمن خفض المواد الغذائية والملح) قبل حقن المياه المروقة في مستودعات المياه الجوفية واشتملت المعالجة المستخدمة منذ عام ١٩٧٩ على الاكسده (أشاب منشطة) والترسيب الكيميائي بالجير، وازالة الهواء، والامتزاز الكربوني، وازالة المواد المعدينة بالاوزموزية العكسية . وأوجدت عملية المحطة طويلة الاجل فرصة لاجراء تجارب قيمة على الجوانب المختلفة لسلسلة المعالجة مثل امكانية الاعتماد على ازالة الملوثات والاستخدام الامثل لمكونات الاوزموزية العكسية (مكارتي وأخرون ، ١٩٨١ ؛ أرغو، ١٩٨١) .

(ب) اعادة الاستخدام لاغراض الزراعة

من الممكن تحقيق فوائد هامة في كثير من البلدان من استخدام المياه المستعملة المروقة في الري والاغراض الزراعية الاخرى . وتعتبر الزراعة في الغالب أحد الميادين الآساسية الدائمة لاستعمال المياه في جميع البلدان . ففي آسيا وافريقيا يزيد ما يوجه الى الري من اجمالي الطلب على المياه عن ٩٠ في المائة ، أما في امريكا اللاتينية فان النسبة تبلغ حوالي ٨٠ في المائة . ويصل الاستخدام الزراعي ، حتى في الولايات المتحدة ، وهي دولة صناعية ، الى حوالي ٤٠ في المائة من اجمالي كمية المياه العذبة المستخدمة ، وهو ما يزيد عن أربعة أمثال الكمية التي تستخدمها البلديات .

وتوجه اعادة استخدام المياه المستعملة في الزراعة آساسا الى ري المحاصيل والبساتين ، وان كانت قد استخدمت بدرجة أقل في المزارع السمكية وسقاية الماشية . ومن بين مزايا استخدام المياه المستعملة المروقة في الري والمزارع السمكية أن العناصر الغذائية (عموما الفسفور والنيتروجين) الموجودة في المياه المستعملة يمكن أن تساعد على نمو النبات بدلا من أن تكون عنصرا محتملا للتلوث، مثلما قد يحدث في حالة تصريفها في مجرى مائي أو في بحيرة . ومن الممكن أن يقلل الري بالمياه المستعملة من احتياجات الاسمدة ويزيد من انتاج المحاصيل ، بسبب ما تحتوي عليه من العناصر الغذائية . ففي الهند ، على سبيل المثال ، ارتفع انتاج المحاصيل غير الغذائية التي زرعت باستخدام مياه البلدية المستعملة في الري بنسبة تتراوح بين ٣٠ و ٤٠ في المائة عنها في حالة

الرى بالماء العادى (أرسيقالا ، ١٩٧٧) . ولا يتوقف استخدام المياه المستعملة المعالجة على المساعدة في الزراعة فقط ، ولكنهما يمكن ايضا أن توفر معالجة اضافية لمياه المجارير قبل أن تصل فى النهاية الى مجرى مائى . وغالبا ما تنطوى هذه المعالجة الاضافية على درجة من الخطورة فى البلدان النامية حيث يحصل عدد كبير من الناس فى المناطق الريفية على احتياجاتهم من المياه من الانهار مباشرة (دياموند ، ١٩٨١) .

ولقد استخدمت المياه المستعملة لفترة من الوقت فى عدد من البلدان فى رى مجموعة من المحاصيل . فقد استعملت مدينتا ملبورن فى أستراليا وجوها نسبرغ فى جنوب افريقيا ، المياه المستعملة المعالجة فى اغراض الرى منذ ١٨٩٢ و ١٩١٤ على التوالى فى المراعى ومحاصيل العلف . وفى الهند استخدمت مياه البلدية المستعملة فى بعض المناطق فى رى المحاصيل منذ القرن التاسع عشر . وفى المكسيك ، نجحت زراعة محاصيل منها البرسيم الحجازى ، والذرة ، والقمح ، والطماطم ، والفلفل بمياه مكسيكو سيتى المستعملة ، على الرغم من أن الخصائص الكيميائية لها تكون غير طبيعية أحيانا (أفويرى ، ١٩٧٧ ومندوزا ، ١٩٨١) . وظهرت تجارب مشجعة فى مجال استخدام المياه المستعملة المعالجة فى رى قصب السكر فى جزر بورتوريكو وهاواى ، وزيادة غلة القطن فى جنوب غرب الولايات المتحدة (هرودى ، ١٩٨٢) .

واستفاد عدد كبير من البلديات فى الولايات المتحدة من أساليب التنفيذ فيما يختص بالاراضى ، الرى عموما ، كجزء من عملية معالجة المياه المستعملة لديها ، وذلك بسبب قيود مكافحة التلوث التى فرضها القانون الذى نفذ فى أواخر السبعينات . وعلى الرغم من أن هذه البلديات قد استعملت تلك الاساليب كوسيلة لتقليل التلوث فيما تحصل عليه من المياه ، فان النتيجة كانت امداد عدد كبير من المناطق فى الولايات المتحدة بالخبرة فى مجال اعادة استخدام المياه المستعملة لاغراض الزراعة فى ظل مجموعة كبيرة من الظروف المختلفة .

ومع أن الرى بالمياه المستعملة المعالجة يمكن ان يحقق فوائد ، فان هناك ايضا بعض المشاكل أو المحاذير المحتملة ترتبط باستخدامها . اذ يتعين توجيه عناية فائقة الى المخاطر الصحية التى يمكن أن تنجم عن اعادة استخدام المياه المستعملة فى الرى . وقد عانت بعض المناطق عند استخدامها للرى بهذه المياه فى الماضى مشاكل تتعلق بزيادة حدوث الامراض بين العمال ومستهلكى المياه المنتجة بسبب عدم اتخاذ الاحتياطات المناسبة . ويمكن تقليل المخاطر عن طريق التدريب السليم للعاملين ومضاهاة نوع الناتج لمستوى المعالجة المقدمة . ويعنى هذا فى الغالب قصر الرى على بعض المحاصيل غير الغذائية التى تستخدم فى العلف أو فى الاغراض الصناعية ، وقصر دخول مناطق الرى على العاملين المدربين وحدهم (مارا ، ١٩٧٦) .

وينبغى وضع تخطيط شامل ودقيق بغية انجاح مشاريع الرى .اذ يتعين أن تكون المحاصيل التى يقع عليها الاختيار مناسبة للتربة ، والمناخ ، والصرف وأساليب الرى ، وظروف السوق فى المنطقة . ويتعين ، بصفة عامة ، أن تتوافر قدرة كبيرة على التخزين أو وسيلة بديلة للتصريف بحيث تسمح بوقف الرى خلال فترات المطر الغزير ، والجفاف ، أو الطقس السئ . ويتعين أن يكون هناك نظام مناسب للصرف . ومن الممكن أن يكون الصرف مسألة خطيرة حتى فى المناطق القاحلة حيث تكون هناك أنواع من التربة الطفلية أو أنواع التربة الصماء الصلبة التى تعوق التصريف المسامى الرأسى .

وهناك مشاكل تنفيذية أخرى تتمثل فى احتمال وجود نسب تركيز متوسطة وعالية من الاملاح الذائبة فى مياه الرى التى قد تستلزم استخدام مياه رى اضافية من أجل غمر التربة والمحافظة على الملوحة عند مستوى الجذور فى نطاق الحدود المقبولة . كذلك فان هناك بعض المكونات المعينة مثل البورون والكادميوم فى المياه المستعملة يمكن أيضا أن تكون ضارة بانتاج المحاصيل . ويبين الجدول ١٩ بعض المبادئ التوجيهية التى يتعين وضعها فى الاعتبار عند تقييم المشاكل الزراعية الممكنة المترتبة على تركيز المكونات المختلفة فى المياه المستعملة .

الجدول ١٩ - المبادئ التوجيهية المتعلقة بشرح نوعيـــة مياه الري

المشاكل وبارامترات النوعية	لاتوجد مشاكل	مشاكل متزايدة	مشاكل حادة
آثار الملوحة على غلة المحصول :			
درجة تركيز مجموع الجوامد الذائبة (مليغرام/لتر)	<٤٨٠	٤٨٠ - ١٩٢٠	>١٩٢٠
خلخلة الطفلة وانخفاض معدل الترشيح			
درجة تركيز مجموع الجوامد الذائبة (مليغرام/لتر)	>٣٢٠	<٣٢٠	<١٢٨
درجة امتزاز الصود يوم للمعدل	<٦	٦ - ٩	>٩
سمية الايون الخاصة :			
بورورون (مليغرام/لتر)	<٠ر٥	٠ر٥ - ٢	٢ - ١٠
الصود يوم (المعدل) اذا كان الماء يمتص بواسطة الجذور فقط	<٣	٣ - ٩	>٩
الصود يوم (مليغرام/لتر) اذا كان الماء يمتص بواسطة الاوراق أيضا	<٦٩	>٦٩	
الكلوريد (مليغرام/لتر) اذا كان الماء يمتص بواسطة الجذور وحدها	<١٤٢	١٤٢ - ٣٥٥	>٣٥٥

-253-

الجـــدول ١٩ **(تابع)**

الكلوريد (مليغرام/لتر) اذا كان الماء يمتص بواسطة الاوراق ايضا	<١٠٦	>١٠٦	
آثار النوعية :			
النيتروجين بالمليغرام/لتر (زيادة النيتروجين قد تؤخر الحصاد وتضر بغلة أو نوعية بنجر السكر، والعنب والموالح ، والابوكاد و والمشمش، الخ)	<٥	٥ - ٣٠	>٣٠
بيكربونات HCO_3 بالمليغرام/لتر (عند ما يستخدم الماء بالرشاشات يمكن أن تسبب البيكربونات رواسب كربونية بيضاء على الفواكه والاوراق)	<٩٠	٩٠ - ٢٥٠	>٥٢٠

المصدر: H. Bouwer, " Waste water reuse in arid areas ", in E.J. Middlebrooks, Water Reuse (Ann Arbor, Michigan, Ann Arbor Science Publishers, 1982) P. 145.

ويتعين أن يكون من بين الاعتبارات الاساسية الحصول على الموافقة القاطعة من الفلاح والمستهلك للمحاصيل الزراعية التى تنتج باستخدام المياه المستعملة المروقة فى أغراض الرى . واذا كان استخدام المياه المروقة يعنى انخفاض قيمة المنتج ، فانه قد يسبب فى هذه الحالة صعوبات اقتصادية للبرنامج .

(ج) اعادة الاستخدام فى الصناعة

يرتبط الطلب الاجمالى على الماء للاغراض الصناعية ارتباطا مباشرا بمستوى اقتصاد أى بلد . اذ تصل نسبة الاستخدام الصناعى للمياه فى بلد ذى صناعة كثيفة مثل الولايات المتحدة الى حوالى ٥٠ فى المائة من الماء العذب المستخدم ، ويذهب معظمة لمياه التبريد . أما فى البلدان النامية فان استخدام المياه فى الصناعات يصل عموما الى ١٠ فى المائة من مجموع الاستخدام ، ولكن من المتوقع حدوث زيادة سريعة فى الطلب بسبب الاولويات التى تولى للتمو الاقتصادى والتصنيع فى تلك البلدان . وتتمثل الانشطة الصناعية فى البلدان النامية فى الغالب فى الانشطة التى تعالج المنتجات الاولية ، وعمليات التصنيع الزراعى ، والصناعات الثقيلة مثل مجمعات الصناعات التعدينية ، والبتروكيميائية والمعدنية . ويحتاج عدد كبير منها الى امدادات مائية وفيرة وتقام بالقرب من المدن الكبيرة أو فيها . وحيث تكون - مجارى التصريف فى المناطق الحضرية ، تتاح الفرصة لاعادة استخدام المياه فى الصناعة التى يكون موقعها بالقرب من مورد للمياه المستعملة المجمعة .

وقد أصبحت اعادة الاستخدام الداخلية فى المجمعات الصناعية عملية تزداد انتشارا فى البلدان الصناعية لان تكلفة شراء ومعالجة الماء العذب للاستعمال ومعالجة المياه المستعملة للتخلص منها تكون فى الغالب أعلى من معالجة واعادة تدوير المياه المستعملة بقصد اعادة استخدامها . ويبين الجدول ٢٠ بعض الامثلة على انخفاض استهلاك المياه فى الصناعات الذى تحقق عن طريق اعادة التدوير فى جنوب افريقيا .

وهناك استعمالات كثيرة فى الصناعة ، خصوصا التبريد الذى يأخذ جزءا كبيرا من المياه المستخدمه ، تحتاج الى نوعية من المياه يمكن توفيرها من المياه المستعملة المعالجة . وتختلف نوعية المياه المطلوبة اختلافا كبيرا بين الصناعات ومختلف المصانع فى الصناعة الواحدة ، وبين العمليات المختلفة فى المصنع الواحد . ويوجز الجدول ٢١ بعض الاستعمالات الصناعية الرئيسية الممكنة فيما يتعلق بالمياه المستعملة المروقة ودرجة المعالجة العامة اللازمة .

الجدول ٢٠ - وفورات المياه التي تحققت عن طريق الترويق المخطط للمياه المعالجة لاعادة استخدامها داخليا

الصناعة	احتياجات المياه بالمتر المكعب/طن: بدون ترويق واعادة استخدام م٣/طن	احتياجات المياه بالمتر المكعب/طن: بواسطة الترويق واعادة الاستخدام م٣/طن
تعليب الفاكهة والخضروات	١١ر٢	٤ر٥
لب الورق	٢٠١	٤٠ر٠ - ١١ر٢
ورق الصحف	١١٦	٢٧
ألواح الفبر المضغوط	٦٧	٣٣ر٥
الصابون والزيوت والشحومات	٥٤	١٠ر٧
الصلب	٢٤٦	٥٣ - ٦ر٧
الاوعية الزجاجية	١ر٨	٠ر٧

المصدر: Adapted from O.O. Hart and J.R.L. van Vuuren, " Water reuse in South Africa ", in I.H. Shuval, ed., Water Renovation and Reuse (New York, Academic Press, 1977).

الجدول ٢١ - المعالجة المقترحة اللازمة للمياه المنزلية المستعملة قبل اعادة استخدامها صناعيا

الاستخدام الصناعي	المعالجة المقترحة اللازمة
محطة طاقة وتبريد صناعى	
مرة واحدة	معالجة ثانوية
اعادة دوران	ثانوية زائد تخفيض النيتروجين و/ أو الفسفور
ماء الغلايات الصناعية	
ضغط منخفض	ثانوية زائد تخفيض النيتروجين والفسفور
ضغط متوسط	معالجة متقدمة للمياه المستعملة
مورد المياه الصناعية	
معادن اولية	معالجة ثانوية
منتجات بترول وفحم	ثانوية زائد تخفيض النيتروجين أو ثانوية زائد ترشيح

المصدر: Data adapted from Culp/Wesner/Culp, Water Reuse and Recycling, Volume 2: Evaluation of Treatment technology (Washington D.C., United States Department of Interior, Office of Water Research and Technology, 1979), Report OWRT/RV-79/2.

ويستهلك ماء التبريد وحده ما بين ٥٠ و ٦٠ فى المائة من اجمالى المياه المستخدمة فى الصناعات، ومن الممكن أن تكون هذه المياه فى الغالب ذات نوعية منخفضة نسبيا . بيد أن المشاكل المحتملة من الملوثات التى تترسب فى المياه يمكن أن تشمل التقشر، والانسداد ، والتآكل ، ونمو الكائنات الحية .

وهناك ثلاثة مجالات صناعية ذات امكانات كبيرة لاعادة استخدام المياه المستعملة وهى : توليد الكهرباء ، والصناعات الانتاجية ، والصناعات التعدينية . ويحتاج توليد الكهرباء بواسطة قوة البخار الى المياه أساسا من أجل دورة برج تبريد المكثف . ولما كان ماء البحر يستخدم بالفعل فى التبريد فى المحطات الموجودة على سواحل الولايات المتحدة ، فان الماء عالى الملوحة يصلح لاغراض التبريد الآنى . ويمكن استخدام المياه المستعملة المروقة فى التبريد عدة دورات بعد اجراء المعالجة التحضيرية لها بغية مكافحة ترسيب القشور والصدأ وتكوين الطين وانحلال اللغنين فى ابراج التبريد .

وقد استخدمت المياه المستعملة المعالجة كمياه تبريد فى عدد من محطات توليد الكهرباء فى انحاء العالم . ومن بين هذه المحطات تلك الموجودة فى أولد هام - وستوك - أون - ترنت، وكرويدن فى المملكة المتحدة ، ومحطة واحدة فى فيل ريفر تريانغل فى جنوب افريقيا ، ومحطات فى بالوفيردى ، واريزونا ، ولوس انجلوس بكاليفورنيا فى الولايات المتحدة . ويثير الارغاء ، والصدأ ، والوحل وتكوين القشور، والاخطار المحتملة على الصحة ، بعض المخاوف الاساسية من استخدام المياه المستعملة المروقة للتبريد فى محطات توليد الكهرباء (غولد شتاين وكسانا ، ١٩٨٢) .

وخطت عملية اعادة التدوير خطوات أخرى فى محطات الطاقة حيث تمنع نظم مكافحة التلوث صرف المحلول الملحى من ابراج التبريد . وهناك حالتان من هذا النوع فى الولايات المتحدة (غينزفيل بفلوريدا ، وكولورادو سبرينغر بكولورادو) حيث تتم اعادة تدوير محلول الصرف فى الابراج عدة مرات، ويعالج بالتخثر الكيميائى القياسى لازالة جزء من الجوامد الذائبة أو العالقة ، وبعد ذلك يتم تركيزه بواسطة الاوزموزية العكسية قبل فصل الاملاح الذائبة فى وحدة خاصة لازالة الملوحة بضغط البخار . ويستخدم الماء الناتج عن هذه العمليات المتنوعة فى ابراج التبريد والغلايات .

وأمكن تحقيق تخفيضات فى استهلاك وتصريف المياه فى صناعات انتاجية متنوعة عن طريق اعادة تدوير واعادة استخدام المياه المستعملة فى المحطات بعد معالجتها داخل المحطة . ومن بين هذه الصناعات، صناعة المنسوجات، وتجهيز الاغذية ، والطلاء المعدنى ، ومعالجة الورق ، والمواد الكيميائية ، وتكرير البترول (هرودى ، ١٩٨١ وهرودى وسميث ١٩٨٣) .

ومن أمثلة اعادة استخدام المياه المستعملة فى الصناعة ، قامت مومباى بتجريب امدادات المياه الصناعية وذلك بمعالجة ٥٠٠٠ م^{٣}/يوم (١ر٣ مليون غالون فى اليوم) من مياه البلدية المستعملة ، التى تحصل عليها عند مرحلة لا تتعرض فيها للتلوث الشديد بالمخلفات الصناعية . وأمكن تكرير مياه المجارى الخام بتكلفة بلغت نسبتها ١٥ فى المائة من تكلفة الحصول على كميات اضافية من مياه البلدية العذبة ، و من الممكن استخدامها فى التبريد وغيره من الاغراض الصناعية . وقامت المدينة باجراء دراسة استقصائية للصناعات ، جاء فيها أنه يمكن تحقيق وفورات كبيرة ، فى الصناعات الكيميائية آساسا ، والورقية والبتروكيميائية وصناعة النسيج ، فى المقام الاول ، عن طريق تكرير واعادة استخدام وتوريد المياه المناسبة لمعظم الاحتياجات بجزء فقط من تكلفة مياه البلدية . واستطاع مشروع واحد لاعادة استخدام المياه فى مصنع للنسيج تخفيض احتياجات المياه العذبة بنسبة تزيد على ٥٠ فى المائة فى صناعة أصبحت لا تستخدم بالفعل سوى الثلث تقريبا من الاحتياجات المقررة من المياه فى مصانع النسيج فى البلدان الصناعية (أرسيڤالا ، ١٩٧٧) .

وينبغى ، فى بعض الحالات ، دراسة امكانية استخدام المياه المستعملة فى الرى ، لان بعض المركبات الكيميائية المحددة فى المياه المستعملة يمكن أن تكون مفيدة . ففى باكستان ، على سبيل المثال ، ثبت أن المياه المستعملة المأخوذة من مدابغ الجلود تفيد فى تحسين الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة التى ترتفع فيها نسبة الملوحة والصود يوم (هرودى ، ١٩٨٢) .

ومن بين الصناعات الانتاجية الرئيسية التى تتوافر لها امكانية اعادة الاستخدام ، صناعات المعادن الاولية ، والمواد الكيميائية ، والورق والمنتجات المرتبطة به ، والمنسوجات ، وتجهيز الاغذية . ويستخدم الماء فى الصناعات الانتاجية آساسا للتبريد وتغذية الغلايات والمعالجة . ويمثل الاستخدام الصناعى فى التبريد أكبر مجال ممكن لاعادة استخدام المياه المستعملة واعادة تدويرها وتحتاج تغذية الغلايات والمعالجة المتعددة المراحل الى مياه عالية الجودة ، ويؤدى هذا عادة الى تغيير امكانية اعادة الاستخدام ، لان تكاليف الترويق تكون مرتفعة .

وتضم الصناعات التعدينية المعادن ، والوقود واستخراج المعادن غير الفلزية ويستغل الجزء الاكبر من الماء اللازم فى غسل الفحم أو الرمل ، والحقن تحت السطح واستخلاص الخام . ونوعية المياه اللازمة لهذه الاستعمالات من أدنى مرتبة ، ومن ثم فان امكانية استخدام المياه المستعملة المروقة كبيرة جدا .

وقد أمكن تخفيض احتياجات أحد مصانع معالجة الخام فى أريزونا من مياه التغذية بنسبة ٣٠ فى المائة بمجرد زيادة سمك محتوى الجوامد فى سائل

النفايات قبل استعمالها . وفي مصانع أونتاريو، أمكن الحصول على ما يتراوح بين ٦٧ و ٧٥ في المئة من ماء التركيز الذي يحتاجه المصنع من ماء تصفية النفايات (هرودي وسميث، ١٩٨٣) .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

ظهرت أوجه التقدم التكنولوجي الرئيسية، خلال السنوات العشرين الماضية، في مجال رصد وأكتشاف المواد الحيوية والكيميائية في الماء . وقد أصبح الباحثون الذين يتناولون اعادة استخدام المياه المستعملة ينظرون بحذر، الى جانب الاهتمام العالمي العام بالمواد المسببة للسرطان، الى استخدامات المياه المروقة التي تدخل بصورة مباشرة أو غير مباشرة ضمن ما يبتلعه الناس . ومما يبرر هذا الحذر أن المعلومات المتوافرة ما تزال غير كافية لعمل تقييم كامل للآثار الصحية في المدى الطويل لبعض أساليب اعادة الاستخدام .

والمجال الذي لم يواكب القدرة المتزايدة على اكتشاف المواد وان تضاءلت كمياتها، خصوصا المواد الكيميائية العضوية، هو البدء في انشاء قاعدة معلومات على أسس علمية تتناسب مع العدد الكبير من المواد الدخيلة التي توجد في المياه المستعملة . وينبغي انشاء هذه القاعدة كلما أمكن ذلك حتى يجد المخططون وصانعو السياسات ما يسترشدون به في اتخاذ قراراتهم بشأن التكاليف، والمخاطر وفرص اعادة الاستخدام في المستقبل .

وعمليات المعالجة التي تستخدم في تجديد المياه المستعملة لاعادة استخدامها تكون جميعها في الغالب عمليات وحدات قياسية (مثل الاكسدة الحيوية والتخثر، والترسيب) تستخدم في محطات معالجة المياه والمياه المستعملة . ولم تتغير هذه العمليات التي تقوم على الوحدة القياسية كثيرا خلال السنوات العشرين الماضية على الرغم من اكتساب الخبرة في مجال استخدامها في عمليات عديدة تتعلق بأنواع مختلفة من المياه المستعملة . وكانت عملية الوحدة الواحدة التي ظهرت بالفعل في العشرين عاما الماضية هي استخدام أغشية شبة مسامية في عمليات الفصل . وتستخدم الاغشية الاوزموزية العكسية في ازالة المواد المعدنية من الماء المالح ومرشحات الانتشار الغشائي لفصل المواد الجزيئية الكبيرة عن الماء . وقد استخدمت الوسيلتان فقط في عدد قليل جدا من محطات اعادة استخدام المياه المستعملة .

وتعتبر محطة البيان العملي لاعادة استخدام المياه في اغراض الشرب بطاقة ٣٨٠٠ م^3/يوم (١ مليون غالون في اليوم) التي بدأ تشغيلها في دينفر بولاية كولوراد و في عام ١٩٨٣، أحدث مشروع كبير ابتكر في الفترة الاخيرة . ولا شك أن عملياتها على مدى السنوات الخمس أو السبع المقبلة ستوفر معلومات وتكاليف

عملية قيمة فيما يتعلق بامكانية الاعتماد على تحويل المياه المستعملة الى مياه صالحة للشرب.

٤ - التطبيق في البلدان النامية

ان نقص المياه المستعملة المتجمعة يمثل مشكلة آساسية أمام اعادة استخدام المياه المستعملة في البلدان النامية . ولما كانت الحلول التقنية التي تقترحها البلدان المتقدمة صناعيا تبدأ من حيث أن التخلص من المياه المستعملة المتجمعة هو المشكلة الاساسية ، فانها تصبح لذلك محدودة القيمة جدا بالنسبة للبلدان النامية حيث يشكل التخلص من فضلات الجسم باستخدام قدر قليل من الماء أو بدونه الاولوية الاولى (باسي ، ١٩٧٨) . وهناك في معظم الاحوال صعوبة في انشاء وصيانة شبكات معالجة مياه المجاري في مناطق المدن الكبيرة حيث توجد شبكة مجاري لتجميع المياه المستعملة .

وقد أعلن عن عدد كبير من المشاكل مثل تكاثر البعوض، ونقص الصيانة ، والامطار الغزيرة ، ووجود كميات مفرطة من المواد العضوية في المياه ، في أكثر من ٢٠ بلدا في افريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية تستخدم شبكات تقليدية لمعالجة المياه المستعملة (ريد ، ١٩٨٢) ، وفي كينيا ، على سبيل المثال ، لم يكن هناك ولا واحدة من محطات المجاري القائمة التي تم مسحها خارج نيروبي تعمل بصورة مرضية ، وكانت أكثر المشاكل شيوعا هي نقص المهارات في مجال التشغيل والصيانة (هرودي وسميث، ١٩٧٨) . وبينت نتيجة مسح أجري على عشر محطات لمعالجة المياه في الهند أن ثمانية منها تدار بصورة غير سليمة (ريد ، ١٩٨٢) .

وتعاني المحطات القائمة من مشاكل عامة منها : صعوبات الحصول على المواد الكيميائية اللازمة للمعالجة من النوعية المطلوبة ، حالات التأخير الناتجة عن عدم توافر قطع الغيار ، والاحوال المناخية التي تؤدي الى زيادة سرعة التفاعلات وزيادة الترسيب وخفض طاقة الاكسجة ونتيجة لذلك ، اتضح من مسح أجري في آسيا أن ٧٠ في المائة من المحطات التي شملها المسح لم تكن تعمل بصورة سليمة بسبب نقص التدريب وخدمات الصيانة (أوسينغا ، ١٩٨٠) .

وليس من الممكن في الغالب نقل الوسائل التقليدية ، بما فيها مياه المجاري التي تنقل بحرا ، ومعالجتها فيما بعد بواسطة محطات الاوساخ المنشطة أو مرشحات التقطير ، مباشرة الى البلدان النامية . اذ تحتاج الوسائل التقليدية الى مستويات من استعمالات المياه تفوق كثيرا استعمالات مجتمع يعتمد على خدمة الخزانات ، وهو نظام للتوزيع يفضل عندما يكون المطلوب هو توزيع الماء على عدد كبير من الناس بأقل التكاليف الممكنة (البنك الدولي ، ١٩٨٠) . ولذلك فان

الخيارات الخاصة بالمرافق الصحية التى أمام البلدان النامية قد لا تؤدى الى وجود شبكات مجارى تقليدية كالتى نجدها فى البلدان الصناعية، وذلك بسبب ارتفاع تكاليف المعدات والتشغيل واحتياجات العمالة الماهرة.

(أ) خصائص أساليب المعالجة

ان النظام المثالى لمعالجة (ادارة) المياه المستعملة من شأنه أن يفى بكافة المعايير الواردة ادناه (مارا، ١٩٧٦):

(أ) المتطلبات الصحية - ينبغى أن تخل المعالجة منتجا خاليا من المواد التى تعرض الصحة للخطر وتضمن ازالة نسبة عالية من البكتيريا والفيروسات المسببة للامراض.

(ب) اعادة الاستخدام - ينبغى أن تحقق العملية اعادة استخدام نافعة ومأمونة للمنتجات؛

(ج) المعايير البيئية - عندما يكون من غير الممكن اعادة استخدام المياه المستعملة، لاينبغى أن يتجاوز تصريف الصبيب قدرة المياه المتلقاه على التطهير الذاتى؛

(د) غياب حالات الازعاج - يتعين أن تكون درجة الرائحة المتسربة دون حد الازعاج، ولا يتعين أن يسبب أى جزء من النظام أذى من الناحية الجمالية؛

(هـ) التوافق الحضارى - لاينبغى أن تمس الوسائل المختارة للتجميع، والمعالجة واعادة الاستخدام العادات المحلية والسلوك الاجتماعى أو الدينى؛

(و) التشغيل السليم - يتعين توفير المهارات اللازمة للتشغيل المنتظم والصيانة للعناصر المكونة للنظام محليا أو الحصول عليها بسهولة بأدنى حد من التدريب؛

(ز) امكانية توفير التكاليف والنفقات - يتعين أن لايتجاوز رأس المال والنفقات الجارية قدرة المجتمع على توفيرها. وينبغى أن يسهم العائد المالى من مشاريع اعادة الاستخدام فى نفقات التشغيل والصيانة.

ونظرا لانه من الصعب أن يفى أى نظام بجميع المطالب المذكورة أنفا، يصبح من الضرورى التوصل الى حلول وسط، ولكن من المستصوب التخفيف من المثالب الناتجة عن النظام المختار الى الحد الادنى.

(ب) الاستعمالات المناسبة فى البلدان النامية

حيثما تكون انظمة التجميع والمعالجة المناسبة ممكنة، عندئذ يبدو أن أفضل أساليب اعادة استخدام المياه المستعملة هى: الرى الزراعى، اعادة تغذية المياه الجوفية، سقاية الماشية واستخدامات صناعية متنوعة. ونظرا لقلة الموارد المتاحة، لايوصى بمعالجة واعادة استخدام المياه المستعملة لاغراض الشرب.

وتشكل المعونات التى تقدمها الحكومات لتنمية المصادر ومعالجة ونقل مياه الشرب احدى العوائق التى تحول دون اعادة الاستخدام السليم للمياه المستعملة فى أى منطقة . اذ أن هذه المعونات تجعل سعر ماء الشرب منخفضا بصورة غير واقعية ، وهو ما يقلل من حافز اعادة الاستخدام .

ويوصى بالنسبة لاى مشروع لاعادة الاستخدام باللجوء الى الانظمة التى تحتاج الى قدر قليل من الطاقة وبرك أو مسطحات مائية لاتحتاج الى صيانة كبيرة من أجل اجراء المعالجة الثانوية . وهذه الانظمة تشبة الانظمة الطبيعية فى عملية المعالجة . ويبين الجدول ٢٢ بارامترات التصميم لانواع مختلفة من برك معالجة المياه المستعملة .

ويتمثل العيب الاساسى لهذه البارامترات فى كبر مساحة الارض اللازمة ، ولكن عادة ما يكون من السهل ، فى عدد كبير من البلدان النامية ، الحصول على الاراضى الكافية بتكاليف منخفضة نسبيا ، كما يمكن بسهولة اصلاح الاراضى اذا اقتضت الحاجة اليها فى غرض آخر وتكون احتياجات الصيانة قليلة جدا ولكنها ضرورية لتحقيق التشغيل الآمن دون مشاكل ناتجة عن الرائحة . وتشمل هذه الاحتياجات أنشطة مثل قطع الاعشاب المحيطة من أجل مقاومة الحشرات وازالة النفايات الطافية لتجنب حجب أشعة الشمس .

ونظرا لمزايا البرك ، فانها تستخدم فى معالجة مياه المجارى ، وانتاج السمك وري الاراضى فى آسيا ، وافريقيا ، وأمريكا اللاتينية (ريد ، ١٩٨٢) . ويقدم الجدول ٢٣ بعض تفاصيل التصميمات والتنفيذ .

وتستخدم أنظمة البرك على نطاق واسع فى المزارع فى اسرائيل لمعالجة المياه المستعملة سواء الآتية من المزارع أو المناطق الحضرية القريبة . وفى حالات كثيرة تستخدم مياه البرك فى اغراض الرى وتربية الاسماك . وقد أبدت مصر اهتماما ، خلال عملية تطوير شبكة المجارى فى مدينة الاسكندرية فى الفترة الاخيرة ، بمعالجة المياه المستعملة باستخدام البرك واعادة استخدام مياهها فى الرى الزراعى . وللاسف حال عدم وجود أماكن خالية مناسبة للبرك وارتفاع تكلفة الضخ الى مسافات طويلة . دون تنفيذ مشروع اعادة الاستخدام فى الوقت الحاضر .

وتعتبر المسطحات المائية أيضا من انظمة المعالجة التى تحتاج الى قدر ضئيل من الطاقة والصيانة . ومن الممكن أن تكون المسطحات المائية طبيعية أو صناعية . وتتم معالجة مخلفات المياه فى هذه المسطحات بالوسائل الطبيعية وهى تناسب على نحو خاص المناخ الدافئ والكثافات السكانية المنخفضة ، ويوجز الجدول ٢٤ بعض معايير التصميم لانظمة المسطحات المائية الصناعية .

ويمكن استخدام المياه المعالجة من المسطحات المائية فى الرى ، أو اعادة تغذية المياه الجوفية ، أو تربية الاسماك أو العمليات الصناعية المختلفة .

الجدول رقم ٢٢- تصميم بارامترات لليرك النموذجية

البارامترات	برك هوائية (عالية المستوى)	برك هوائية (أ)	برك هوائية (ناضجة)	حيرات ضحلة مهواة	برك هوائية - لا هوائية (اختيارية)	برك هوائية - لا هوائية (اختيارية)	برك لا هوائية
الاسم الشائع	برك هوائية عالية المستوى .	برك هوائية منخفضة المستوى	برك ناضجة أو ثلاثية.		برك اختيارية	برك اختيارية ذات تهوية سطحية آلية	بحيرات ضحلة لا هوائية وبرك لا هوائية سابقة المعالجة
الصفات المحددة	مصمّمة لزيادة انتاج الطحالب والأنسجة ذات الخلايا الى الحد الأمثل وتحقيق غلة عالية من المواد البروتينية التي يمكن حصادها .	مصمّمة للابقاء على الظروف الهوائية في السائل بأكمله	مماثلة للبرك الهوائية منخفضة المستوى ولكنها تشحن شحنا خفيفا .		أكثر عمقا من البرك عالية المستوى ووفر التمثل الضوئي واعادة التهوية السطحية الاوكسجين اللازم لاستمرار الهواء في الطبقات العليا وتمر طبقة الجوامد الموجودة في القطاع بعملية هضم لا هوائية.	كالسابقة ولكن تستخدم مهويات آلية صغيرة لتوفير الاوكسجين اللازم لاستمرار الهواء .	تظل الظروف اللاهوائية سائدة في جميع أنحاء البركة
الاستخدام	معالجة النفايات العضوية القابلة للذوبان .	تحويل نفايات بمعالجة النفايات العضوية القابلة للذوبان والتخلص من العناصر المغذية.	تستخدم لمعالجة الدفق الناتج عن عمليات المعالجة الثانوية التقليدية مثل مرشحات التصريف أو الوحل المنشط .	معالجة المياه المهدورة والنفايات الصناعية الأولية غير المعالجة .	معالجة المياه المهدورة والنفايات الصناعية الأولية غير المعالجة.	معالجة المياه المهدورة والنفايات الصناعية الأولية غير المعالجة.	معالجة النفايات المنزلية والصناعية
نظام الدفق	مختلطة بصورة متقطعة	مختلطة بصورة متقطعة	مختلطة بصورة متقطعة	مختلط كلية		طبقة سطحية مختلطة	
مساحة البرك ، هكتار	٢٥ر٠-١	(أ) متعددة	(أ) متعددة	١-٤	متعددة ١-٤	متعددة ١ ٤	متعددة ٢ر٠-١
التشغيل (ب)	توالي	توالي أو توازي	توالي أو توازي	والي أو توازي متعدد	توالي أو توازي	توالي أو توازي	توالي
فترات التوقيف ، يوم (د)	٤-٦	١٠-٤٠	٥-٢٠	٣-١٠	٧-٣٠	٧-٢٠	٢٠-٥٠
العمق ، م	٣ر٠-٤٥ر٠	٥ر١-١	٥ر١-١	٢-٦	١-٢	١-٢ر٥	٢ر٥-٥
يدس	٦ر٥-١٠ر٥	٥ر٦-١٠ر٥	٥ر٦-١٠ر٥	٥ر٦-٨ر٥	٦ر٥-٨ر٥	٦ر٥-٨ر٥	٦ر٢-٧ر٢
المدى الحراري ، مئوية	٥-٣٠	صفر-٣٠	صفر-٣٠	صفر-٣٠	صفر-٥٠	صفر-٥٠	٦-٥٠
درجة الحرارة المثلى ، مئوية	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠	٣٠
شحن الاكسجين الكيميائي الحيوي / كغم / هكتار / يوم (ج)	٨٠-١٦٠	٤٠-١٢٠	٥١٥	٢٠-٤٥٠	١٥-٨٠	٥٠-٢٠٠	٢٠٠-٥٠٠
تحويل الاكسجين الكيميائي الحيوي.	٨٠-٩٥	٨٠-٩٥	٦٠-٨٠	٨٠-٩٥	٨٠-٩٥	٨٠-٩٥	٥٠-٨٥
المنتجات الأساسية المحولة	طحالب، ثاني اكسيد الكربون نسيج من الخلايا البكتيرية.	طحالب، ثاني اكسيد الكربون نسيج من الخلايا البكتيرية.	طحالب، ثاني اكسيد الكربون نسيج من الخلايا البكتيرية. وأوكسيد الازوتيك	ثاني اكسيد الكربون ، نسيج من الخلايا البكتيرية .	ثاني اكسيد الكربون ، نسيج من الخلايا البكتيرية .	طحالب، ثاني اكسيد الكربون ميثيل ، نسيج من الخلايا البكتيرية.	طحالب، ثاني اكسيد الكربون ميثيل ، نسيج من الخلايا البكتيرية.
درجة تركيز الطحالب ملغم / ١	١٠٠-٢٦٠	٤٠-١٠٠	٥-١٠		٢٠-٨٠	٥ -٢٠	صفر-٥
الجوامد العالقة الفرعية ملغم / ١ (د)	١٥٠-٣٠٠	٨٠-١٤٠	١٠-٣٠	٨٠-٢٥٠	٤٠-١٠٠	٤٠-٦٠	٨٠ -١٦٠

المصدر : مأخوذ بتصرف من Metcalf and Eddy, Inc., Waste Water Engineering : Treatment , Disposal, Reuse, 2nd ed. (New York, Mcgraw Hill Book Company,1978).

(أ) البرك الهوائية التقليدية مصمّمة لزيادة كمية الأوكسجين المنتجة الى الحد الأقصى وليس كمية الطحالب المنتجة .

(ب) تعتمد على الظروف المناخية .

(ج) قيم نموذجية (استخدمت قيم أعلى بكثير في مواقع مختلفة) .كثيرا ما تقوم هيئات المراقبة الحكومية بتحديد قيمة الشحن .

(د) تشمل الطحالب والمواد العضوية الدقيقة والجوامد العالقة المتبقية في السائل المتدفق .

ملاحظة : الهكتار × ٢ر٤٧١١ = أكر.

المتر× ٣ر٢٨٠٨ =قدم

كغم/هكتار/يوم × ٨٩٢٢ر٠ = رطل/أكر/يوم.

الجدول ٢٣ - بيانات تصميم وتشغيل البرك في البلدان النامية

الموقع	الشحن الطلب على الاوكسجين الكيميائي الحيوي / رطل / اكر / يوم	العمق (بالقدم)	ازالة الطلب على الاوكسجين الكيميائي الحيوي (في المائة)	ازالة الكوليفورم (في المائة)	عدد البحيرات	ملاحظات
أمريكا اللاتينية						
كاناس، كوستاريكا	٢١٣	٣ - ٥	٩٣	٩٧	٢	اختيارية، موازية
ليما، بيرو	٢٥٤	٢ر٣ - ٤٠	٧٠	..	١	اختيارية
ليما، بيرو	٢٤١	٥ره (أ)	..	..	٢١	اختيارية، متتالية
مكسيكالي، المكسيك	١٠٦٢	١٥ (أ) - ٦ر٤ (ب)	..	..	..	لاهوائية - اختيارية، متتالية
برازيليا، البرازيل	٥٣٦ (أ) - ٨٠ (ب)	٦ر٥ (أ) - ٣ر٣ (ب)	٨٦	٩٠	٢	لاهوائية - اختيارية، متتالية
منطقة القناة، بنما	١٥٠	٦ (أ) - ٤ (ب)	٧٥	٩٩ (+)	٣	لاهوائية - اختيارية، متتالية
بالميرا، كولومبيا	١٥٠	٣ - ٥	٩٣	٩٩ (+)	٣	اختيارية، متتالية ومتوازنة
آسيا						
مدراس، الهند	١٨٠	٢ر٧٥ (أ) - ٥ (ب)	٦٧ - ٨٧	٩٣ - ٩٩	٥	لاهوائية - اختيارية، متتالية
أحمدأباد، الهند	٢٠٠ - ٢٥٠	٣ - ٤	٨٠	...	٢	اختيارية، متتالية
أحمدأباد، الهند	٣٢٥ (أ)	٤ (أ)	٧٣	...	١	اختيارية
نافبور، الهند	١٨٥ (أ)	٥ر٣ (أ)	٨٨	...	٢	اختيارية، متتالية
نافبور، الهند	٤١٧ (أ) - ٣٩٤ (ب)	٥ (أ) و (ب)	٧٤ - ٧٩	...	٢	اختيارية، متتالية
بانغكوك، تايلند	٥٠٠٠	٣	...	...	٠	لاهوائية
بانغكوك، تايلند	٢٠٠ - ٤٠٠	٨ - ١٥	٨٣ - ٩٥	...	٢٤	معدل مرتفع، متوازنة
دانانغ، فيت نام	٢٢٠	...	...	...	٢	اختيارية، متتالية
افريقيا						
منداريللاس، زمبابوى	١٦٦ (أ)	٤ (أ) - ٣ (ب)	٧٤ - ٨٨	...	٦	اختيارية، متتالية
نيروبى، كينيا	٩١ر٥ (أ) - ٥٧ (ب)	٧ره (أ) و (ب)	...	...	٢	اختيارية، متتالية

المصدر: Adapted from W.L. Canter and others, "Waste Water disposal and treatment", in W.G. Reid, ed., Appropriate Methods in Treating Water and Wastewater in Developing Countries (Ann Arbor, Michigan, Ann Arbor Science Publishers, 1982), p. 207.

(أ) البرك الاولية.

(ب) البرك الثانوية.

الجدول ٢٤ - بارامترات التصميم المتعلقة بتخطيط انظمة المعالجة
الاصطناعية لمياه المسطحات المائية المستعملة

نوع النظام	نظام التدفق	خصائص / بارامتر التصميم					
		عدد أيام الاحتباس		عمق التدفق متر (قدم)		معدل الشحن	
		المدى	النموذجي	المدى	النموذجي	م٣/يوم المدى	(غالون/قدم٢/يوم) النموذجي
مصرف خندقي (به غاب واسل)	تدفق كلي	٦ - ١٥	١٠	٣ر - ٥ر (١ر - ١٥ر)	٠ر٤ (١ر٣)	٣ر٢٥ - ٨ر (٠ر٨ - ٢ر)	٤ر (١ر)
مستنقع (غاب واسل ونباتات اخرى)	تدفق اختياري	٨ - ٢٠	١٠	١٥ر٠ - ٦ر٠ (٥ر٠ - ٢ر)	٢٥ر٠ (٧٥ر٠)	٨ر٠ - ٨ر (٢ر٠ - ٢ر)	٢ر٥ (٦ر٠)
بركة مستنقع							
١- مستنقع	تدفق اختياري	٤ - ١٢	٦	١٥ر٠ - ٦ر٠ (٥ر٠ - ٢ر)	٢٥ر٠ (٧٥ر٠)	٨ر٠ - ١٥ر٥ (٣ر٠ - ٨ر٣)	٤ر (١ر)
٢- بركة	تدفق اختياري	٦ - ١٢	٨	٥ر٠ - ١ر (١ر٥ - ٣ر٠)	٦ر٠ (٢ر٠)	٢ر٤ - ١٨ر٠ (٩ر٠ - ٢ر٠)	٧ر٥ (١ر٨)
مصرف خندقي مخطط	تدفق كلي	٤ - ٢٠ (ساعة)	٦ (ساعة)	—	—	٢٠- ٦٠ (٥ - ١٥)	٥٠ (١٢)

المصدر: United States Environmental Protection Agency, Aquaculture Systems for Waste Water Treatment; an Engineering Assessment (Washington, D.C. EPA, 1980), Report MCD-68 430/9-80-007, p. 27.

-266-

٥ - اعتبارات اقتصادية

من الصعب جدا تقدير تكاليف اعادة الاستخدام عموما لانها تختلف وفقا لعدد كبير من العوامل . ومن بين هذه العوامل : درجة المعالجة المطلوبة وأسعار الارض وتوافرها ، والايدى العاملة والمعدات، وتكاليف النقل ، التى تتوقف على مدى قرب المستفيد .

ويوجز الجدول ٢٥ تكاليف انظمة المعالجة المختلفة المستخدمة فى عمليات اعادة الاستخدام المتنوعة . وقد حسبت تلك التكاليف باستخدام منحنيات الطاقة القياسية وبيانات التكاليف . وتمثل التكاليف قيما نمطية فى الولايات المتحدة . واستهلكت التكاليف الرأسمالية وأضيفت الى تكاليف التشغيل والصيانة المبنية على أساس العمالة ، والمواد ، والمواد الكيميائية واحتياجات الطاقة الاولية للوصول الى التكاليف السنوية الاجمالية لمعالجة الوحدة (كلب/ويسنر/كلب، ١٩٧٩) .

وتتوقف تكاليف تغذية المياه الجوفية على درجة المعالجة التحضيرية وطريقة التغذية . وعادة ما تكون المعالجة التحضيرية بالنسبة للانتشار السطحى لاعادة التغذية بواسطة الترشيح السريع، ابتدائية أو ثانوية ، كما يحدث فى البرك أو البحيرات المعرضة للهواء .

ومن الممكن أن يدخل فى اعادة الاستخدام الصناعى التبريد بالمياه ، وتغذية الغلايات ومياه العمليات . وعادة ما يحتاج التبريد بالمياه الى أدنى درجة من المعالجة وأكبر كمية من المياه ، وهو يشكل أكبر مجالا للاستعمال الصناعى لاعادة الاستخدام . وهناك ثلاث صناعات مختلفة بها مرافق لاعادة الاستخدام فى الولايات المتحدة ، بلغت تكاليف اعادة استخدام المياه الصناعية فيها فى التبريد حوالى ١٠ سنتات للمتر المكعب أو ٣٨ سنتا لكل ١٠٠٠ غالون (كراينز، ١٩٨١) . ومن الممكن المحافظة على انخفاض تكاليف اعادة استخدام المياه المستعملة بتخفيض المعالجة التحضيرية أو عن طريق استخدام طرق المعالجة البديلة مثل استبدال برك اختيارية تعتمد على درجة أكبر من التكثيف الارضى بأنظمة النفايات المنشطة التقليدية .

ومن الطبيعى أن تكون اعادة الاستخدام فى الاغراض الزراعية من أرخص أشكال اعادة الاستخدام، من ناحية لان المعالجة التحضيرية يمكن أن تقتصر على المعالجة الاولية أو معالجة البرك ، ومن ناحية أخرى بسبب العائد المحتمل من المحاصيل . وتشتمل التكاليف الرأسمالية الاجمالية لنظام الرى بالمياه المستعملة على عدة عوامل مثل مستوى المعالجة التحضيرية ، وطاقة التخزين ، ونوع نظام التوزيع، وتكاليف الارض واحتياجات الصرف . ونظرا لان الرى بالمياه المستعملة، أو المعالجة الارضية البطيئة ، يعتمدان على التكثيف الارضى نسبيا ، فقد أصبحت الارض تمثل أكبر جزء من التكلفة الرأسمالية .

وتعتمد جدوى أى مشروع لاعادة استخدام المياه فى النهاية على تكاليف الامدادات البديلة وقبول الجمهور .

الجدول ٢٥ - التكاليف التقديرية للوحدة لعمليات معالجة المياه المستعملة المختلفة (أ)

(بدولارات الولايات المتحدة بأسعار ١٩٨٣)

وصف عملية المعالجة	طاقة المحطة ٨٠٠ ٣ م٣/يوم مليون غالون في اليوم		طاقة المحطة ٣٨ ٠٠٠ م٣/يوم ١٠ ملايين غالون في اليوم	
	د ولار/م٣	د ولار/١٠٠٠ غالون	د ولار/م٣	د ولار/١٠٠٠ غالون
بحيرات معرضة للهواء + أحواض انتشارية (شبكة ترشيح مرتفعة المعدل)	٠ر١٩	٠ر٥٤	٠ر٠٧	٠ر٢٨
بحيرات معرضة للهواء + رى (شبكة ترشيح منخفضة المعدل)	٠ر٣٠	١ر١٤	٠ر٢٣	٠ر٨٨
معالجة حيوية بواسطة التهوية الممتدة (عملية اكسده)	٠ر١٦	٠ر٦١	٠ر١١	٠ر٤٠
معالجة ثانوية (ب)	٠ر٣٩	١ر٤٨	٠ر٢١	٠ر٧٨
معالجة ثانوية + نترتة	٠ر٥١	١ر٩٤	٠ر٣٠	١ر١٢
معالجة ثانوية + تخفيض النيتروجين	٠ر٦٤	٢ر٤١	٠ر٣١	١ر١٥

الجـــــدول ٢٥ (تابع)

معالجة ثانوية + تخفيض الفســـــفور	٠ر٦٦	٢ر٤٩	٠ر٢٩	١ر٠٩
معالجة ثانوية + تخفيض النيتروجين والفسفور	٠ر٨٣	٣ر١٤	٠ر٣٦	١ر٣٦
معالجة ثانوية + ترشيح وامتزاز كربونـــى	٠ر٦٦	٢ر٥١	٠ر٢٧	١ر٠٤
معالجة متطورة لمخلفات المياه المستعملة (ج)	١ر٠٨	٤ر٠٩	٠ر٤٨	١ر٨٠
معالجة متطورة للمياه المستعملة + اوزموزية عكسية	١ر٨٠	٦ر٨٣	٠ر٨٠	٣ر٠٥
معالجة طبيعية وكيميائية (د)	٠ر٩٥	٣ر٥٩	٠ر٤١	١ر٥٥

(أ) أخذ هذا الجدول وهذه التكاليف بتصرف من المناقشة وجداول التكاليف الواردة فى Culp/Wesner/Culp, Inc., Water Reuse and Recycling, Vol. 2 (Washington D.C., Department of Interior, 1979), OWRT/RU-79/2.
وحولت التكاليف الاصلية بأسعار دولارات الولايات المتحدة فى عام ١٩٧٧ الى أسعار عام ١٩٨٣ بافتراض زيادة سنوية نسبتها ٦ فى المائة . وتشمل التكاليف التشغيل والصيانة واستهلاك رأس المال بنسبة ٧ فى المائة سنويا على مدى ٢٠ عاما وقدرت تكاليف الايدى العاملة والطاقة والمواد الكيميائية والمعدات حسب الظروف السائدة فى الولايات المتحدة .

(ب) المعالجة الثانوية هى الاكسدة الحيوية بالوحل المنشط، والمرشحات القطارة أو القواطع التلقائية الحيوية الدوارة مع المعالجة التحضيرية والمروقات المناسبة . وهذه التكلفة عبارة عن متوسط الثلاثة .

(ج) المعالجة المتطورة للمياه المستعملة عبارة عن معالجة ثانوية + تخفيض النيتروجين والفوسفور، والترشيح والامتزاز الكربونى .

(د) تتكون المعالجة الطبيعية الكيميائية من الترسيب بالجير، وابراج الازالة (ازالة الامونيا) ، والترشيح ، والامتزاز الكربونى والتطهير أو الترسيب بكلوريد الحديديك ، والترشيح ، والامتزاز الكربونى ، والتبادل الايونى الانتقائى ، والتطهير .

تعريف المصطلحات

اعادة الاستخدام المخطط - يعنى تجميع المياه المستعملة وتوفيرها بغرض استخدامها بعد ذلك . وقد تتم عملية تكرير المياه (معالجتها) أو لا تتم. والاعتباران المهمان هما النيه والتخطيط.

اعادة الاستخدام غير المقصود - تحدث عندما تعود المياه المستعملة التى ينتجها أحد الاطراف الى مصدر من مصادر المياه (تصرف عادة فى بحيرة أو نهر أو مستودع مياه جوفية) دون وجود نية محددة أو خطة لاستعمالها بواسطة الطرف الاول أو غيره من الاطراف، ومع هذا فانها تستخدم على هذا النحو.

اعادة الاستخدام المباشر - يعنى تحويل المياه المستعملة، سواء كانت معالجة أو غير معالجة، مباشرة الى استخدام محدد مقصود .

اعادة الاستخدام غير المباشر - يعنى اعادة المياه المستعملة الى الدورة الطبيعية للمياه الجوفية، بحيث تسمح للشبكات الحاجزة الطبيعية مثل الانهار والبحيرات ومستودعات المياه الجوفية بالمساعدة على رفع مستوى نوعية المياه عن طريق التطهير والخلط الطبيعيين .

التكرير - يعنى رفع مستوى نوعية المياه المستعملة لجعلها صالحة للاستخدام فى بعض الاغراض .

اعادة الاستخدام المنزلى - يعنى اعادة استخدام مخلفات المياه المستعملة المروقة فى بعض الاغراض المنزلية كماء الشرب أو للاغراض الصحية (كسح المراحيض) .

مياه البلدية المستعملة - تعنى مياه المجتمع المهدرة أو المستعملة . وهى تتكون من المياه المستعملة الآتية من مصادر منزلية أو صناعية بالاضافة الى أى مياه سطحية أو جوفية تدخل شبكة التجميع .

المصدر: Adapted from E.R. Kasperson and X.J. Kasperson, eds., Water Reuse and the Cities (Hanover, New Hampshire, University Press of New England, 1977), p. 11.

رابعا - زيادة الامدادات أو المصادر المتاحة

الف - مقـــدمة

تعتبر زيادة الامدادات المتاحة من المياه وزيادة مصادرها من الوسائل الايجابية لزيادة موارد المياه فى منطقة معينة ، كما أن زيادة هبوط الامطار عن طريق تغيير الحالة الجوية من الطرق الرئيسية لزيادة موارد المياه . وعلى الرغم من أن تغيير الجو له معانى عديدة الا أنه سيقتصر فى سياق موضوعنا هذا، على معنى زيادة الامطار (اكثار السحب) . وقد تركز العمل فى هذا المجال على تحويل بخار الماء الموجود بالسحب الى أمطار، ومن الواضح أن العنصر الاول والضرورى فى هذا الصدد هو نوع مناسب من السحب، يوجد فى موقع ملائم لتكوين مياه الامطار المفيدة . وعندما تتوفر السحب المناسبة - الامر الذى يتعين أن يحدث بشكل طبيعى - يتم تغذيتها بمواد معينة فى محاولة لزيادة كمية الامطار .

ولا يمكن اعتبار تغذية السحب لتغيير نوع الجو علما بالمعنى الدقيق ، اذ يجب أن تكون السحب ملائمة ، مع وجوب استخدام كميات مناسبة من المواد الكيميائية غير المعروفة احيانا ، وقد تبدو هذه الطريقة أفضل فى بعض الاماكن عن غيرها ، على الرغم من صعوبة التأكد مما اذا كان سبب هطول الامطار هو عملية السحب أم بسبب آخر، فضلاعن أنه من الصعب التنبؤ بحتمية فعالية اكثار السحب تحت أى ظرف معين .

وبالرغم من أن الاساليب المتبعة اليوم لزيادة الامطار تقوم على مبادئ طبيعية سليمة ،الا ان التقدم فى هذا المجال كان حثيثا نوعا ما رغم أهميته . ومما يعوق التطبيق العملى الدقيق لهذه المبادئ، مهما كانت سلامتها ، طبيعة الظواهر الجوية المعقدة الغالبة . وأن اختلاف الظواهر الجوية وعدم القدرة على التنبؤ بها من حيث الزمان والمكان ، يجعل من تغيير الجو علما معقدا .

وان التجارب شبه العلمية السابقة لانزال الامطار اصطناعيا ، أفسحت المجال فى الوقت الحاضر لجهد علمى مكثف يعتمد على مبادئ مقبولة فى علم طبيعة السحب . ويدل التقدم الذى حدث فى هذا المضمار فى مدى خمس وثلاثين عاما على أن تساقط الامطار اصطناعيا ، هى وسيلة مفيدة اقتصاديا لانزال الامطار (غاجين ونيومان ، ١٩٨١) . وقد بذلت جهود لتغيير الظروف الجوية فى كثير من الاقطار مثل استراليا والهند واسرائيل واسبانيا والولايات المتحدة . ووضح أن أنجح التجارب قد أجريت فى اسرائيل حيث يفترض انتشار الانواع الملائمة من السحب .

ويتعين أن يكون لمياه الامطار أثر فعال على مصادر المياه في المنطقة التي تسقط عليها ، وبذلك تروى المحاصيل ، وتزيد المياه الجوفية و/ أو والسطحية ، وهذا يعنى الحاجة الى التخطيط الاقليمى والاستثمار الجيدين من قبل محاولة "تعديل الجو" ووضع خطة تعزيز فى حالة فشل المحاولة .

والطريقة الثانية لزيادة الامدادات المتاحة ، والتى نعرض لها فى هذا الفصل ، هى تقليل أو وقف التبخير من الخزانات المفتوحة . وتتضح الاهمية القصوى لذلك عند تجميع مياه الامطار المتجمعة فى المرتفعات الرطبة وتخزينها فى خزانات مقامة على السهول المنخفضة لاحواض الانهار . وتعتبر نسبة التبخير السنوى فى المناطق الرطبة والبالغة ٢٠٠٠ - ٣٠٠٠مم (٨٠ - ١٢٠ بوصة) تعتبر نسبة طبيعية ، ويعنى ذلك أن فاقد المياه البالغ من ٢٠٠٠٠ الى ٣٠٠٠٠ م^{٣} / هكتار فى منطقة سطح الخزان لا تعوض بسقوط الامطار .

ولتقليل نسبة هذا التبخر ، تتركز الجهود الرئيسية على تغطية سطح المياه بمادة رخيصة الثمن ، ولذا فقد تمت تجربة استخدام ألواح من البلاستيك وكرات بلاستيك رغوية ومواد كيميائية سائلة . وهناك توازن جيد بين الاعتبارات الاقتصادية والفعالية . ومن الصعب توفير غطاء اقتصادى فعال مع اتساع رقعة الاماكن المشمولة .

وقد كرست الولايات المتحدة جهودا ضخمة لتطوير وتجربة وسائل وقف التبخر ، وذلك بوضع خزانات ضخمة فى الاقليم الغربى القاحل . وقد توقفت هذه الجهود تماما فى آخر السبعينات عندما ثبت عدم جدواها .

باء - تعديل الجو

١ - خلفية تاريخية

تأمل الانسان - عبر التاريخ - العلاقة بين السحب وتساءل عن السبب فى أن بعض السحب تسقط امطارا ، فى حين أن سحبا أخرى لا تسقط تلك الامطار ، وكانت طرق تكوين ونمو وانتشار السحب على المدى الطويل موضوع كل من الاساطير الشعبية والبحث العلمى .

ويرجع تاريخ محاولات زيادة الامطار الى عام ١٩٤٦ عندما أكتشف فنسنت شيفر أنه يمكن تحويل المياه شديدة البرودة الى سحب ثلجية ، داخل المعامل على الاقل ، بواسطة حبات صغيرة من الثلج الجاف . ويعتبر مفهوم شدة التبريد هو أساس نظرية زيادة الامطار . ويمكن تبريد الماء الى أقل من درجة التجمد ، ومع ذلك فأنها لا تكون كتلا ثلجية ، ولكن اذا تكونت نواة ينمو حولها الثلج ، أمكن

حد وث تبلور للثلج بطريقة طبيعية . وبعد أن انتهى شيفر من تجاربة المعملية خرج ليجرى تجاربة فى الاجواء الحقيقية ، وذلك باستخدام ثانى أوكسيد الكربون المتصلب (الثلج الجاف) لتحويل الغيوم شد يدة البرودة وكذلك سحب الرهج (سمبسون ، ١٩٧١) .

وبعد مرور عام أكتشف برنارد فونغو أن يود يد الفضة هو نواة جيدة لتكوين السحاب، كالثلج الجاف، وذلك لتماثلها فى الشكل البللورى . ومنذ عام ١٩٤٧ أصبحت زيادة الامطار بيود يد الفضة من الطرق التجريبية المعيارية .

وعقب تجارب شيفر قام العاملون بقسم الاشعة الطبيعية بمنظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية باستراليا فى شهر شباط/فبراير ١٩٤٧ ، بأجراء تجارب على السحب الركامية لانزال الامطار، وقد لوحظ هطول الامطار من السحب المجمعة فى حين أنه لم يحدث أى تكثيف لبخار الماء - ايذانا لسقوط أمطار - من سحب لم يتم تغذيتها من قبل وكانت تلك أولى المحاولات المدعمة بالوثائق التى سقط فيها المطر بطريقة اصطناعية بفعل الانسان . ومنذ ذلك الحين ، تلعب منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية د وراقياد يا فى تطوير علم نزول الامطار (كنغ، ١٩٨٢) .

وخلال الفترة من ١٩٥٠ الى ١٩٦٠ أجرى قسم الاشعة الطبيعة بمنطقة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية أربع تجارب فى المناطق الآتية : الجبال الجليد ية ، وشبة جزيرة يورك بجنوب استراليا ، ومقاطعة نيو انجلاند التابعة لشمال ويلز الجد يدة ، ومنطقة واراغامبا لتجميع الامطار غرب سيد نى . وكانت تجربة الجبال الجليد ية هى الوحيدة التى أثبتت بطريقة احصائية مدى فعاليتها فى تزايد هطول الامطار طوال فترة اجراء التجربة . وبلغت نسبة هذه الزيادة ١٩ بالمئة من واقع المستوى الطبيعى والبالغ ٥ بالمئة (كنغ، ١٩٨٢) .

وقد أجريت تجارب مماثلة ابان الخمسينات بالولايات المتحدة وكان مشروع هوايت توب الذى يد يره روسكو د . براهام عبارة عن برنامج خمسى لتكوين سحب ركامية فوق ولاية ميزورى ، واستخد مت فيه أجهزة التحكم الاحصائى فى تحد يد الزمان والمكان ، وعلى الرغم من ذلك فان النتائج جاءت مخيبة للآمال ، فقد قللت من نزول الامطار بنسبة ٢١ بالمئة على منطقة مساحتها ٢٦٠٠٠٠ كم^2 . وفضلا عن ذلك فقد أكتشف براهام أن السحب الركامية الدافئة التى كانت ماتزال شد يدة البرودة ، كان يوجد بها من قبل كميات وفيرة من الثلج الطبيعى . والواقع انه اكتشف مرارا حوالى ذرة واحدة من الثلج لكل لتر من السحب التى لم يتم زياد تها بعد . ونظرا لان هذه بالضبط هى الكمية المفروض ايجاد ها عن طريق الاكثار، فقد كان ينبغى اجراء تجربة زيادة الامطار . واذا ثبتت صحة هذة النظرية فلن يكون هناك داع للحقن بكميات اكبر من نواة الثلج نظرا لان هذا لن يسفر الا عن الافراط فى الترسيب (سمبسون ، ١٩٧١) .

وقد اعتمدت هذه التجارب على ما تسميه (جوان سمبسون) " بالافتراض الثابت" . وطبقا لهذه النظرية التى استحدثها " فنسنت شيفر لوايرفنغ لانغموير " فان احدى الطرق لانزال المطر بصورة اصطناعية هى باضافة ١ - ١٠ نواة تجميد صناعية لكل مليون قطرة شديدة البرودة أو حوالى نواة واحدة لكل ١ - ١٠ لتر من الهواء المشبع بالغيوم . وهذا يستلزم فرامات قليلة من يود يد الفضة لكل سحابة . وتسقط الثلوج على هيئة أمطار عند ذوبانها على ارتفاع منخفض . وقد أغفلت " النظرية الثابتة " شكل حركة السحب وتغيراتها المحتملة .

وقد اختارت سمبسون وزملاؤها العاملون بالادارة الوطنية لشؤون الاوقيانوسيا والغلاف الجوى " المغالاة فى الاكثار "، وذلك فى أوائل الستينات، وقد عمدوا الى اطلاق حرارة التجميد (الانصهار) بسرعة على المياه شديدة البرودة وبالتالى زيادة قابلية السحب للطفو وزيادة الهواء الصاعد والنمو الرأسى للسحب، وقد أطلقت عليها اسم " النظرية الديناميكية لزيادة الامطار" وقد ظهرت لاول مرة الوسائل التقنية لتجربة حقيقية طويلة المدى عام ١٩٦٣ عند ما توافرت - لاول مرة - أساليب الاكثار القوية . وقد تألف الاختراع الذى تم فى محطة تجريب المعدات البحرية بكاليفورنيا هى من توليد دخان يوديد الفضة بواسطة علم الصواريخ النارية أو الالعاب النارية .

وفى آب/أغسطس ١٩٦٣ أجرى فريق الادارة الوطنية لشؤون الاوقيانوسيا والغلاف الجوى تجربة أولية لاكثار السحب عن طريق علم الصواريخ النارية فى منطقة الكاريبى . وتم اكثار ست سحب بحوالى ٢٠ كغم من يوديد الفضة لكل سحابة - أى حوالى نواة واحدة لكل نقطة سحاب بدلا من بعض النقط لكل مليون حسبما تتطلب النظرية الثابتة . وقد أظهرت أربعة من تلك السحب نموا هائلا عقب اجراء التجربة . ومع ذلك تشككت هيئة الارصاد الجوية فى هذه النتائج، واستخدم الفريق بعد ذلك المراقبة الاحصائية والطريقة العشوائية للتأكد من نتائجهم . وفى ١٩٦٥ أجريت تجربة عشوائية واسعة النطاق لاكثار السحب فى منطقة الكاريبى، وأكدت هذه التجربة تماما أن الاكثار بيوديد الفضة بكميات كبيرة يزيد من نمو السحب ولكن تحت ظروف معينة (سمبسون، ١٩٧١) .

وفى الوقت نفسه، أجرى المزيد من التجارب الموسعة فى اسرائيل واستراليا . ففى اسرائيل، وفى خلال الخمسينات - أجريت سلسلة من التجارب الصغيرة لاكثار السحب باستخدام الطائرات والافران الارضية . وفى عام ١٩٦١ وضع برنامج تجريبى ضخم لتحقيق تفهم أفضل للظواهر الطبيعية المسببة لزيادة الامطار، وأكتساب الخبرة فى مجال وسائل تعديل الجو . وقد اختبر البرنامج فرضية أن الاكثار يمكن أن يزيد الامطار، وبدأ العمل ببرنامج آخر فى عام ١٩٦٧ باختبار الفرضية الاكثر تحديدا التى تقول بانه يمكن زيادة الغلة بواسطة اكثار السحب فى حوض مصب الامطار فى بحيرة الجليل، الخزان الرئيسى فى

أسرائيل . وقد بين البرنامجان السابقان أنه - نتيجة لاكثار السحب - زادت كمية الامطار على المنطقة المستهدفة برمتها بحوالى ١٥ بالمئة ، كما دل أيضا على أنه يمكن أن يمتد تأثير ذلك الى مناطق جغرافية أكبر ، بمعنى زيادة القدرة على تكوين الامطار فى مناطق شاسعة باتجاه الريح فى منطقة الاكثار (فاجان ونيومن ، ١٩٧٦) .

وفى عام ١٩٦٤ بدأ العمل فى تسمانيا باستراليا لاجراء تجربة سطحية جيدة التصميم . واستمر تنفيذ التجربة سنوات متعاقبة حتى عام ١٩٧١ . وأوحت النتائج بأن زيادة مياه الامطار التى وصلت الى ٣٠ بالمئة قد تحققت فى الخريف عند منسوب هام قدرة ٣ بالمئة . بيد أن النتائج لم تكن قاطعة بالنسبة للفصول الاخرى ، ففى فصلى الخريف والشتاء كانت مشجعة بما فيه الكفاية على استمرار التجارب لاختيار امكانية استخدام اكثار السحب كوسيلة لادارة موارد المياه (كنغ، ١٩٨٢) .

وفى آيار/مايو ١٩٦٨ أجرى فريق الادارة الوطنية لشؤون الاوقيانوسيا والغلاف الجوى تجربته البرية الاولى بولاية فلوريدا . وكانت النتائج ناجحة للغاية . فقد حققت ١٣ سحابة من بين ال ١٤ سحابة التى تم أكثارها نموا كبيرا عقب عملية الاكثار . وقد تأكد أن تزايد ارتفاع السحب الى أعلى أسفر عن نمو جانبى وزيادة كميات سقوط الامطار . وقد وضع رسم بيانى يصل بين الفروق المتوقعة بين أقصى ارتفاع لسحابة تم اكثارها وأخرى لم يتم اكثارها وبين تغير سقوط الامطار الذى يحدث نتيجة لاكثار السحب . وهكذا أصبح النموذج معدا للاستخدام للتنبؤ بكمية الامطار التى تم اكثارها وذلك قبل اجراء التجربة .

ويعتبر مشروع سكاى ووتر الذى أجيز عام ١٩٦١ أحد برامج البحث الرئيسية الجارى تنفيذها فى مجال تنظيم سقوط الامطار فى الولايات المتحدة ويقوم المشروع على اساس نهج منظم يجمع بين المشاريع الميدانية فى مختلف المناطق الجغرافية ، والبحث المعملى ، والدراسات النظرية . ويهدف الى التعرف على كيفية تغيير السحب بشتى طرق الاكثار لانتاج وزيادة سقوط الامطار والثلوج ، ولا تتناول البحوث البرنامجية طبيعة السحب فحسب ، وانما تتناول ايضا الاثار الاجتماعية والاقتصادية المترتبة على اكثار السحب وتأثير ذلك على البيئة .

ومن المشاريع الرئيسة التى نفذت فى اطار مشروع سكاى ووتر المشروع التجريبى لحوض نهر كولوراد والذى اختبر عملية اكثار السحب التجريبية خلال فصول الشتاء من ١٩٧٠ الى ١٩٧٥ . وقد اكثرت مجموعة من السحب الشتوية فوق جبال سان جوان لتحديد مدى امكانية زيادة تساقط الثلوج وما ينجم عن ذلك من انسياب سطحى للامطار . وقد أوضح التحليل المستفيض للمشروع

التجريبى أنه يمكن زيادة نزول الامطار بنسبة ١٠ بالمئة، وبالتالى زيادة كميـــة مياه بحر سان جوان . وقد حفزت هذه التجارب على التخطيط للمزيد مـــن الابحاث فى حوض هذا البحر، وقد وضع برنامج أبحاث متقدمة لفترة الثمانينـــات (وزارة الداخلية بالولايات المتحدة، ١٩٧٩) .

وقد كان فى الامكان حسم الكثير من الجدل والتخبط الذى أعقـــب التجارب الاولى لاكثار السحب اذا كانت هذه التجارب قد صممت بصورة ســـليمة واتبعت بدقة حتى يمكن الاستفادة منها، وتسهم فى هذا الفرع من علوم الظواهـــر الجوية . وقد تبين لافرقة متعددة أنه يمكن زيادة نزول الامطار بواسطة حقـــن الطبقات شديدة البرودة والسحب الركامية بيود يد الفضة، هذا فى حالة التطبيـــق السليم . وقد تراوحت زيادة الامطار خلال الستينات، والتى سجلتها التجـــارب فى استراليا وأمريكا واسرائيل ما بين ١٠ و ٢٥ بالمئة . ومع ذلك فقد تـــبين أن التطبيق غير السليم أو المفرط لعملية الاكثار يمكن أن يؤدى ألى تناقص ســـقوط الامطار . وعلاوة على ذلك، فانه اذا تم الاكثار فى ظروف جوية شديدة الـــبرودة أو شديدة الحرارة، فقد يؤدى ذلك الى نتائج سلبية . والسبب الرئيسى فـــى أن بعض السحب الباردة تستجيب تماما لعملية الاكثار يرجع الى انه رغم وجـــود محتوى مائى عال منها، فانها تفتقر الى مضاعفة بللورات الثلج، وهو عيب يمكـــن التغلب عليه بأضافة جزئيات صلبة مساعدة لنزول الامطار . وقد اكتشف العلمـــاء الاسرائيليون ان الاكثار يمكن أن يظل فعالا لعدة ايام كل سنة، اذ أنـــه اما أن يزيد مياه الامطار فى السحب التى لم يكن من الممكن زيادتها بصـــورة أخرى، أو يجعل العمليات الجارية بالفعل أكثر فعالية (فاجان ونيومن، ١٩٧٦) .

وقد استمرت التجارب التى اجريت خلال فترة السبعينات فى الولايـــات المتحدة فى اختيار الفرضيات التى استحدثت من قبل . واستمرت التجـــارب التفصيلية وتجميع المعلومات عن المشروع التجريبى لحوض نهر كولوراد و فى اطـــار مشروع سكاى ووتر (وزارة الداخلية بالولايات المتحدة ١٩٧٩) وفى فلوريدا فـــى اطار تجربة منطقة السحب الركامية بفلوريدا (دورلى وساكس ١٩٧٦)، وقـــد استمرت تجارب تعديل الجو الاخرى حتى فترة الثمانيات فى اطار المشروع التعاونى التجريبى فى سييرا، وتجربة زيادة مياه الامطار بالحمل الحرارى، والبرنامـــج التعاونى للسهول العليا . وكانت هذه البرامج لاتزال قائمة حتى بدايـــة الثمانينات، ولكنها تناقصت كثيرا بسبب تخفيض الميزانيات . وخلال الســـبعينات واصلت كل من اسرائيل واستراليا برامجهما حول تعديل الجو، وتوصلتا لنتائـــج مختلفة: فقد خلصت اسرائيل الى ان تعديل الجو أدى الى زيادة امداداتهـــا من المياه، فى حين اوقفت استراليا برنامجها لعدم توصلها الى نتائج قـــير وافية . وبغض النظر عن برنامج اسرائيل فان مشروع زيادة الامطار الذى وضعتـــة المنظمة العالمية للارصاد الجوية فى أواخر السبعينات هو البرنامج الرئيســـى

فى مجال تعديل الجو الذى يجرى تنفيذه حاليا . ومن المأمول أن تؤدى الجهود العلمية الى تفهم أفضل لوسائل تعديل الجو.

٢ - اعتبارات تقنيـة

يعتبر تعديل الجو محاولة هادفة لتغيير الظواهر الطبيعية مثل السحب والمطر والثلج والبرد والبرق والرعد والاعاصير والضباب وذلك حتى تكون ذات فائدة أكبر أو أقل تدميرا . ويتعلق موضوع تنظيم سقوط الامطار بفهم عمليات السحب وكيفية تغييرها لخدمة البشرية .

ويمكن أن تكون المياه الجوية التى لاتسقط على شكل مطر طبيعى أو جليد واحدة من المصادر الرئيسية للماء فى العالم . ويقدر أن ١٠ بالمئة تقريبا من الرطوبة تسقط يوميا من السماء على هيئة امطار، مما توجد خزانا فسيحا يقدر بما يزيد على ٢ر١ × ١٠^{١٨}م^{٣} . من المياه العذبة فى جوف الارض.

ان سقوط الامطار لا يحدث بصورة منتظمة ولا يعتمد عليها ويدرس علماء الجو فى العديد من البلدان كيفية معالجة سقوط الامطار - لضخ كمية من المياه العذبة من مخزن السماء . ويأملون فى توفير المعرفة التى على اساسها يمكن وضع القرارات الخاصة باكثار السحب.

(أ) علم طبيعة السحب:

يمكن التنبؤ بفاعلية أساليب تعديل الجو دون الحاجة الى اجراء التجارب اذا اكتملت المعرفة العلمية بعمليات سقوط الامطار . وحتى اذا توافرت المعلومات الحالية للقائمين بالتجارب السابقة، فقد كان من الممكن تفادى النتائج المتضاربة التى أمكن الحصول عليها . ومع ذلك فمازال هناك الكثير من مجالات الشك فى طبيعة السحب، والتى يتعين حسمها قبل امكانية اعتبار تعديل الجو مصدرا حيويا لموارد المياه التى لم تكن متوافرة من قبل .

وقد أجريت معظم الابحاث الاولى عن طبيعة السحب عن طريق المعمل التجريبى للارصاد الجوية التابع للادارة الوطنية لشؤون الاوقيانوسيا والغلاف الجوى وبتوجية من جوان سمبسون . وكان الفريق الموجود فى كورال غابلز بفلوريدا يقوم بدراسة حركة السحب الركامية، بغرض استحداث أساليب لتدبير شؤون الاحوال الجوية على المستوى الاقليمى ولا يقتصر عمل السحب الركامية على مجرد تكوين أكثر من ثلاثة ارباع المطر الذى يصل الى الارض، وانما تسبب ايضا الاعاصير والرعد والعواصف البردية وكل العواصف العاتية الاخرى . وعلى مدى سنوات الدراسة عرفت سمبسون وزملاءها أن دورة حياة السحب الركامية انما هى صراع ضار من

أجل البقاء مع توازن قوى النماء والدمار . ونظرا لانه من الصعب للغاية دراسة ظاهرة طبيعية تكاد تكون متوازنة بطريق القياس، فقد اراد وا قلب هذا التوازن وتفترض نظريتهم الدينامية، أن الاكثار على نطاق واسع يمكن أن يطلق حرارة احتكاك كافية لزيادة تقويم السحب، وبالتالى يمكن تكوين سحب اكبر واطول عمرا ، وذلك فى ظل ظروف مواتية .

وتتمثل قوة النمو الرئيسية فى سحابة ركامية فى امكانية تعويمها . أذ أن هواء السحابة أقل كثافة من الهواء المحيط . وتتركز المياه الغازية وتتحول الى حبات سائلة مكونة السحاب، وفى اثناء هذه العملية تنطلق الحرارة . ومن ثم فان السحب الركامية الاستوائية المتوسطة تعتبر اد فأ من الجو المحيط بها بنسبة تتراوح ما بين ٥ر.° الى ١° مئوية . ويمكن مضاعفة هذه النسبة وبالتالى مضاعفة القدرة على تقويم السحب وذلك بتجميد محتواها من المياه السائلة بمعدل يتراوح ما بين ١ - ٢ غم لكل متر مكعب اذا تم التجميد بصورة مفاجئة فى منطقة السحب المتصاعدة (سمبسون ، ١٩٧١) .

وتتكون السحب الركامية من مجموعة من الجزئيات الدائرية والتيارات الهوائية التى يمكن قياسها ووصفها بلغة عالم متخصص فى طبيعة السحب . وقد قامت سمبسون باستحداث سلسلة من نماذج السحب المكونة من مجموعة معادلات التفاضل التى تصف تطور السحب الداخلية ود رجات الحرارة المحيطة والرطوبة والكثافة والضغط والحركات الداخلية لسحابة ركامية مبسطة ، وذلك فى ظل ظروف بيئية محددة . وبتغذية الكمبيوتر بهذه العلاقات والافتراضات الرقمية ، استطاع العلماء فى المعمل التجريبى للارصاد الجوية تحديد التوازن النظرى للقوى داخل سحابة نظرية على الورق ، ثم تقريب مراحل تطورها . وعلى الرغم من أن هذا الفريق لم يكن فى البداية مهتما بزيادة سقوط الامطار الا أنه سرعان ما أصبح واضحا أن زيادة سقوط الامطار هى المحصلة الثانوية المحتملة للدينامية المنشطة للسحب.

وتعتبر سمبسون رائدة تطوير النماذج التى يمكن عن طريقها التنبؤ بما ينبغى حدوثه للسحب التى تم اكثارها ، والسحب غير القابلة للاكثار وذلك من حيث: الحد الاقصى للنمو التصاعدى ، وما اذا كانت القمة سوف تنفصل وتنجرف بعيدا عن القاعدة ، وكمية الامطار المكونة فى الجزء العلوى من السحابة (البرج) والنازلة منه ، ومعدل ارتفاع البرج ود رجة حرارته بالمقارنة بد رجة حرارة الهواء المحيط . وقد ارتبط توقع نزول الامطار بنمو السحب والقدرة المتوقعة على تكوينها وقد أظهرت النتائج الرئيسية للتحليل الاحصائى للمعلومات المجمعة فى ١٩٦٨ و ١٩٧٠ ، أن الاثر الدينامى للاكثار على سقوط الامطار كان كبيرا وفعالا وهاما . وبلغت الامطار التى سقطت ثلاثة امثال الكمية التى سقطت بواسطة أجهزة التحكم (سمبسون ، ١٩٧١) .

وقد ركز فاجان ورفاقه بقسم العلوم الجوية بالجامعة العبرية على الجزء المكون للبحث في طبيعة السحب في التجارب التي اجريت في اسرائيل والتي يتوقع أن تتوصل الى المعلومات والنتائج الاحصائية اللازمة . ويمكن نقل المعرفة والنتائج والاساليب على اساس المعلومات الحقيقة وذلك عن طريق القياس الشامل لخواص السحب ونظامها .

وأنظمة السحب المكونة للامطار باسرائيل هي في الغالب تلك المرتبطة بالسحب الركامية الشتوية الباردة ذات الضغط المنخفض والمؤثرة على منطقة شرق البحر المتوسط . وقد وجد أن الكتل الهوائية تتكون ذات طابع قاري وتنشأ غالبا اما في وسط أوربا الشرقية أو غرب آسيا . ووجد أن كتل الهواء القاريه المتحركة نحو اسرائيل عبر شمال افريقيا تكون محملة بجزئيات نواة تكثيف السحب التي قد تكون سائلة أوصلبة . وقد وجد - بالرغم من ذلك - أن حجم القطرات التي قيست على ارتفاعات مختلفة فوق قواعد السحب السائدة صغير جدا مع عدم وجود قطرات أكبر على الاطلاق (فاجان ، ١٩٨١) . ويعتمد هذا النوع من نظام السحب على العملية الباردة لسقوط الامطار التي تنشأ فيها حبات مياه المطر من التكوين الاولى لبللورات الثلج ، يعقبها عملية نمو مشتركة من التبخر والصقيع (بتجميد حبيبات المياه شديدة البرودة) . ويساعد تغذية السحب بدخان يود يد الفضة على تكون المزيد من السحب لان يود يد الفضة يساعد على تكون بللورات الثلج اللازمة لزيادة قدرة السحب على انزال الامطار .

وقد حدد فاجان آلية أخرى لنزول الامطار بصورة طبيعية وتستخدم بوجه عام لتكوين السحب البحرية أو القارية الدافئة . وقد أطلق عليها أسم آليه "جميع المياه" أو آلية " التكثيف - التصادم - الالتحام" . ففي عملية " جميع المياه " تتكون جزئيات مياه الامطار عن طريق عملية تكثيف سريعة لقطرات مياه السحب ، التي تتصادم وتلتحم فيما بعد مكونة حبات أكبر حجما . وفي حين تتميز هذة السحب بامكانية عالية نسبيا لانزال الامطار نظرا لكبر حجم قطرات الماء بها وعدم التوازن الغروانى ، فلا يوجد بها سوى نويات ضئيلة نسبيا لتكثيف السحب . وتمثل تلك السحب فرصة محدودة للتدخل الاصطناعي ، وذلك لقدرتها الفائقة على انزال الامطار الطبيعة ، ولان الاكثار قد يعوق هذه العمليات الطبيعية .

ومن ثم فان السحب التي تتكون في ظل ظروف جوية وجغرافية مختلفة قد تكون لها بنيات دقيقة مختلفة اساسا ، ومن ثم تختلف آليات انزال الامطار . ويعتمد سقوط الامطار في السحب على وجود قطرات كبيرة واقل سمك رأسي لتوفير الظروف الملائمة لتكوين الامطار . وفي حين تختلف السحب القارية اختلافا ضئيلا ، من حيث حجم قطرة الماء وارتفاعها ، فان السحب البحرية تتسم بكبر الحجم مع الارتفاع وقد تبين أن سرعة تكوين قطرات أكبر بكثير في السحب البحرية يحدث نتيجة لعملية " التكثيف - التصادم - الالتحام " التي تتميز بالكفاءة . وبسبب قدرة السحب البحرية

على توزيع قطرات اكبر حجما فان هذه القطرات قادرة على أن تنتج ، وبسرعة كبيرة ، قطرات أكبر حجما تعجل بدورها من "التصادم" لتكوين قطرات الامطار وعلى العكس من ذلك ، تعتبر السحب القارية اقل كفاءة فى تعزيز النمو خلال هذه العملية نظرا لان قطيراتها وكفاءتها التصادمية أقل بدرجة كبيرة على كافة مستويات السحب .

وتتطلب السحب البحرية ايضا عمقا اقل لانزال امطار تبلغ حوالى ١٥٠٠٠ م بالمقارنة بـ ٤٠٠٠٥ م بالنسبة للسحب القارية ، واحتمال نزول الامطار عال جدا حتى بالنسبة للسحب **الفارغة** . وفى المناطق الاستوائية لن تكون السحب البحرية بللورات الثلج ، بل أن أضافة بللورات الثلج الاصطناعية تقلل من كفاءة سقوط الامطار . وتعتمد هذه السحب . والتى تفتقر الى التوازن الغروانى - اعتماد يكاد يكون كليا على آلية - الالتحام لتكوين الامطار .

وتفتقر ايضا السحب الصيفية الدافئة المتنقلة الى التوازن **الغروانى** لان قواعدها الدافئة يمكن ان تخلق ظروفا تعزز تكوين قطرات كبيرة بواسطة التكثيف التصادم - الالتحام ، من شأنها ان تزيد معدل تكوين الثلج ، أو تعمل على تكوين جزئيات تساعد بفعالية على سقوط الامطار .

ومن ناحية أخرى ، فقد وصفت السحب القارية الباردة على أنها " كيانات متوازنة غروانيا" لعدم احتوائها بوجه عام على قطيرات كبيرة ، **وتنحصر** مهمتها فى تكوين بللورات الثلج . وتقل قدرتها الطبيعة على انزال الامطار اذا ما قورنت بالسحب البحرية ، ومع ذلك فانها تستجيب للاكثار اكثر من الانواع التى تفتقر الى التوازن الغروانى .

ويمكن زيادة كفاءة سقوط الامطار بطريقتين : الاولى بواسطة زيادة نسبة التنوى (الاكثار الساكن أو الاستاتى) التى تستفيد فيما بعد من الظروف الطبيعية المتاحة لتحقيق معدلات نمو اكثر كفاءة للجزئيات المنواة . وستكون السحب القارية الباردة اكثر استجابة للاكثار الاستاتى من السحب البحرية الموجودة فى جميع الفصول أو السحب الركامية القارية الصيفية . والطريقة الثانية هى بواسطة تعزيز نمو السحب (الاكثار الدينامكى) الذى يؤدى الى زيادة ابعادها وبالتالى زيادة معدلات انطلاق الرطوبة منها ، الامر الذى يحدث نتيجة لزيادة معدلات التنوى ونمو الجزئيات لفترة طويلة من الزمن . وقد نمت - بشكل مكثف - السحب المتحركة التى تم نشرها فى فلوريدا وجنوب داكوتا وهطلت على أثرها امطار غزيرة . ومع ذلك فقد شوهدت بعض قمم السحب وهى تنفصل عن قواعدها فى اعقاب عمليات من نفس النوع (فاجان ، ١٩٧٨) .

وبذلك ، يمكن شرح النتائج المتضاربة للتجارب المبكرة لاكثار السحب ، وذلك بملاحظة أن السحب شديدة البرودة ذات البينات الدقيقة المختلفة والتى تحتوى

على الثلوج قد تستجيب بطريقة مختلفة لاساليب اكثار معينة . ذلك ان التوازن الغروانى المرتفع للسحب الطباقية الشتوية فى تسمانيا ، أو السحب الشتوية الجبلية بالولايات المتحدة فى تجارب الذروة وكذلك السحب الشتوية الركامية القاربة باسرائيل ، على سبيل المثال ، يساعد فيما يبدو على جعل هذه السحب اكثر ملاءمة لعملية الاكثار بغية تحقيق آثار طبيعية دقيقة من السحب الركامية باستراليا أو السحب الركامية الصيفية فى تجربة "هوايت توب" بالولايات المتحدة . وقد اتضح أن هذه السحب الاخيرة تنتج وبشكل طبيعى مجموعات هائلة من الثلوج ، الامر الذى يجعل اضافة ايه نوى ثلجية فى هذه الحالات غير ضرورى بل وضار ويبدو أن الاكثار يؤدى فى مثل هذه الحالات الى نتائج ايجابية عند ما تكون عمليات تنوى الثلج ونمو الذرات اكثر بطئا من المعدل الذى تطلق عنده الرطوبة فى السحب عن طريق الاكثار (فاجان، ١٩٧٨) .

درجة الحرارة

من المعروف منذ زمن بعيد أن تكون الثلوج فى السحب يتوقف على درجة حرارة السحب . وفى حالة عدم توفر بديل لعملية تكوين الامطار، وجد أن تكون بللورات الثلج العادية ونموها فيما بعد ، ينتج أمطار ذات جزئيات فى حجم الامطار فى السحب المتنقلة فقط والتى تبلغ درجة حرارتها الباردة القصوى أكثر من - ١٠° الى - ١٢° مئوية (أى ما يعادل سحابة عمقها ٣ر٢٥ كم) . ويتناسب حجم وتركيز عناصر الامطار فى السحب المختلفة مع اكبر عمق واعلى درجات الحرارة بها . وتنتج السحب الباردة العميقة جدا قطرات اكثر واكبر حجما من المطر .

وليس من المحتمل أن تتأثر السحب التى تكون حراراتها العظمى اكثر دفئا عن - ١٠° الى - ١٢° بالاكثار بجزئيات يوديد الفضة والتى تبدأ درجة حراراتها المنشطة - ٥° مئوية .

ويبدو أن السحب المتنقلة التى تبلغ درجة حرارتها العظمى ما بين - ١٢° الى - ٢٠° مئوية اكثر السحب ملاءمة للاكثار . ففى يوم مطير باسرائيل يتناسب جزء كبير من السحب اليومية مع متوسط درجة الحرارة . ويبدو أن الاكثار يكون فعالا للغاية عند ما تكون درجات الحرارة العظمى فى نطاق من - ١٥° الى - ٢١° مئوية . وتعمل السحب ذات الحرارة القصوى الاكثر برودة (- ٢٥° مئوية) على تكوين تجمعات طبيعية من بللورات الثلج مما يجعل عملية اكثار السحب عديمة الجدوى وربما ضارة . وبالتركيز على السحب فى هذا المدى الحارى بلغ التأثير العام لعمليات الاكثار التجريبية ٢٣ بالمئة، بمعدل ٥ بالمئة . وكان المتوسط اليومى لسقوط الامطار على مدى ايام التجربة التى حققت امطارا تقل أو تعادل ١٥مم، هو ٨ر٨مم . ولم تسهم الامطار الاكثر غزارة المرتبطة بقمم السحب الاكثر برودة فى هذه النتيجة النهائية (فاجان، ١٩٨١) .

وما زال هناك العديد من التساؤلات التى لم يرد عليها فى مجال طبيعة السحب . أولا ، أن معظم تجارب نشر (أو اكثار) السحب قامت على افتراضات أن الآليات الطبيعية ليست مجدية تماما فى تحويل الرطوبة الى سحاب أو الى شبكة سحب، وأنه يمكن زيادة كفاءة عملية الاكثار، ومع ذلك فقد ذكر القليل جدا من المعلومات عن كفاءة سقوط الامطار، لانه وجد فى كثير من الاحوال أن لا مبرر اطلاقا لافتراض انخفاض الكفاءة الطبيعية لسقوط الامطار.

وقد كثر ايضا النقاش حول ما اذا كانت زيادة الامطار فى منطقة معينة سيكون على حساب سقوط الامطار فى منطقة اخرى ، وليس الامر كذلك بالضرورة ، وانما يتعين جمع وتحليل المزيد من المعلومات التفصيلية عن المناطق التى تتأثر بالفعل .

ومن الممكن الآن تحديد الظروف الملائمة التى ينبغى توافرها للسحب لكى يتم بنجاح تنفيذ الاستراتيجيات المعروفة الخاصة بعمليات نشر السحب . ومع ذلك فليس من الواضح الحد الامثل لتركيز بللورات الثلج المطلوب لانتاج أقصى قدر من الامطار. وربما يعتمد المعدل الامثل للاكثار على ذلك الجزء من دورة حياة السحب أو شبكة السحب الذى يتم عنده عملية الحقن بمواد الاكثار. ان المعرفة الافضل لنتائج تنشيط مرحلة تكوين الثلج فى سحابة كوظيفة لدورتها الحياتية بعد اكثارها قد يساعد على التنبؤ بحدوث آثار معاكسة (انخفاض سقوط الامطار الطبيعية) . ومن منطلق هذا الرأى ، لاتزال هناك مشاكل يتعلق بالتحديد المسبق لامكانية اكثار السحب (غاجان ووارنر، ١٩٧٨) .

(ب) تكنولوجيا تعديل الجو

تسهم الجوانب التكنولوجية لتعديل الجو فى تفهم عمليات السحب والشكوك المثارة حولها على السواء . ولا يمكن تنفيذ تكنولوجيا ملائمة لعملية الاكثار الا على أساس توفير مولدات اكثار معايرة بدقة ، وتقديرات يعتمد عليها لتوزيع عوامل الاكثار على نطاق واسع فور اطلاقها فى الفضاء ، ونظام ملائم للتصريف يفى بمتطلبات ضبط التوقيت و "الجرعات" ، وأخيرا توفير نظام محكم للمراقبة يكفل تنسيق ورصد تلك الجهود المعقدة .

ومن المشاكل الرئيسية عدم قدرة نظرية التنوى على أن تحدد الآن وبالتفصيل الاهمية النسبية لمختلف طرق تنوى الثلج ولا أن تحدد ظروف السحب والبيئة التى تفضى الى امكانية تحديد هذه العمليات . ومن ثم ، فان المعايرة المعملية تتم دون معرفة طريقة تفاعل مواد الاكثار بعد اطلاقها فى السحب المستهدفة .

وما زالت هناك بعض الصعوبات في مجال وضع استراتيجية سليمة للاكثار. فمثلا من الصعب، مع توافر المعرفة الحالية، تقدير درجة تركيز عامل الاكثار اثناء انتشاره (بواسطة الانتشار المتضارب مثلا) في المنطقة المستهدفة. ويمكن القضاء على بعض جوانب الشك وذلك بالقياس المباشر بدرجة تركيز مادة الاكثار داخل المنطقة وستطبق تلك المقاييس اثناء مشروع زيادة الامطار الذى ستقوم بتنفيذه الهيئة العالمية للارصاد الجوية (غاجان ووارنر، ١٩٧٨).

وليس هناك سوى قليل من السحب لها مجموعة الظروف التى يمكن أن تتأثر باكثار السحب لزيادة الامطار أو الجليد. وفى كل الطرق، يستخدم "عامل الاكثار" لبدء عملية انزال الامطار التي ماتلبث ان تستمر تلقائيا. وتستخدم بعض طرق الاكثار الطائرات لتوريد عامل الاكثار الى السحب مباشرة على حين تستخدم طرق اخرى المعدات الارضية التى تطلق عامل الاكثار فى الهواء حيث تحملها الرياح الى السحب عن طريق تيار صاعد.

(١) أساليب اكثار السحب

اشتملت معظم التجارب التى اجريت حتى الآن لزيادة مياه الامطار على عملية اكثار السحب بالجزئيات بهدف التأثير على السحب بأحدى الطرق الآتية:

(أ) تعزيز عملية التكثيف ـ التصادم ـ الالتحام (كل الماء)؛

(ب) تنمية أو زيادة نمو جزيئات الثلج فى مياه الامطار؛

(ج) تغيير الخواص الديناميكية للسحب.

ولا يستخدم الاسلوب الاول الا فى نطاق محدود للغاية نظرا لحاجته الى مواد ضخمة وظروف ملائمة. ويمكن تنفيذها اما بطريقة الرش بالماء أوباستخدام مواد تمتص الرطوبة من الهواء (كالملح مثلا). وهاتان المادتان تسببا مشكلة حادة تتعلق بالامدادات نظرا للحاجة الى كميات كبيرة لاحداث تأثير واسع النطاق. وعلاوة على ذلك، فان هذا الاسلوب يتطلب نوعا معينا من السحب مثل السحب البحرية أو القارية الدافئة التى تجعل آليات سقوط الامطار بصورة طبيعية فعالة للغاية.

ويتطلب الاسلوب الثانى اضافة كمية مناسبة من عامل الاكثار (يود الفضة عادة) فى الوقت المناسب وفى السحب الملائمة. ويتوقع أن يؤدى هذا الى سقوط المزيد من الامطار، اما بواسطة زيادة الامطار فى السحب التى لم تكن لتستطيع لولا ذلك تكوين الامطار بسبب قلة بللورات الثلج، أو بزيادة كفاءة سقوط الامطار فى السحب الممطرة بالفعل وذلك بوضع نواة الثلج فى الاجزاء "الاكثر دفئا" حيث لن تتكون بصورة طبيعية. ويتوقف حجم هذا التأثير بشكل أساسى على البنيات الدقيقة والابعاد الخارجية للسحب. وينبغى أن يراعى

أنه فى حالة عدم تنفيذ هذا الاسلوب بطريقة سليمة ، فانة يمكن أن يخفض سقوط الامطار .

والاسلوب الثالث هو زيادة مياه الامطار بواسطة عمليات الاكثار الضخمة التى تستهدف التأثير على الخواص الدينامية للسحب الركامية . ولحركة هذه السحب الدينامية قوة وحجم ودوام تيارات الهواء الرأسية تأثير كبير على ترسيب السحب الركامية . فكلما زاد حجم السحب، زادت فرصة تقدم احدى الآليات صوب مرحلة زيادة ترسيب السحب . وقد استطاعت هذه الاساليب عند مرحلة تفجير ودمج السحب أن تنجح فى زيادة الامطار (غاجان ونيومن ، ١٩٧٦) .

(٢) عوامل الاكثار

تتمثل عوامل الاكثار الشائعة لتكوين بللورات الثلج فى الثلج الجاف ويوديد الفضة . وعند استخدام الثلج الجاف فى درجة حرارة -٦٢° مئوية ، يطلق من طائرة على هيئة حبيبات صغيرة الحجم . وهذه تزيد من برودة الهواء الى درجات حرارة تساعد على تكوين بللورات الثلج بشكل طبيعى . وعندما تتواجد هذه الحبيبات، فانها تبدأ فى سحب الرطوبة من السحب وتنمو بحيث تتحول الى كتل جليدية تأخذ كبراها فى التساقط بسبب ثقلها . وكان الثلج الجاف يستخدم وما يزال فى السحب الفردية ، ولكن قد يصعب استخدامه فى التجارب الواسعة النطاق لاسباب تموينية . الا انه غير سام على الاطلاق وليست له آثار متخلفة .

وتعمل آلية زيادة بللورات الثلج بطريقة طبيعية بفعالية كبيرة وذلك عند درجة حرارة -٥° مئوية ، وهى بداية درجة حرارة يوديد الفضة الذى يعتبر اكثر عوامل الاكثار المستخدمه شيوعا . اذ وجد أنه اكثر العوامل ملائمة لخصائصة العديدة - ينشط عند درجات حرارة قصوى ، يحقق ناتجا عاليا من الجزئيات النشطة لكل غرام من المادة ، انخفاض نسبة الذوبان فى الماء بشدة ، انخفاض السمية وامكانية النقل . وقد أثبت البحث الذى استمر عشرين عاما عدم صحة الشكوك التى أثيرت حوله ومن مدى تأثيره على البيئة . ويمكن انتاج ابخرة يوديد الفضة بواسطة المولدات الخاصة بالافران التى تنتجها منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية ، أو بواسطة الالعاب النارية..

(٣) الصواريخ النارية

استحدثت محطة تجارب الامداد البحرى بكاليفورنيا أساليب الاكثار الضخمة التى أصبحت متاحة فى عام ١٩٦٣ . وكان الابتكار الجديد عبارة عن توليد دخان يوديد الفضة بالصواريخ النارية . واعتبر استحداث لاجهزة الصواريخ النارية المساعدة على تكوين نواة الثلج بمثابة تقدم تكنولوجى رئيسى . وتطلق مولدات الصواريخ النارية للبحرية المعروفة باسم "اليكتوس" كمية تقدر بـ ٢ر١ كغم

من يوديد الفضة يمكن اسقاطها بواسطة طائرة فى وسط السحب مباشرة .

ويجرى سحق يوديد الفضة وخلطه بمؤكسد ووقود ويوضع فى شعلة لصاروخ نارى . وعند احتراق المادة ، يتبخر يوديد الفضة . وتعتبر جزئيات يوديد الفضة الدقيقة التى تتكون باعادة التكثيف فعالة جدا بوجه عام بوصفها نواه لتكوين الثلج . وتعبأ بضع مئات من الغرامات فى اسطوانة من الكرتون داخل خرطوشة من الالومونيوم طولها حوالى ١٥سم . ثم توضع هذه الخراطيش على حامل مثبت أسفل جناحى طائرة النشر أو الاكثار . ويمكن اطلاق الوهج بالكهرباء ويفرغ الى اسفل لنشر دخان يوديد الفضة فى المياه شديدة البرودة بالقرب من قمة السحب . وقد استخدم المعمل التجريبى للارصاد الجوية فى تجاربة حوالى ٢٠ شعلة متوهجة أو اكثر من يوديد الفضة لاكثار كل سحابة ، بيد أن تحديد الكمية المثلى من يوديد الفضة لاستخدامها فى الاكثار ، مازال موضع نقاش (وزارة التجارة بالولايات المتحدة ، ١٩٧٢) .

ويمكن البدء فى اطلاق الشعلات المتوهجة يدويا ، وذلك باطلاق زر يقوم بتشغيله خبير الارصاد الجوية بالطائرة أو بطريقة آلية بوضع برنامج للاطلاق بأجهزة تحكم اخرى مع اختيار عدد الشعلات لكل انفجار ، وتشغيل برنامج الاطلاق عن طريق زر الاطلاق . وقد تسمح الخيارات المتاحة باختيار من واحد الى ثلاث شعلات لكل انفجار مع التوقف لفترة ٢ - ٢٠ ثانية بين الطلقات .

(٤) أساليب التوريد

هناك ثلاث وسائل رئيسية لتوريد العامل المقرر استخدامه لاغراض التجريب فيما يتعلق بالسحب . أولا ، تستخدم المولدات الارضية أساسا لاكثار السحب الجبلية . ذلك أن هذا الاسلوب يعد فعالا بنوع خاص فى السلاسل الجبلية ويتم تشغيل المولدات الموضوعة أعلى المنحدرات الجبلية قبل وصول شبكة السحب الى الهدف . ويتم اشعال المولدات من الداخل وتنشر فى السماء شبورة من جزئيات يوديد الفضة . وبغية توصيل يوديد الفضة الى السحب ، يتعين اجراء عمليات حسابية معقدة ووضع التجارب ، واستخدام نظم تحكم ملائمة تأخذ فى الاعتبار شدة الرياح واتجاهها .

ويمكن الاكثار على نطاق واسع على مستوى قاعدة السحابة (١٥٠٠ - ٢٠٠٠م) وذلك لاكثار مجموعات السحب المتنقلة الامامية . ويتم ذلك من طائرة على طول طريق الطائرة المعاكس للرياح والذى تبعد عن الهدف بحوالى ١٠ - ١٥ كم ويمكن اداء عملية الاكثار بواسطة مولدات حارقة تعمل بأسيتون يوديد الفضة وتثبت على الطائرة .

وقد وجد أن حقن الثلج الجاف أو يود يد الفضة بواسطة الطائرة مباشرة في السحب شد يد ة البرود ة فعال في اكثار السحب الركامية . ففي التجارب التي أجريت على سبيل المثال في منطقة السحب الركامية بفلوريدا عند ما أوحي النموذج بامكانية طيبة لاكثار السحب أو امكانات النمو، تخترق طائرة أو عدد من طائرات الرصد سحب التجارب (على ارتفاع يتراوح ما بين ٦٠٠٠ - ٨٠٠٠ م) قبل عملية الاكثار بثلاث د قائق وذلك لقياس د رجة الحرارة وسرعة الرياح والرطوبة وكمية الرطوبة القابلة للترسيب وشكل الجزئ . وتحلق طائرة نثر متوسطة المدى مرة عبر قمة السحب، ثم تحلق مرة أخرى عند الزوايا اليمنى بعد مضي ثلاث د قائق تقريبا . ثم يلقي الطيار عشر شعلات من يود يد الفضة على فترات طول كل منها حوالي ١٠٠ م عند كل مرور . وبعد هذه الد ورة تحلق طائرات الرصد مرة اخرى ، لتقد ير التغييرات في خصائص السحب التي سبق تقد يرها . ويتم تنسيق الطائرات بواسطة الرادار ومراقب الرحلة (سمبسون وأخرون ، ١٩٧٠) . وفي التجارب التي اجريت في اسرائيل ، تحلق الطائرة جيئة وذهابا على طول طريق يحد د سلفا وتقوم بصفة مستمرة برش رذاذ رقيق من جزئيات يود يد الفضة في السحب.

(٥) الرادار والاستشعار عن بعد

يستخد م الرادار في جمع المعلومات عن السحب وتقد ير كمية الامطار التي تسقط على مساحات شاسعة . وقد وضعت حسابات عن سقوط الامطار بواسطة الرادار عام ١٩٦٩ ، وجربت بواسطة د راسة لقياس الامطار بالرادار أجراها وود لي وهيرند ون . وتم تقييم كمية الامطار بواسطة تحد يد كل منسوب والرسوم البيانية المد عمة بالزمان والمكان ، ود مج الوقت الاضافي (سمبسون ، ١٩٧٠) . وقد اعطت هذه الاساليب مؤشرا يعتمد عليه لنتائج سقوط الامطار . وقد استخد مت مؤخرا مجموعة من اجهزة القياس المباشرة والبعيد ة ، سواء من الارض أو من د اخل طائرة أو بواسطة التصوير بالتوابع . وينقل التابع، بسرعة ، المعلومات المتعلقة بسقوط الامطار وسرعة الرياح واتجاهها ود رجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي ، من محطات مراقبة الجو عن بعد الى المواقع المركزية حيث يستطيع الباحثون تقييمها (وزارة الد اخلية بالولايات المتحد ة ، ١٩٧٩) .

وتستطيع قياسات الرادار (ذات الابعاد الثلاثة) توفر المعلومات الاساسية المتعلقة بكيفية زياد ة الامطار رأسيا وافقيا ، وقد تكون هذه المعلومات على قد ر كبير من الاهمية في التحليل الاخير للنتائج .

(ج) تقييم النتائج

ان عدم امكانية التنبؤ بسقوط الامطار الطبيعية من العوامل الاساسية التى تحول دون تقييم المشروعات العملية لاكثار السحب . وهذه المشروعات على درجة كبيرة من التعقيد بحيث يتطلب تقييمها تقييما دقيقا جهدا علميا وفنيا ضخما .

وتعتبر أجهزة التحكم الاحصائى أساسية فى التجارب الخاصة بالارصاد الجوية ، وذلك لاختيار سلامة الروابط الطبيعية واقرارها فى النماذج المستخدمه . ويمكن فى أغلب الاحيان استخلاص نتائج معاكسة تماما من نفس الظروف المبدئية بمجرد استخدام افتراضات وبارامترات مختلفة . وفى الايام الاولى لعملية تعديل الاحوال الجوية ، حققت التجارب العشوائية الدقيقة التصميم الموضوعة على اساس الفرضيات المرجحة نتائج محيرة بدت مختلفة اختلافا جذريا استنادا الى الموقع والوضع الاجمالى وطريقة الاكثار كذلك (سمبسون ، ١٩٧١) .

ويعتمد تحسين الجو على التحليل الاحصائى لعمل التقييم الكمى لنتائج تجربة معينة . ومن الضرورى دعم هذا التقييم بمقاييس طبيعية تدعم الفرضية الذى تقوم على اساسها التجارب . ومازالت هناك شكوك حول كيفية استخدام الوسائل الاحصائية المتاحة لدى القائمين بالتجارب، وكيفية تفسير المعلومات التى توفرها هذه الوسائل على النحو المشار اليه ادناه .

وتعتبر العشوائية المطلب الاساسى لتجربة تعديل الجو . ولكن عند تغيير عدد الفترات التجريبية بفترة دوام كلية قصيرة نسبيا (خمس سنوات أونحو ذلك) فأنه من الصعب التأكد من أن الاختيار العشوائى قد أدى بحق الى تقدير الحوادث الخاصة بالارصاد الجوية تقديرا متكافئا . ونظرا لان الفترات التجريبية ربما لاتكون متطابقة من حيث الارصاد الجوية فسوف يكون هناك بعض التحيز للنتيجة الاحصائية . وبالرغم من المحاولات التى بذلت فى التجارب، التى اجريت بدقة للحد من احتمال التحيز الطبيعى فانه من الصعب التأكد من عدم وجود أى تحيز نظرا لانه لم يكن هناك تفهم كامل لكل مكونات عملية زيادة الامطار .

ومن الامور الهامة أيضا فى تصميم احدى التجارب، اختيار أكثر المناطق ملاءمة حيث يوجد ارتباط شديد بين سقوط الامطار هناك وسقوطها فى المنطقة المستهدفة مع عدم تأثرها بعملية الاكثار . وان عدم معرفة عوامل الاكثار المستخدمه توجد احتمالا بأن منطقة مراقبة سقوط الامطار قد تتأثر بعملية الاكثار .

وفضلا عن ذلك فان التحليل الاحصائى يعطى مجرد احتمال بأن النتيجة الملاحظة لم تكن حادثا عرضيا . ولكى نجرى تحليلا معينا ، قد يتعين وضع افتراضات يتعلق بالتوزيع الاحصائى لمياه الامطار . ويمكن أن تساعد هذه الافتراضات على التنبؤ بالمستويات الاحصائية الهامة المختلفة وخاصة فيما يتعلق بالعينة الصغيرة المتوفرة (فاجان ووارنر ، ١٩٧٨) .

وتعتبر المقارنات - سواء الوقتية أو المكانية أو كلاهما - المبدأ الاساسي لتقييم آثار الاكثار . وتشمل العوامل الهامة فى أى تقييم اختيار متغيرات الاستجابة ، ووحدة أخذ واختبار العينات ، ونوع المشروع (مطر أو ثلج أو برد) وفترة جمع المعلومات ، وتصميم ضبط الهدف ، وحجم العينة . (التى تم اكثارها والتى لم يتم اكثارها) والمتغيرات المساعدة ، وحجم الاهداف ومناطق المراقبة ، والتأثير المتوقع للاكثار ، والاساليب التقنية المستخدمة .

ان التقييم السليم ، الذى يتجنب التحيز الواضح ، قد يتضمن الملاحظات المحددة بصورة موحدة والمتعلقة بالمناسبات التى اجريت فيها عمليات الاكثار وتلك التى لم تحدث فيها تلك العمليات ، ووسيلة موحدة لقياس متغيرات الاستجابة واختيار تصميم ضبط الهدف وأسلوب احصائى استنتاجى ، والالتزام ببروتوكول يوضع مسبقا ، وتوفير وثائق كاملة لعملية الاكثار ، بما فى ذلك معايير الاكثار المستخدمة ، وطرق جمع وتسجيل البيانات ، وكمية عوامل الاكثار وتوقيتها ، والادوات المستخدمة فى الاكثار ومعدله . ويبدو أنه مع أخذ هذه الاحتياطات ، يمكن وضع تقييم جيد للمشروعات العملية (هسو وشانغنون ، ١٩٨٣) .

والحقيقة المرة هو أن ٣٥ عاما من البحث العلمى فى مجال تعديل الجو لم توفر أدلة مقنعة كافية على أن بمقدرة العلماء أن ينجحوا فى تغيير سقوط الامطار وتتضمن العوامل المسببة لذلك ، ضعف تصميم وادارة المشاريع ، والادارة الفاشلة وعدم القدرة على وضع الافتراضات العشوائية وعدم توخى الدقة فى جمع المعلومات ، وضعف القيادة ، والاهم من ذلك هو التمويل غير الكافى على الصعيدين العام والخاص (شانغنون ، ١٩٨٠) .

وفى عام ١٩٨١ قررت منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية باستراليا وقف اشتراكها النشط فى تجارب اكثار السحب الرامية الى زيادة سقوط الامطار فى المناطق الريفية . وقد أوحت برامج القياس والتجارب النشطة بأن الاحوال الجوية بالعديد من المناطق الاسترالية اما غير ملائمة لنجاح أساليب الاكثار المتاحة أو أنها متغيرة بشدة فى حد ذاتها بحيث لاتسمح بزيادة الامطار ، مما يؤثر بطريقة مباشرة على سير هذه التجارب . ومازالت المنظمة تحتفظ بخبرتها الفنية فى مجال طبيعة السحب ، وتواصل القيام بدور استشارى للمستفيدين الممكنين بأساليب اكثار السحب (ويلسون ، ١٩٨٢) .

وكانت النتائج التى تحققت فى اسرائيل من الاقناع خلال فترة التجارب بحيث شجعت القطر على مواصلة تجاربه وتوسيع برامجه العملية فى هذا المجال لكى تثبت سلامة النظرية والتكنولوجيا . واستنادا الى التجارب التى اجرتها ادارة العلوم الجوية بالجامعة العبرية باسرائيل خلال الفترة من ١٩٦٠ - ١٩٧٥ تقرر البدء فى مشروع عملى للاكثار يطبق تماما الاساليب التى استحدثت فى التجارب السابقة .

ويجرى حاليا بذل هذا الجهد التنفيذى بالاستعانه بتجربة ثالثة فى الاقاليم الجنوبية القاحلة باسرائيل . ومن المتوقع أن يستمر هذا الجهد الاخير لمدة ١٢ سنة على الاقل نظرا للطبيعة المتغيرة لسقوط الامطار فى هذه المناطق . ويرجع الفضل -اساسا- فى نجاح اسرائيل الى نظام السحب الموحد والذى يتكون فى الغالب من سلسلة السحب الركامية ، ذات التوازن الغروانى الكبير وأعماق ودرجات حرارة تجعل هذه السحب تستجيب لعملية الاكثار (غاجان ، ١٩٨١) .

وفى الولايات المتحدة ، كان مشروع سييرا التعاونى التجريبى ، وهو تجربة لاكثار السحب فى فصل الشتاء ، ويجرى تنفيذه فى اطار مشروع سكاى ووتر يستهدف زيادة المعرفة حول زيادة سقوط الامطار فى منطقة جبال سييرا نيفادا لمد الوادى الاوسط بكاليفورنيا بمزيد من المياه . وقد اجريت عمليات التخطيط واكتساب المعلومات والتدريج فى الفترة من ١٩٧٣ الى أوائل الثمانينات . وقد نفذت تجارب اكثار السحب باستخدام الثلج الجاف ، اعتبارا من كانون ثانى/يناير الى آذار/مارس ١٩٨٣ . ويجرى الآن تحليل النتائج .

ومن المشاريع الرئيسية الاخرى الجارى تنفيذها بالولايات المتحدة البرنامج التعاونى للسهول المرتفعة ، فى اطار مشروع سكاى ووتر ، والتجربة التعاونية الخاصة بالامطار المتحركة . والغرض من البرنامج الاول هو استحداث تكنولوجيا لاكثار السحب بغية زيادة سقوط الامطار على السهول المرتفعة الجافة بغربى الولايات المتحدة . وقد اختيرت ثلاثة مواقع وبدئ فى جمع المعلومات فى منتصف السبعينات ومن المقرر أن تستمر ابحاث هذا البرنامج لعدة سنوات ، وسيتم تعزيز فهم تكنولوجيا وتكاليف وفوائد هذا البرنامج (وزارة الداخلية بالولايات المتحدة ١٩٧٩) . وقد تركزت التجربة التعاونية الخاصة بالامطار المتحركة فى مدينة مايلز بمنطقة مونتانا وكانت أهدافها مماثلة لاهداف البرنامج السابق وتعتبر أكبر تجربة ميدانية من نوعها تم وضعها .

وعلاوة على ذلك فقد بدأت المنظمة العالمية للارصاد الجوية فى أواخر السبعينات فى "مشروع زيادة مياه الامطار" طول المدى . ومن بين أهداف هذا المشروع توفير المعلومات الموثوق بها عن احتمالات التدخل الاصطناعى الناجح فى العمليات الخاصة بالارصاد الجوية بغية زيادة كمية الامطار فى منطقة مساحتها ١٠٠٠٠ كم^2 . وتبلغ مساحة موقع المشروع فى اسبانيا حوالى ٥٠٠٠٠ كم^2 ، وهى تعتبر كافية لاجراء تقييم جيد للجدوى العلمية والفائدة الاقتصادية ، الا انها من الصغر بحيث لاتسمح باستخدام الوسائل الملائمة للاكثار وابداء الملاحظات . ومن المقرر اجراء تجارب مكثفة على مدى خمس سنوات لاستخدام المقاييس المنظمة الواسعة النطاق للحصول على دليل علمى مدعم بالوثائق يؤدى الى الوصول بآثار الاكثار الى الحد الامثل (المنظمة العالمية

للارصاد الجوية ، ١٩٧٨) . ومن بين أهداف مشروع زيادة الامطار بيان، بالاحصائيات المرضية وعلى مدى فترة تجريبية قصيرة نسبيا (خمس سنوات)، أن أية زيادة يمكن ملاحظتها ليست مجرد حدث عارض، وانما هي مرتبطة بعملية الاكثار. ويعمل كبار الشخصيات في ميدان تغيير الجو على مدى السنين في استراليا واسرائيل والاتحاد السوفياتي والولايات المتحدة على توفير مدخلات رئيسية ، لمشروع زيادة الامطار.

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

تعتبر الاساليب والمعدات المستعملة لجمع البيانات عن الطقس، وأكثار السحب وقياس النتائج ، بالغة التعقيد عاما كما تبين من القسم ٢أعلاه . ومع أن بعض المعدات البسيطة ، كمقاييس المطر المتصلة بالمواقع الحاضرة ، تستعمل لجمع معلومات لبرامج تعديل الطقس، يستخدم الباحثون ايضا آخر ما تم استحداثه من الحاسبات الالكترونية ، والتوابع الاصطناعية ، ونظم الرادار والطائرات المزودة بالادوات في سعيهم الى تفهم طبيعة الطقس.

وتقوم الطائرات المزودة بأدوات بالغة التعقيد بملاحظات مباشرة في السحب، وتورد عوامل الاكثار خلال التجارب . وتخزن شبكة البيانات كميات كبيرة من المعلومات التي تمكن العلماء من فهم الغلاف الجوي بصورة أفضل وتساعد على تفسيرها .

وتوجد على متن أفضل طائرة حديثة متاحة لبحوث تعديل الطقس حاسبات الكترونية وادوات عرض بصرية . ومن الممكن لتلك الطائرة أن تستقبل اشارات من منطاد رصد وشبكة أرضية في وقت واحد تقريبا . ويمكن لادوات العرض الخاصة بالرياح السطحية والموجودة على متن الطائرة ، ان توجه القائم بعملية الاكثار الى المناطق الواعدة وأن تبعده عن المناطق التي يدخل فيها في صراع مع الطبيعة .

وفي مجال علم طبيعة السحب، حدثت في السنوات الاخيرة بضع تطورات جديدة تتيح امكانيات جديدة لبحوث طبيعة هطول المطر . ويمكن للنماذج العددية التفصيلية ، التي تستوعب الكثير من العمليات والتفاعلات الفيزيائية الحادثة في أنظمة السحب وحولها ان تصل ، بثقة ، في نهاية المطاف الى امكانية التنبؤ بأحوال السحب وقد تسمح بتقييم فيزيائي للآثار الممكنة لاكثار السحب من اجل زيادة الامطار.

وقد مكنت التطورات الهامة في الادوات المستخدمة في مجال طبيعة السحب من قياس البارامترات الفيزيائية الدقيقة للسحب في الوقت الفعلي وبمزيد من الدقة بالتأكيد .

وتصبح أساليب الاستشعار عن بعد فى علاقتها بالسحب وأنظمتها ادوات مفيدة فى بحوث تعديل الجو . ويمكن لانظمة رادار "د وبلر" المتعددة القياسات ان توفر الكثير من المعلومات المتصلة بالهيكل الدينامى للسحب فى نظم الطقس التى ترتبط بها . وقد تم احراز بعض التقدم فيما يتعلق بشبكات قياس المطر المرتبطة بالرصد الرادارى من أجل التوصل الى تحديدات لهبوط الامطار فى منطقة ما (فاجان ، ١٩٧٨) .

وتتوافر اجهزة عرض رادارية ثلاثية القياس تظهر مجال الحركة ثلاثية الابعاد داخل نظام سحاب وقت تكونه . وفى تجارب فلوريدا ، اعتمدت امكانية زيادة المطر على أسلوب الاكثار الذى يتحكم فيه مجال الحركة .

ومن المعترف به أن التجارب التى تستخدم الطائرة بالغة التعقيد والمزودة بالادوات ، ورادارات "د وبلر" ، وقياس الصوت عن بعد ، وقياس الاتصالات بالحاسبات الالكترونية ، مكلفة للغاية ، وسوف يحتاج بعد تلك العمليات اقتصادية الى اختزال اضافى للمعارف المكتسبة من تجارب البحث فى مجموعة من المحددات التى يمكن قياسها بسهولة والمدخلة فى معادلات يمكن حلها بسهولة (سمبسون ، ١٩٧٨) .

وفى تجارب مشروع زيادة الامطار ، يعتبر التجهيز المسبق وتأكيد الصلاحية عن طريق الحاسبات الالكترونية المصغرة والتخزين ، متطلبات رئيسية فى المراقبة المسؤوله لجودة البيانات . وهناك حاجة الى ان تكون بعض البيانات متاحة بصورة مباشرة من أجل صنع القرار (البيانات الاجمالية ، والبيانات التى تجمع عن طريق الرادارات والتوابع الاصطناعية) . ويتعين لمعلومات اخرى ، كقرارات وتسجيلات مقاييس المطر والصور الصوتية الجانبية التى تنقل بطريق الراديو والمحددات الفيزيائية للسحب ، ان تكون متاحة للبحوث ذات الصلة فى الموقع .

ويتعين الحصول على البيانات الصوتية الخام المناسبة للموقع اربع مرات يوميا على الاقل فى المتوسط طوال الموسم . وتعد هذه الملاحظات ضرورية لتحديد استقرار الغلاف الجوى وهيكل الرطوبة وربما للاستعمال فيما يتعلق بنماذج امكانية اكثار السحب (بولى ، ١٩٧٨) .

كذلك حدثت بعض التطورات والتجارب باستخدام عوامل اكثار جديدة . ويمكن تحقيق تنوية متجانسة لبخار الماء عن طريق بخر البروبان السائل ، أو ادخال الهواء السائل أو تمدد الهواء المضغوط .

وعلاوة على ذلك ، فان التنوية غير المتجانسة بواسطة جزئيات أيروسول جديدة لها خصائص مكونه للجليد قد جربت على نطاق محدود . ويبدو أن مواد مثل كبريتيد النحاسيك ويوديد الرصاص ومواد عضوية مثل ١ - ه ثنائى ايدروكسيل النفتالين . ميتالديهايد ، فلوروغلوسينول ، فينازين وأسيتيل - أسيتونات النحاس

وتعتبر من بين المواد الواعدة الى حد بعيد (سيد ونوف وفولوتشكوك ، ١٩٧٨) . الا أنه بسبب الخبرة الاكبر باستخدام يوديد الفضة والثلج الجاف والمعرفة الاكبر بهما ، فمن المرجح ان يستمر استعمال هذين العاملين فى المدى المتوسط.

٤ - التطبيق فى البلدان النامية

اجريت معظم التجارب المتعلقة بتعديل الجو، بما فى ذلك اكثار السحب لزيادة الامطار ولمنع البرد ولتبديد الضباب من جانب بلدان صناعية كالولايات المتحدة، والاتحاد السوفياتى . واستراليا واسرائيل . بيد أنه اجريت بين الحين والآخر أنشطة عملية لاكثار السحب لزيادة الامطار فى معظم البلدان النامية فى امريكا الوسطى والجنوبية، وافريقيا ، وآسيا والشرق الاوسط.

وقد نفذت كثير من هذه العمليات شركات خاصة ، تقدم خدمات اكثار السحب الى دول فى مختلف ارجاء العالم . وعلى سبيل المثال ، جرى تشغيل متعهدين فى السنوات الاخيرة لاكثار السحب تحت رعاية حكومات ولايات عديدة فى الهند .

وتتباين الاطراف المعينة داخل البلدان تباينا شاسعا من دولة الى أخرى . وأحيانا ما تقدم اتحادات خاصة ، كالتعاونيات الزراعية ، بتشغيل خبراء فى تعديل الجو. وعلى أن الوكالات الحكومية هى التى تقوم ، فى معظم الحالات، بتوظيف المشغلين أو تشترك فى عملياتها الخاصة . وان تنوع الجهات المشرفة والمشغلين ، والدوافع والاساليب، وغياب نظام دولى ملزم للابلاغ، يجعل من الصعب تحديد ما يفعلة كل فرد على وجه الدقة (وزارة التجارة بالولايات المتحدة، ١٩٧٨) .

وتتمثل المشكلة السائدة فيما يتعلق بالاكثار العملى للسحب فى أن امكانية التنبؤ بنتائج الاكثار، باستثناء حالات قليلة ، ليست الى الحد الذى يمكن اجراء العمليات بثقة . على أن الكثير من حكومات البلدان النامية كالهند . والصين وتايلند تقوم ببرامجها البحثية والعملية الخاصة . ففى الصين ، يملك البلد نظاما لحشد جماعات باكملها لمراقبة البرد واطلاق صواريخ مليئة بعوامل الاكثار على السحب لمنع تكون البرد ، الى جانب بحوث تعديل الجو القائمة على الاساس علمى والجارى اجراؤها .

(أ) المناطق المدارية الرطبة

تعتبر السحب العديدة التى يمكن ان تسقط امطارا فى البلدان المدارية وشبة المدارية ذات طابع حامل للحرارة ولا تتجاوز طبقاته العليا ذروة مستوى

التجميد . ومن ثم، فان امكانية زيادة سقوط الامطار من السحب الدافئة عن طريق زيادة فعالية عملية التصادم ـ الالتحام، قد اوجدت اهتماما كبيرا فى تلك المناطق .

وقد يكون استحداث قطيرات كبيرة من البطء بحيث يؤخر، فى بعض السحب الدافئة، تحقيق نمو كبير عن طريق التصادم ـ الالتحام حتى يجتاز السحب مرحلتها الناضجة . ويمكن من حيث المبدأ زيادة الامطار من تلك السحب ببذرها بجزئيات ممتصة لرطوبة الهواء أو قطيرات مائية لتعجيل عملية النمو . الا أن لم يجر سوى عدد محدود من التجارب لاختبار فعالية تلك الاساليب . وتتمثل احدى المشاكل فى وجود حاجة الى كتل كبيرة من مواد البذر أو الاكثار . ورغم القيود ، فقد اجريت بعض التجارب المشجعة (وان لم تكن قاطعة) . ولم يجتمع لاى منها المستلزمات التى تكفل زيادة سقوط الامطار بنجاح والتى تستند الى الادلة الفيزيائية والاحصائية (المنظمة العالمية للارصاد الجوية، ١٩٨١) . وفى بعض التجارب (بويرتوريكو، الهند) لم يتسن القيام بمجالات لتقدير النتائج الاحصائية للبذر بجزئيات ممتصة لرطوبة الهواء على اساس المعقولية الفيزيائية وذلك بسبب غياب أو عدم كفاية اية ملاحظات تأكيدية تستند الى طبيعة السحب (غاجان، ١٩٧٨) .

وقد اجريت تجارب مماثلة وبذر عملى للسحب لاكثر من ١٥ سنة فى تايلند تحت رعاية صاحب الجلالة الملك بوميبول آدولياديج . وقد أشير الى احراز درجة عالية من النجاح فى محاولات بذر السحب باستعمال الثلج الجاف، أو المواد الكيميائية أو الاملاح التى يجرى اسقاطها من طائرة زراعية صغيرة . وقد تكون ظروف تايلند الرطبة الساخنة تفضى بوجه عام الى هذا النوع من البذر، وكثيرا ما كان المزارعون يطلبون من الحكومة مساعدتهم خلال فترات الجفاف . الا انه فى حين سجل تحقيق درجة عالية من النجاح فى صنع الامطار . فنادرا ما كانت الامطار تهطل فى المنطقة المستهدفة والتى كانت قد طلبت عملية البذر . وتستمر التجارب فى المعهد الملكى لبحوث وتنمية صنع الامطار بجامعة كاسيتسارت الزراعية حول كيفية التنبؤ على نحو افضل باحوال السحب فى ذلك البلد .

ولم تحدد امكانية تطبيق التجارب الخاصة بالسحب الوحيدة والتى اجريت فى فلوريدا على مناطق اخرى، لكنها تبدو واعدة بالنسبة الى الكثير من المناطق المدارية وشبة المدارية . وتعتبر مصدات الركام المزتى الواسعة النطاق التى لوحظت فى منطقة فلوريدا الجنوبية مألوفة أيضا فى المناطق المدارية ويمكنها، اذا ما تكونت بشكل اصطناعى فوق منطقة واسعة، أن تلعب دورا هاما فى تقليل الاضرار الناجمة عن العواصف بتوفير التدفئة اللازمة لتحويل الاضرابات المدارية الباردة الجوف الى جوف دافئ (سمبسون، ١٩٧٠) .

(ب) المناطق الاكثر جفافا

وفيما يتعلق بالمناطق الاقل رطوبة ، زعمت هيئة الارصاد الجوية الليبية انها أحرزت نجاحا فى عملية بذر للسحب فى نوفمبر/ تشرين الثانى ١٩٨٢ عن طريق "اسقاط الامطار بغزارة" على مناطق واسعة من البلد . وتتضمن تلك العمليات "قصف" السحب الحاملة للامطار ببللورات يوديد الفضة والثلج الجاف ، وقد اصبحت ممارسة منتظمة فى الجماهيرية العربية الليبية حيث ينظر الى المياه على أنها العامل الحاسم فى التنمية طويلة الاجل . ويعتبر هطول الامطار الطبيعى حتى فوق المنطقة الساحلية الجبلية متغيرا الى أبعد حد ، بينما تعتبر نسبة ٩٠ فى المائة من البلد منطقة جافة أو صحراوية فى معظمها (وورلد ووتر ، شباط/ فبراير ، ١٩٨٣) .

وعلاوة على ذلك ، فقد طلب الى المشتغلين برصد الاحوال الجوية فى اسرائيل المساعدة فى جلب الامطار الى منطقة اصابها الجفاف فى بيرو فى أوائل عام ١٩٨٣ . ويرى الباحثون الاسرائيليون بأن أساليبهم سوف تكون مفيدة بوجه خاص للبلدان الواقعة فى منطقة البحر المتوسط والتى توجد فيها أنظمة سحب مماثلة لتلك الموجودة فى اسرائيل (بن شؤول ، ١٩٨٣) .

وسوف يتوقف تمديد النظرية القائمة الى مناطق مناخية اخرى ، ولاسيما المناطق الجافة ، على ملائمة السحب لتلك الاساليب . وتلعب طبيعة انعدام استقرار الغلاف الجوى ومحتوى السحب من الماء السائل دورا رئيسيا فى تحديد ملاءمة هذه الاساليب للسحب فى مناطق اخرى . وفيما يتعلق بكل نظام من أنظمة السحب ، يتعين اتباع أسلوب التحفيز الاصطناعى الذى يناسب على الوجه الاكمل الظروف السائدة . ويتعين ان يتخذ القرار الخاص بتطبيق أسلوب معين فى منطقة ما من المناطق على اساس ادراك واضح لخصائص السحب هناك من اجل تحديد جدواها . وتعتبر الاثار المفيدة ممكنة بالفعل اذا ما طبقت بحكمة مع تفهم واضح لكل العمليات التى تقود الى تكوين الامطار (غاجان ، ١٩٧٨) .

(ج) الاغاثة من الجفاف

تتمثل المشكلة فى انه عندما يصيب الجفاف منطقة ما ، يظهر فى أغلب الاحيان اهتمام كبير ببذر (أو اكثار) السحب كوسيلة لتخفيف آثار الجفاف . وعادة ما تكون مشاريع بذر السحب المتسرعة التى تنتج عن حالات الطوارئ هذه غير مصممة أو غير مشغلة على نحو دقيق ، بل ويستحيل تقييمها .

وينشأ الضغط من اجل التخفيف من حدة الجفاف بصورة مباشرة فى أوقات فيها السحب التى تظهر فى الاحوال الطبيعية المؤدية الى زيادة الامطار ،

عند أدنى حد لها ، وطبيعى ان هذا هو الوقت الاقل فعالية بالنسبة للاكثار . ذلك أن زيادة بنسبة ١٠ فى المائة فى سقوط الامطار التى تقدر نسبتها بـ ٢٥ فى المائة من المعدل العادى هى ٢٫٥ فى المائة . فى حين أن زيادة نسبتها ١٠ فى المائة من سقوط الامطار العادى هى ١٠ فى المائة . ولا يمكن للمرء أن يتوقع ان يكون اكثر فعالية نسبيا فى زيادة الامطار أو الثلوج فى ظروف الجفاف أو فى المناطق البعلية . ولذلك فسوف يكون من الافضل بكثير اعتماد خطة اطول اجلا لادارة المياه تشمل بعض فترات الجفاف (وزارة التجارة بالولايات المتحدة ، ١٩٧٨) . وخلال السنوات العادية أو الاقل من العادية بدرجة طفيفة ، يمكن استعمال بذر السحب لاعادة تغذية المياه الجوفية وملء الخزانات لكى تجتاز المنطقة حالات الجفاف فى المستقبل . ومع ذلك ، لا تملك بلدان كثيرة القدرة على التخطيط للمستقبل فيما يتعلق بالجفاف ، ولن تلجأ الى البذر الا فى سنوات جافة نسبيا . ولن ترغب البلدان الرطبة فى المجازفة بحدوث فيضان وتآكل ولذا فلن تتجه بشكل عام الى تعديل الجو فى السنوات العادية أو كثيرة الامطار .

وقد يكون من الصعب أو من المستحيل تحسين ظروف حالات الجفاف عندما تحدث . وفى معظم حالات الجفاف ، تعتبر السحب الملائمة للبذر نادرة . ومن الواضح أن من الامور الاكثر سهولة اعادة اشباع الطبقات الصخرية الحاملة للمياه أو اعادة ملء الخزانات وزيادة كتل الثلج ، لان وقت سقوط الامطار ليس حاسما ، ومن ثم قد تكون هناك حاجة الى احداث تغييرات فى الممارسات الزراعية ، مع التحول الى التخزين والرى .

ويرى مجتمع العلماء ان معظم التجارب الماضية لتعديل الجو ليست قاطعة . وتعتبر التقييمات المتأنية التى تشمل كلا من المقاييس الطبيعية الشاملة للسحب وسقوط الامطار والتحليل الاحصائى للمقاييس ، الزامية فى الوقت الحاضر للوصول الى احكام سليمة . وفى هذا الوقت يتعين اعتبار تعديل الجو بأسلوب غير تبديد الضباب المفرط البرودة ، ضمن مجالات البحث . وفى حين أن مشاريع البذر العملية قد تكون ناجحة على اساس صغير النطاق ، فانها نادرا ما تجرى باسلوب يسمح بالتقييم العلمى .

بيد أنه من المأمول فيه أن يسفر الجهد الدولى المبذول فى مشروع زيادة الامطار التابع للمنظمة العالمية للارصاد الجوية عن تقديم بعض الاجابات التى قد تكون مفيدة بالنسبة الى جهود تكوين الامطار فى البلدان النامية فى المستقبل . وفى الموقع الموجود فى أسبانيا ، تجرى اقامة شبكة كثيفة من مقاييس المطر ، معظمها من النوع المسجل ، لقياس نجاح البذر (أو الاكثار) على اساس سقوط الامطار على الارض . ويستهدف برنامج القياس لتوفير الفهم الاساسى لتقدير احتمالات امكانية نقل النتائج الى مناطق اخرى ذات احوال جوية مماثلة .

وتتميز امكانية نقل نتائج مشروع زيادة الامطار الى اجزاء اخرى من الارض بأهمية بالغة لانها من الممكن أن تؤثر بدرجة كبيرة على تصميم العمليات في الاماكن الاخرى . على أنه لا يمكن نقل الاجراءات والاستنتاجات الا عن طريق نماذج تصورية مأخوذة عن مقاييس واسعة في مناطق الاهتمام وكذلك في الموقع التجريبي لمشروع زيادة الامطار .

٥ - اعتبارات اقتصادية

يجرى تعديل الجو، بما في ذلك المشاريع التجريبية أو العملية لزيادة الامطار، بغية تحقيق مزايا اقتصادية بالدرجة الاولى . ولذا فان الدليل المسبق على ميزة كهذه ينبغي ان يكون مقنعا قدر الامكان اذا أريد للمصالح المتباينة ان توافق على بدء النشاط .

وينبغي لتصميم المشروع أن يشمل اتخاذ تدابير للقياس، ولتقييم العوامل الاقتصادية المعقدة فيما بعد لتحديد ماإذا كان المشروع مفيدا بالفعل . وقد تضمنت التجارب القليلة التي اجريت حتى الان لزيادة الامطار تقييما اقتصاديا دقيقا ، كما ان الاقتصاديات التفصيلية لم تدرج رسميا في التصميمات .

وكما هو الحال في بعض الاحيان في الدراسات الاقتصادية للفوائد والتكاليف، تتوافر معلومات عن التكاليف اكثر مما يتوافر عن الفوائد . وعندما يختار الموقع وتحدد آلية وتواتر عملية البذر، سوف يكون من الممكن تقدير تكاليف البذر المباشرة لموسم أو لسنة . وربما بلغت تلك التكاليف نحو ١ دولار للهكتار في كل موسم في أواخر السبعينات .

والشئ الاكثر صعوبة بكثير هو تقييم الفوائد والخسائر . والمشاريع الاقتصادية الرئيسية التي قد تحظى بآثار نافعة من زيادة الامطار هي الزراعة، والطاقة المائية وامدادات المياه . واما الانشطة التي قد تعاني من الاثار السلبية فهي الانشاءات والترفية (اكرمان، ١٩٧٨) .

وتتمثل واحدة من الصعوبات الرئيسية في قياس الفوائد الناجمة عن زيادة الامطار في حالة امكانية تحديد كمية المياه الاضافية المتاحة، في كيفية توزيع الفوائد بين مختلف القطاعات . ذلك ان جزءا من المياه سوف يفيد الزراعة بينما يفيد جزء آخر الطاقة الكهرمائية، واعادة تغذية المياه الجوفية وتوفير المياه . ومن المؤكد ان الكمية الكلية من الامطار الاضافية لن تستخدم استخداما مفيدا، حيث انه من المقدر أن يفقد بعضها بفعل التسرب .

(أ) الزراعة

تعتبر الزراعة، التى قد تفقد حوالى ١٥ فى المائة من اجمالى ايراداتها الممكنة من كل الخسائر المتصلة بالجو، المرشح الاول، بوجه عام، للحصول على الفائدة الممكنة بقدر اتصال تلك الخسائر بنقص الرطوبة أو بالجفاف. وسوف تستجيب معظم المحاصيل استجابة ايجابية لزيادة الامطار فى معظم السنوات. وعلاوة على ذلك، ففى مناطق العالم القاحلة أو شبة القاحلة المترامية، قد تتيح الامطار الاضافية الفرصة لتحويل المناطق الجافة الى مناطق خصبة. كما ان الامطار الاضافية قد تعود بالفائدة على المناطق منخفضة الانتاجية نسبيا والحدائق والمروج فى المناطق الحضرية.

وقد تكون الفوائد غير المباشرة واسعة الانتشار استنادا الى نطاق الزراعة، وقد يتباين من صفر تقريبا الى نحو ١٠٠ فى المائة من الفوائد المباشرة فى بعض المناطق. وقد تكون الفوائد الاقتصادية للاستثمارات والصناعات التى تخدم الزراعة لافتة للانظار كما هو الحال فيما تحدثه من أثر على الاقتصاد العام للمنطقة (اكرمان، ١٩٧٨).

وتشمل الخسائر والاضرار الممكنة لزيادة الامطار قدرا اكبر من التآكل والترسيب فى اتجاه مجارى الانهار. وذلك التآكل انما هو دالة على وقت سقوط الامطار المضافة (الموسم) وكثافتها ومدتها. وقد تحدث خسائر اضافية على شكل تناقص فى كمية الامطار التى تسقط فى اتجاه الريح. كما أنه اذا لم يكن تعديل الجو تحت رقابة شديدة، فقد يؤدى الى فيضان ناجم عن الهطول المتزايد، أو الى اضرار بردية ناجمة عن تكثيف كبير لنظام الجو.

وفى اسرائيل، حددت الفوائد التى تعود على الزراعة بأنها تشمل المكونات التالية: زيادة الناتج الزراعى، تخفيض تكاليف الضخ والنقل نتيجة لتخفيض متطلبات الرى و "قيمة مخزونة" من المياه التى لم تضخ والباقية فى الخزانات. ولن يكون للانخفاض فى استغلال الخزانات اثر ايجابى الا اذا لم تكن الخزانات مملوءة تماما وبالتالى لم تفقد الامطار من خلال التدفق الزائد. وعندما يكون هناك نقص فى المياه، يساهم المطر فى زيادة الانتاج الزراعى فى الارض غير المروية ووفورات فى رى الارض المروية.

واثر تحليل احصائى، وجد أنه من بين اجمالى المساحة المنزرعة فى اسرائيل والتى تبلغ ٣٧٠٠٠٠ هكتار، تأثر حوالى ١٩٠٠٠٠ هكتار ببذر السحب. وتتألف الـ ١٨٠٠٠٠ هكتار الباقية، فى جانب منها، من مناطق سيطرة ومناطق عازلة، وفى جانب منها من أراضى اخرى غير متأثرة. وعلى ضوء أثر بذر السحب المقدر بزيادة نسبتها ١٥ فى المائة من الامطار الاجمالية (بنسبة

هامة قدرها ٢ر١ فى المائة) وتكلفة البذر المقدرة ب . . . . ٦٠٠ دولار سنويا (١٩٨١) ، كانت نتائج التحليل كما يلى :

(أ) فيما يتعلق بسنة كان سقوط الامطار خلالها متوسط ، يبلغ المطر الاضافى الناتج عن بذر السحب ما يعادل ٣٩ مليون م^3 فى السنة .

(ب) على فرض وجود نقص فى المياه مساو لهذا القدر أو اكبر منه . فان الزيادة المقدرة فى الناتج القومى الاجمالى والتى ترجع الى زيادة الامطار التى تستخدم منها المحاصيل مباشرة ، تساوى ٥ر١١ مليون دولار سنويا . ولذلك تصل الفائدة الصافية لانشطة البذر بالنسبة الى فائدتها المباشرة للمحاصيل الى حوالى ٩ر١٠ مليون دولار سنويا . ولا يشمل ذلك مساهمة الخزانات بعد تغذيتها .

وهكذا استنتج الاسرائيليون أن زيادة الامطار لها ما يبررها تماما ولو على أساس الفائدة المستمدة فقط من اثر السقوط المباشر للامطار على الارض المنزرعة ، حتى دون مراعاة تغذية الخزانات (كلونر ، ١٩٨١) .

(ب) القطاعات الاقتصادية المتأثرة الاخرى

قد تكون امدادات المياه المستفيد الرئيسى من زيادة الامطار . خاصة فى السنوات دون العادية . ولامدادات المياه قيمة ثابتة تستند الى الموارد القائمة ، ولذلك فانه اذا امكن قياس الامطار المضافة المرتبطة ببذر السحب ، يمكن تحديد القيمة المباشرة بسهولة .

وتعتبر زيادة كتل الثلج عاملا اقتصاديا رئيسيا فى الولايات المتحدة ، وسويسرا ، وجمهورية المانيا الاتحادية ومناطق أخرى . وقد تعتمد الاستثمارات التى تقدم خدمات استجمام فى فصل الشتاء على سقوط الجليد بصورة كافية . وعلاوة على ذلك ، انه فى حين تخزن المياه فى الجليد المتساقط على الجبال خلال الشتاء ، يستعمل الجليد عند ذوبانه فى مجارى الانهار لتوفير امدادات المياه بما فى ذلك الرى . كما أن زيادة هطول الامطار يوفر فوائد لصناعة الطاقة الكهرمائية ، يمكن ان تقاس من زاوية زيادة توليد الكهرباء . وسوف تشمل الفوائد غير المباشرة تحسنا فى نوعية المياه والحياة المائية نتيجة لزيادة عمليات تخفيف المياه .

ومن بين الصناعات التى قد تتأثر تأثرا سلبيا بزيادة الامطار ، صناعة البناء والانشطة الاخرى التى تجرى فى العراء مثل قطع الاشجار ونشر أخشابها والتعدين . كما يتعين أن تؤخذ فى الاعتبار الخسائر الاقتصادية الناتجة عن تآكل التربة ، وزيادة الترسيب فى مجارى الانهار والخزانات والاضرار الناجمة عن السيول .

ولتحديد الفوائد بالنسبة لامدادات المياه يكون من المفيد تقييم أثر بذر السحب على المحددات الهيدرولوجية كهطول الامطار، أو المياه الجوفية أو رطوبة التربة . والواقع ان كثيرا من تجارب بذر (أو اكثار) السحب لم يصمم تصميما فعالا حتى لوضع تقييم مقنع احصائيا للاثر المترتب على زيادة الامطار.

وقد استحدثت بعض النماذج لتحفيز الاستجابة الهيدرولوجية لزيادة الامطار . ويستند نموذج ستانفورد لمستجمع الامطار على معدل هطول المطر في الساعة والمعدل اليومي للرشح التبخيري الممكن والخصائص الفيزيائية لمستجمع الامطار . وقد درج هذا النموذج في مقابل سجلات التدفق الفعلي ، ثم زيدت حالات سقوط الامطار بصورة موجودة بنسبة ١٠ في المائة . وقد نفذ هذا بالنسبة لمجريين مائيين في الولايات المتحدة ومجرى مائي واحد في استراليا . وخلال ١٥ من عمليات التحفيز هذه التي استغرقت خمس سنوات والتي طبقت على مجاري الانهار الثلاثة ، أمكن زيادة سقوط الامطار من ١٦ الى ٥٧ في المائة بفضل زيادة موحدة بنسبة ١٠ في المائة في سقوط الامطار. ويبدو أن جزءا اكبر من سقوط الامطار العادي تستعمل لتلبية مطالب الرشح التبخيري ولتغذية رطوبة التربة . في حين أن نسبة مئوية اكبر بكثير من الامطار التي تمت زيادتها تصبح ماء جاريا فوق سطح الارض . وقد يتوقف الحصول على تلك الامطار الزائدة على وجود خزانات لتخزين الماء الجاري المضاف . ومن المهم تجنب انتاج رطوبة كثيرة جدا اذا كان مستجمع المياه مشبعا بالفعل . وفي حين ان أهم وقت لبذر السحب سوف يكون خلال فترة الجفاف، فان ذلك هو على وجه التحديد الوقت الذي تكون فيه ظروف رطوبة الغلاف الجوي والسحب اقل ملاءمة لنجاح بذر السحب (اكرمان ، ١٩٧٨) .

وقد استحدثت، في اسرائيل ، تحليلات ونماذج لتقدير حجم المياه الزائدة المتدفقة الى بحيرة الجليل . وقد اشارت الاختلافات في المحصلات النهائية لمتوسط هطول الامطار السنوي ببذر ودون بذر السحب الى زيادة حجمها ٤٣ ميلليمتر سنويا في المتوسط في ظل البذر وزيادة اضافية ممكنة حجمها ٣٥ ميلليمتر سنويا اذا ما طبق البذر على كل الايام . وقد بينت هذه التطبيقات السنوية الرامية الى سقوط الامطار وفقا لنموذج التنبؤ بصافي التدفق الى بحيرة الجليل ، زيادة متوسطها ١٠٣ مليون متر مكعب في السنة وزيادة ممكنة اضافية حجمها ٨٣ مليون متر مكعب في السنة (بن زفاي وآخرون ، ١٩٨١) . على أن اسرائيل ، كما سبقت الاشارة ، تتمتع بنظام سحب موحد يستجيب تماما لعملية البذر.

(ج) الفوائد والتكاليف

يبد وأنه لم يبذل سوى القليل من الجهد بغية التوصل الى تقدير وتقييم الفوائد الاقتصادية والاثار الاجتماعية . ففيما عدا بعض الاستثناءات ركزت الدراسات الخاصة باقتصاديات تعديل الجو على تجارب فردية اجريت دون أية اعتمادات تقريبا . وبالاضافة الى ذلك ، كانت هذه الدراسات متعلقة بشكل رئيسى بمنع تكون البرد وتقوم على اساس تخفيض الاضرار .

كما سلفت الاشارة ، أجريت بعض تحليلات فى مختلف البلدان تتصل بالفوائد الزراعية التى يمكن أن تنجم عن زيادة الامطار . ومن الصعب تحديد قيمة تعديل الجو فيما يتعلق بالزراعة أو اى قطاع اقتصادى آخر من الناحية الاقتصادية وذلك لسببين : ان قدرات تعديل الجو ليست معروفة على وجه الدقة وأن الدراسات الاجتماعية ـ الاقتصادية لم تستكمل . الا انه من الممكن تقدير القيم والفوائد والتكاليف العامة التى يبد وأنها تدل على جاذبية العائدات الاقتصادية الممكنة .

وبسبب الاهتمام واسع الانتشار بمعدلات الفائدة ـ التكلفة ، يرد ادناه استعراض موجز لبعض التحليلات . ويمثل المدى المعروض اختلافات ناتجة عن افتراضات متباينة فيما يتعلق بقدرات التعديل والقيم الاقتصادية المختلفة . وعلاوة على ذلك ، لم تكن الطرق المستخدمة لحساب هذه القدرات والقيم موحدة .

ففى الولايات المتحدة تباينت المعدلات من ١ : ١ الى ١٥ : ١ ؛ فيما يتعلق بالتناقص المتزامن فى البرد والزيادة فى هطول الامطار ، وتباينت من ١ : ١ الى ٣ : ١ ؛ فيما يتعلق بكتل الثلج المضافة فى حوض كولورلد و ، ومن ١ر٨ : ١ الى ٦ : ١ ، فيما يتعلق بكتل الثلج المضافة فى السيبرا .

وفى ظل مشروع سيبرا التعاونى التجريبى ، تقدر زيادات المياه الممكنة فى جبال سيبرا نيفادا من بذر السحب بنسبة ١٥ الى ١٦ فى المائة . وسوف يؤدى هذا الى زيادة التدفق الموسمى بنسبة تزيد على ١٠ فى المائة فى حوض النهر الامريكى وحوالى ٢٠ فى المائة فى حوض تراكى ـ تاهوى .

ففى حوض النهر الامريكى ، قدر أن زيادة نسبتها ١٠ فى المائة فيما يسقط من امطار سوف توفر اكثر من ١٢٠ مليون متر مكعب من المياه الاضافية الى وادى كاليفورنيا الاوسط (وورلد ووتر ، شباط/فبراير ١٩٨٣) . ويمكن بذلك زيادة امدادات المياه الجوفية المحلية وتغذية من ١٦٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ هكتار من المحاصيل المروية ، واذا ما استعملت المياه الاضافية الاجمالية للهيدروكهرباء فانه يمكن توليد ٣٠ مليون كيلوواط ساعة اضافية من الطاقة الكهربائية . وعلاوة على ذلك ، سوف تساهم الامطار الزائدة فى تخفيض الملوحة فى المصبات الحساسة

فى منطقة خليج سان فرانسيسكو . وقد قدر أن معدل الفائدة ـ التكلفة يمكن ان يرتفع الى ٢٣ : ١ ، تبعا لكيفية استعمال المياه .

وقد أجرى تحليل اقتصادى لنتائج تجارب ڤيكتوريا الغربية (استراليا) فى أواخر السبعينات من جانب علماء منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية . وقد درست الجوانب الاقتصادية للتجربة بتحديد العلاقة بين محصول القمح فى المنطقة وسقوط الامطار فى الموسم الزراعى . وقد تحقق هذا عن طريق جعل محصول القمح فى منطقة ويميرا يتراجع فى مقابل متغيرات مختلفة فى معدل سقوط الامطار خلال الفترة من ١٩١٤ الى ١٩٦٧ . وقد تبين أن اجمالى سقوط الامطار من آب/أغسطس الى تشرين الثانى / نوفمبر هو أفضل مؤشرات التنبؤ بمحصول القمح وأنه يمكن استخدامه بالاضافة الى التغير الزمانى (للسماح بتحسينات فى الانواع والتكنولوجيا) ، لتوضيح ٦٣ فى المائة من التباين .

وباستخدام هذا الاسلوب، أمكن تقدير الفوائد النقدية التى سوف تتحقق عن طريق زيادة محاصيل القمح نتيجة للبذر . ففى سنة عادية ، مثلا ، تبين أن زيادة موسمية نسبتها ١٠ فى المائة فى سقوط الامطار سوف تنتج حوالى ١ ٠٠٠ ٠٠٠ دولار (باسعار عام ١٩٧٨) من الفوائد أو حوالى خمسة اضعاف تكلفة تجريب عملية البذر . ونظرا لان الفوائد الناجمة عن عملية ما ، وليس عن تجربة ، سوف تكون أعلى من هذا ، فقد اعتبرت تلك الارقام مؤاتية تماما .

وخلال موسمى ١٩٧٩ و ١٩٨٠ ، عندما اجريت تجارب ميدانية ، حدد عدد ضئيل من الايام لعملية البذر . وكان الموسمان قريبين من المواسم العادية ، بحيث انه لا يمكن تفسير العدد المنخفض على اساس أن الموسم غير عادى . وقد أصبح واضحا من بيانات ١٩٧٩ و ١٩٨٠ الميدانية أن عدد فرص البذر ، استنادا الى بيانات من السنتين الاوليين ، كان اقل من ٥ر١ للموسم الواحد .

واذا كان عدد الفرص الفعلية للبذر فرصة واحدة فقط للسنة ، فان الفائدة الاقتصادية للتجربة سوف تنخفض الى نفس المستوى الذى كانت عليه التكاليف بأرقام عام ١٩٧٨ . الا انه من عام ١٩٧٨ حتى نهاية عام ١٩٨٢ كانت تكاليف الطائرات قد ارتفعت بنسبة ٢٥ فى المائة فى السنة ، بينما كانت عائدات القمح بالنسبة للمزارعين قد زادت بنسبة ٥ فى المائة فقط فى السنة . وحتى اذا كانت التجربة قد اجريت كما كان مخططا لها فى الاصل بمتوسط خمس فرص للبذر فى السنة ، فان معدل التكلفة ـ الفائدة سوف يتآكل بدرجة حادة بحلول تاريخ الاستكمال وهو عام ١٩٨٣ .

وفى مناطق اخرى من استراليا ، وجد أيضا ان فرص البذر محدودة للغاية ذلك ان السهول الداخلية فى ڤيكتوريا ، ونيوساوث ويلز واستراليا الجنوبية ليست مقيدة

بانتاج الحبوب دون غيرها كما هو الحال في ڤيكتوريا الغربية ، بيد أن اسعار لحم البقر والصوف قد سارت في اتجاهات مماثلة لاتجاهات اسعار القمح .

وهكذا ظهر ان استعمال بذر السحب كاداة للموارد المائية في المنحدرات والسهول الداخلية لاستراليا الجنوبية - الشرقية ليس اقتراحا ممكنا بالنظر الى غياب فرص البذر واستمرار الظروف الاقتصادية المعاكسة . وفي حين انه قد تم استكشاف احتمالات اخرى للبذر ، فقد تقرر أن ايا منها لم يظهر فرصا وفوائد محتملة كافية لمواصلة التجربة . ولذا فقد تقرر في عام ١٩٨١ انه لا يوجد مبرر كبير لاستمرار تجارب البذر التي تقوم بها منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية فيما يتعلق بالسنوات القليلة القادمة على الاقل (كنغ، ١٩٨٢) .

(د) مجالات الفائدة الممكنة

قام هوف في أوائل السبعينات بدراسة مركبة شاملة نسبيا على ١٤ حوضا للانهار في وسط غربي الولايات المتحدة توجد لها سجلات متصلة على مدى ٣٠ سنة على الاقل . وبعد استحداث دراسات مماثلة تشمل السجل بأكمله ، استنتج أن زيادة الامطار سوف تقتصر على الارجح على تلك الفترات التي تكون حالات سقوط الامطار فيها بين العادية ودون العادية الى حد ما . وعند مراعاة القيود التنفيذية ، نجد أن افضل المعلومات المتاحة تشير الى انه لا يمكن استعمال اكثر من ٥٠ في المائة من الامطار الممكنة التي يحفزها البذر ، في المتوسط ، في الفترات شبة العادية في وسط غربي الولايات المتحدة . وفي الفترات دون العادية خلال موسم البرد قد ينخفض هذا القيد الى حوالي ١٠ الى ٢٠ في المائة .

وقد افترض هوف وتشاغنون (١٩٧٢) أن اكبر الفوائد الممكنة من بذر السحب في الاراضي المسطحة قد تكون لاشباع حالات نقص رطوبة التربة وبذلك تفيد الزراعة . وقد استنتجا انه فيما يتعلق بظروف وسط غربي الولايات المتحدة سوف يكون بذر السحب خلال الاشهر الدافئة مفيدا من الناحية الاقتصادية في ٩ من كل ١٠ سنوات - وبسبب تحسين استجابة المحاصيل والغلات ، وبسبب التكلفة المنخفضة لبذر السحب ، يمكن توقع معدلات فائدة - تكلفة تتراوح بين ١٠ : ١ و ٢٠ : ١ .

وبغض النظر عن المقاييس الهيدرولوجية ، تشمل سائر طرق تقييم أثر زيادة الامطار ، خاصة في قطاع الزراعة ، مقاييس اقتصادية مثل ارقام وحدة انتاج المحاصيل المستهدفة ، ومناطق التحكم والمناطق البعيدة عن الموقع والايرادات المحققة .

وتعتبر تكاليف التشغيل الخاصة ببذر السحب منخفضة نسبيا ، ولا تعتبر المعدات الرأسمالية مكلفة أو متخصصة بشكل مفرط بالنسبة لاستعمال واحد أو لمنطقة واحدة . وبوصف تعديل الجو تدبيرا مرنا قصيرا الاجل لتلبية بعض احتياجاتنا من المياه ، فانه يمكن أن يصبح أداة مفيدة للغاية فى زيادة امدادات المياه (وزارة التجارة بالولايات المتحدة ، ١٩٧٨) .

جيم - منع التبخر

١ - خلفية تاريخية

اجريت بحوث بشأن الوسائل البديلة لمنع التبخر من الخزانات السطحية الكبيرة ، خاصة فى المناطق القاحلة ، وذلك لصون الامدادات المائية الموجودة وقد نظر منذ بداية هذا القرن فى طرق واساليب مختلفة تهدف الى تخفيض التبخر. وقد ورد الحديث لاول مرة فى عام ١٩٤١ عن نشر الزيوت لتشكيل طبقة متعددة الجزئيات لتخفيض التبخر . وقد بدأت البحوث المستفيضة بشأن الموضوع فى الخمسينات وأستمرت خلال الستينات .

وتندرج مختلف طرق منع التبخر فى مجموعتين رئيسيتين :

(أ) تشكيل طبقة أحادية الجزئيات على سطح المياه ، تقلل التبخر بتشكيل حاجز طبيعى امام تدفق البخار من سطح المياه الى الهواء ؛

(ب) تغطية المياه بمواد عازلة تعكس أو ترشح بعض الاشعاع الواصل الى المياه ، وبهذا الشكل يتم تشكيل حاجز طاقة يقلل التبخر .

٢ - اعتبارات تقنية

(أ) الطبقات أحادية الجزيئات

كان هناك تفاؤل عام خلال أواخر الخمسينات فيما يتعلق بامكانية استعمال طبقة كيميائية رقيقة أحادية الجزئيات فوق سطح المياه لمنع التبخر . وكانت المواد الكيميائية الرئيسية المستعملة فى التجارب التى اجريت فى الولايات المتحدة هى الهيكسادیكانول ، والاوكتادیكانول والايثانول . وقد نشرت هذه المواد الكيميائية على سطح الخزان وبدت كسطح زيتى أملس . وقد بينت الاختيارات المعملية أن بالامكان تخفيض التبخر بنسبة تصل الى حوالى ٩٠ فى المائة . الا انه بغية الحصول على نتائج جيدة من استعمال تلك المواد ، يتعين صيانة الطبقة أحادية الجزئيات فى ظل ظروف الرياح والامواج خارج المعمل .

وقد استعملت أساليب نشر مختلفة للمواد أحادية الجزئيات، كخطوط الانابيب ذات مرشات متنقلة أو ثابتة على طول الشاطئ ، والزوارق والطائرات. ويمكن ان تنشر المادة على شكل بللورى أو على شكل مسحوق ، فى مزيج كحولى معلق أو مستحلب كحولى أو كحوليات ذائبة . ويعتبر النشر من الهواء مناسبا بوجه خاص للمناطق الواسعة ، حيث يمكن الاستفادة من سرعة الرياح .

وقد اجريت تجربتان كبيرتان لنشر طبقات الكحول فى ١٩٦٥ - ١٩٦٦ فى بحيرة هفنر بأوكلاهوما وفى ١٩٦٩ - ١٩٧٠ فى خزان كيشون باسرائيل . وقد اجريت التجربة فى بحيرة هفنر فوق منطقة مساحتها ١٠ كم٢ . وقد اجرى الرش بمرشات مثبتة فى البحيرة ، على مسافة غير بعيدة من الشاطئ . وأسفرت التجربة عن متوسط نسبته حوالى ٢٠ فى المائة فقط من تغطية سطح البحيرة بطبقة احادية الجزئيات ، وفى التجربة الثانية ، فى خزان كيشون ، تم نشر المزيج الكحولى المعلق عن طريق مرشات طافية ، مما سمح بقدر أصغر من التفريغ ورش أرق من كل مرشة مما أسفر عن تغطية للمنطقة المستهدفة بنسبة ٨٠ فى المائة فى المتوسط (حوالى ٦٤ فى المائة من البحيرة كلها) . وقد لوحظت علاقات عكسية بين تغطية المنطقة وسرعة الرياح وبين سرعة الرياح وكمية الكحول المطلوبة لكل متر متصل .

وفى تجربة خزان كيشون لوحظ انخفاض نسبته ٢٢ فى المائة فى التبخر عند بداية الموسم . وقد هبطت هذه النسبة وأستقرت عند حوالى ١٠ فى المائة خلال الموسم . وقد نتج التناقص المسجل فى انخفاض التبخر عن اسباب عرضية وغير مرتبطة بطبيعة التجربة . الا أن من الواضح أن تراكم السخونة فى المياه يقلل بدرجة كبيرة من الكفاءة الفعلية للطريقة المستخدمة .

وفى المجال الميدانى وجد أنه عند اختبار المادة أحادية الجزيئات، تؤدى الرياح والامواج الى ضغطها وتراكمها على الشاطئ فى صورة شرائط . وفى الولايات المتحدة ، لم يخفض التبخر الا بنسبة ٨ الى ١٠ فى المائة بتكلفة احدى العمليات التى تستعمل فيها مواد مكلفة للغاية . الا انه قد تحققت بعض النتائج الاكثر ايجابية بدرجة طفيفة فى استراليا ، حيث اجريت الدراسات الميدانية فى مناطق تهب عليها رياح منخفضة .

ويبدو أن هناك مشاكل فى استعمال اى من تلك المواد والمحافظة عليها ففى الولايات المتحدة ، تحققت نتائج سلبية عند استعمال البارافين فى بعض التجارب . وقد أذيب البارافين بنسبة ٣٠ درجة مئوية لكى يصبح سائلا ورش عبر خرطوم صغير لنشرة فوق الخزان . وعندما اصبح جامدا مرة أخرى ، كان اشبه بمادة زبدية رقيقة بدأت فى خلق مشاكل بالنسبة لجودة المياه . وقد تراكم البارافين على الشاطئ حيث تغذت البكتيريا عليه . وقد خيف من أن تلوث البكتيريا امدادات المياه المحلية .

(ب) المواد العاكسة للاشعاع

يتميز استعمال المواد العاكسة للاشعاع بميزة تقليل الكمية الصافية من الطاقة الواصلة الى الجسم المائى . وان كان قد لوحظ فى الصباح تزايد نسبى فى درجة حرارة المياه عند استعمال المواد العازلة العاكسة للاشعاع.

وفى التجارب الاولى التى استخدمت فيها الاجسام الكروية الدقيقة ، الطافية ، وجد أن المواد المستعملة قد زادت التبخر بالفعل وذلك بسبب دورانها ، وتؤدى الرياح والامواج الى دفع الجزئيات وتراكمها . وقد أظهرت تجارب اخرى أن مقاومة الجزئيات الطافية للانتشار تتوقف على حجمها وشكلها وقد وجد فى ايطاليا ان زيادة قطر الجزئيات يقلل من معدل التبخر، ووجد فى شيلى أن أجسام البوليستيرين الكروية المتمددة تقلل التبخر بنسبة ٤٠ فى المائة . كما وجد أن انواعا عديدة من الاطواف اللدائنية الطافية يمكن أن تكون فعالة للغاية فى السيطرة على الخسائر التى يسببها التبخر . وقد اظهرت تجارب تستخدم المواد الجامدة والحبيبية الطافية (مثل خام البرليت) ان هذه المواد يمكن ان توفر وسائل عملية لتقليل التبخر من طبقات المياه السطحية المكشوفة . وفى احدى التجارب تم تحقيق تخفيض بنسبة ٣٥ فى المائة من معدل التبخر عن طريق تغطية نسبة تصل الى حوالى ٥٠ فى المائة من سطح المياه بطبقات من الستليروفوم .

وقد اختبرت تجارب اخرى اجريت فى الولايات المتحدة كريات صغيرة من الستليروفوم على شكل نجوم ، وكتلا طافية من الستليروفوم والاسمنت خفيف الوزن لتقليل التبخر . على أن الرياح والامواج هزمت كل هذه المواد .

وتتمثل مشكلة رئيسية اخرى فى مجال استعمال الطبقات العاكسة للاشعاع لتقليل التبخر فى انها تعرقل نفاذ الاوكسجين الى الجسم المائى . وقد لوحظ هذا فى دراسات سابقة . وهناك حاجة الى بحوث اضافية . وبسبب مشاكل الاستقرار، لاتعتبر هذه الطريقة قابلة للاستعمال بعد بالنسبة للخزانات متوسطة وكبيرة الحجم . ولن يكون الاستعمال الواسع لهذا الاسلوب ممكنا الا بعد أن يتيح انجاز تقنى هام امكانية نشر الجزئيات فى الخزانات لتكوين غطاء متصل يتمتع بالاستقرار فى ظل الظروف المختلفة للرياح والامواج .

٣ - جوانب التقدم التكنولوجي الأخيرة

اثر التجارب التى اجريت بمختلف المواد احادية الجزئيات والمواد العاكسة للاشعاع فى الستينات والسبعينات، تم استنتاج أنه لايمكن لاى من المواد المختبرة

أن يصمد لاثار الرياح والامواج وأن يقال التبخر . وهكذا أرجئت معظم برامج البحث الى ان يتم اقتراح طريقة جديدة لمنع التبخر .

٤ - التطبيق في البلدان النامية

من غير المرجح أن تستعمل تكنولوجيا منع التبخر بواسطة أى بلد نام قبل اختبارها واثبات صلاحيتها بشكل شامل فى البلدان المتقدمة النمو . وكما هو الحال مع معظم التكنولوجيات الاخرى التى نوقشت فى هذا المجلد ، فان البلدان التى يمكن أن تستفيد من منع التبخر سوف تكون هى المناطق القاحلة الغنية نسبيا فى الشرق الاوسط ، والكاريبى والمناطق الجزرية الاخرى التى تستخدم الخزانات لتوفير امداداتها من المياه .

٥ - اعتبارات اقتصادية

من الضرورى ، فيما يتعلق بكافة طرق منع التبخر ، استعمال المواد يوميا ، حتى عندما لاتكون الرياح قوية جدا . ويتعين تجديدها حتى فى ظل ظروف مثالية ، لان البكتيريا تستهلكها ، كما أنها تتأثر بالحركة .

وعلاوة على ذلك ، فقد ارتفعت تلكفة المنتجات التى تقوم على اساس البترول أربعة أو خمسة اضعاف منذ أوائل السبعينات حتى أوائل الثمانينات ، مما يجعلها تكنولوجيا مكلفة للغاية . ولم يكن بوسع الباحثين فى مكتب بحوث وتكنولوجيا المياه التابع لوزارة الداخلية بالولايات المتحدة الذى تم الغاؤه ، ان يقنعوا انفسهم بأن أى من هذه الطرق سيصبح عمليا من الناحية الاقتصادية ولذلك لم ينظروا فيها على نحو ايجابى .

وفى المرحلة الحالية ، لابد وأن احدا يستعمل طرق منع التبخر ، لان ايا من التكنولوجيات لم يصل الى مرحلة التطبيق العملى . ومن المؤكد أنه سوف يكون من الضرورى اجراء بحوث تقنية اضافية للتوصل الى اسلوب يمكن تنفيذة من وجهة النظر الهندسية والاقتصادية .

خامسا - استنتاجات

ألف - عام

باستثناء تعديل الجو، كان المقصود أساسا من الطرق الاخرى غير التقليدية لزيادة امدادات المياه والتى نوقشت فى هذا المجلد هو مساعدة البلدان التى تواجة مشاكل تتعلق بالموارد المائية فى مناطق جغرافية صغيرة محددة . وعادة ما تصمم وتوضع أساليب ازالة الملوحة، واعادة استعمال المياه وغيرها لتوفير المياه لمدينة كبيرة، أو مدينة صغيرة أو منطقة محدودة أخرى، وان كان يمكن توزيع المياه، بتكلفة، على منطقة كبيرة نسبيا، وذلك عن طريق تكرار المنشآت أو مد خطوط الانابيب .

وتعد العربية السعودية مثالا لبلد يعتمد اعتمادا شديدا على أساليب موارد المياه غير التقليدية . وقد استخدمت أسلوب ازالة الملوحة لتحويل امداداتها الضخمة من المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر الى مياه صالحة للشرب وللاستعمال المنزلى . وقد استعملت ازالة الملوحة لامداد المواقع الافرادية والمناطق الكبيرة بالمياه . وفى الحالة الاخيرة، بنيت مجمعات ضخمة لازالة الملوحة على طول الساحل البحرى غير المتطور ويجرى نقل المياه المنتجة الخالية من الملوحة لمسافات طويلة الى المدن الكبرى عن طريق خطوط الانابيب. ويستعمل مرفق الجبيل لازالة الملوحة الواقع على الخليج العربى والذى ينتج ٩٥٠٠٠٠٠ م^3 (٢٥٠ مليون غالون فى اليوم) لانتاج المياه التى تضخ عبر الانابيب لمسافة ٤٨٥ كم (٣٠٠ ميل) فى الداخل الى مدينة الرياض.

وعلى نحو ما اظهرت المناقشة التى دارت خلال صفحات هذا المجلد، فان تقنيات موارد المياه غير التقليدية تتميز عموما بمزيد من التعقيد . وبتكاليف اعلى بوجه عام واحتمالات فشل اكبر مما هو الحال بالنسبة للتقنيات التقليدية . وحيثما أمكن، ينبغى استخدام التقنيات التقليدية لتحسين أو لزيادة الموارد أو الامدادات القائمة . ولهذا السبب، ينبغى توخى الحذر اذا ما أوحى التخطيط بالتخلى تماما عن الطرق القائمة لتوفير المياه والاعتماد بصورة كاملة على تقنيات غير تقليدية، ما لم تشر دراسة متأنية للغاية الى ان هذا فى مصلحة منطقة معينة على المدى البعيد .

وهذه حالات يكون فيها استخدام احدى تقنيات موارد المياه غير التقليدية، مثل ازالة الملوحة، ملائما للغاية . ويمكن استعمال وحدات ازالة الملوحة بصورة فعالة لتوفير المياه الصالحة للشرب وللاستعمال المنزلى للمجتمعات الساحلية الصغيرة المعزولة فى المناطق القاحلة بدلا من خطوط انابيب طويلة من المناطق التى توجد فيها موارد تقليدية من المياه (من الابار والامطار) . .

ويمكن للناقلات أن تكون حلا ممتازا سريع الاستجابة لمواجهة حالات الطوارئ الناجمة عن ظروف الجفاف غير موسمية .

باء - مقارنة الطرق

لكل من بدائل موارد المياه غير التقليدية التي نوقشت في هذا المجلد خصائص مختلفة تتصل بامكانية تطبيقها من النواحي التقنية ، والاقتصادية والسياسية . ويتضمن الجدول ٢٦ موجزا لهذه الخصائص.

جيم - احتمالات المستقبل

تعد احتمالات التطبيق الاوسع لتقنيات موارد المياه غير التقليدية واعدة ، وذلك نتيجة لعاملين أساسيين . الاول هو أنه ينبغي أن تتحسن مع مزيد من البحث والاستعمال امكانية الاعتماد على الكثير من التقنيات وامكانية تحمل تكلفتها . والعامل الثاني هو أن الزيادة المستمرة في السكان واستعمال المياه فيما يتعلق بكل فرد سوف يضغطان على الامدادات المتوافرة ويزيدان من تكلفة تنمية الموارد والامدادات بالسبل التقليدية . وسوف تتيح هذا فرصا للتطبيق الاقتصادي لتقنيات موارد المياه غير التقليدية .

وفي حالات كثيرة . يمكن ادماج التقنيات غير التقليدية بنجاح في المشاريع الانمائية التقليدية . وتجمع جزر عديدة في الكاريبي بين استخراج المياه الجوفية ، وازالة ملوحة مياه البحر واستصلاح المياه القذرة لاغراض الري ضمن خططها الخاصة بموارد المياه .

١ - ازالة الملوحة

تعد ازالة الملوحة واحدة من اكثر التقنيات غير التقليدية صلاحية . وعلى امتداد الـ ٣٠ سنة الماضية ، اصبحت مختلف عمليات التقطير ، والاوزموزية العكسية والد يلزة بالكهرباء ، تقنيات قابلة للبقاء من الناحية التجارية وجديرة بالثقة فيما يتعلق بازالة ملوحة المياه .

وفي المستقبل ، يمكن توقع أن يساعد البحث والتطوير المستمرين للعناصر المكونة للاوزموزية العكسية والد يلزة بالكهرباء على زيادة الثقة وتقليل تكاليف التشغيل النسبية . وينبغي أن تؤدي الاغشية الجديدة لكل من وحدات الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة ولمياه البحر الى مواصلة تخفيض استعمال الطاقة واطالة عمر الغشاء . وينبغي أن يؤدي الاستعمال الواسع الانتشار لاجهزة استرداد الطاقة ، الذي لم يبدأ الا في السنوات الاخيرة ، الى توفير المعدات والخبرة اللازمة لاستخدامها بصورة روتينية مع وحدات الاوزموزية العكسية . كما ينبغي كذلك أن يساعد انتاج وحدات القياس الكبيرة السعة للاوزموزية العكسية والد يلزة بالكهرباء في الحد من التكاليف .

وقد يكون النجاح الاولى الذى حققته وحدات التقطير متعدد التأثيـــر المنخفضة الحرارة ، ذات الانابيب المصنوعة من الالومينيوم والموجودة فى منطقـــة الكاريبى ، حافزا على استعمال هذا التصميم فى استخدامات اخرى حيث يتوافـــر بخار ضافط عكسى أو حرارة مفقودة من تربينات اخرى . ومن شأن البساطـــة الواضحة لتشغيل تلك الوحدات أن تجعل استعمالها فى البلدان الناميـــة جذابا .

ويبدو أنه سوف يكون هناك استعمال متصل لوحدات ضغط البخار الصغيرة لازالة ملوحة مياة البحر ذات المواد المعلقة التى قد لاتزال بسهولة فى المعالجـة التحضيرية لمياه البحار بواسطة وحدات الاوزموزية العكسية . وتستمر البحـــوث بشأن تلك الوحدات من اجل اطالة الوقت بين مرات التنظيف وكذلك بغيـــة زيادة فعاليتها الحرارية .

٢ - النقل بالناقلات

لايعتبر مستقبل نقل المياه بالناقلات مسألة تكنولوجية . انمـا هـــى مسألة اقتصادية مباشرة نسبيا تتعلق بظروف السوق الفعلية . وتستند معظـــم البيانات الخاصة بالتكلفة فى هذا التقرير على تصورات صناعة الناقلات وهى تصورات تحتاج الى تأكيد فى الممارسة الفعلية . ولايمكن توقع أن تستمر السعة الزائـــدة الحالية للناقلات الكبيرة جدا الى الابد ، حيث يجرى بيع فائض السفن كخردة وحيث تتزايد حاجة العالم الى النفط . وقد يكون لاستبعاد السفن الزائـدة مـــن السوق أثر سلبى على اقتصاديات هذه الطريقة لنقل المياه ، أو قد يتطـور نقـــل المياه الى سوق مرضية لاسطول الناقلات .

٣ - النقل بجبال الجليد

مع أن المفهوم الاساسى لتعويم جبل جليد الى منطقة تعانى مـن نقـــص المياه ، واذابتة لانتاج المياه قد بدا بسيطا ، الا ان الدراسات العميقة اظهـــرت انه مشروع معقد الى حد ما . وحيث ان هناك ضرورة لرأسمال كبير لتمويل مشـــروع من هذا النوع ، وحيث انه ينطوى على مجازفة كبيرة ، فمن المشكوك فيه ان زيـــادة امدادات المياه باستخدام جبال الجليد سوف تحدث فى أى وقت فى المســـتقبل القريب . فهى فكرة تنتظر شخصا ، أو وكالة أو حكومة مستعدة للاستثمار فـــى سباق للتجارب .

وفى مجال التقطير، يمكن توقع أن تستمر هذه العملية رغم ادعاءات انصار الاوزموزية العكسية بأن العملية الاخيرة اكثر اقتصادا . وينبغى أن يؤدى الاستعمال المتزايد للمضافات عالية الحرارة بدلا من الاحماض لوحدات الوميض متعدد المراحل ، الى اتاحة المجال لتحقيق المزيد من الفعالية ، والموثوقية وعمر أكثر طولا للوحدة ، وهو ما يمكن ترجمتة الى تكاليف انتاج أقل .

٤ - اعادة استعمال المياه

تتوقف الاحتمالات المستقبلية للتطبيق واسع الانتشار لاعادة استعمال المياه فى العالم النامى على عدد من العوامل الهامة . العامل الاول هو انشار واستعمال شبكات لجمع المياه المستعملة (شبكات الصرف الصحى . محطات الضخ الخ) لاتاحة مصدر للمياه المستعملة . والعامل الثانى هو اجراء مزيد من البحوث حول الاثار المترتبة على اعادة استعمال المياه بمختلف مستوياتة بالنسبة للصحة العامة فى المدى البعيد . وسوف تتمثل العوامل الاخيرة فى التقبل الحضارى لاعادة استعمال المياه فى مختلف الاستعمالات المفيدة والرغبة فى معالجة تصريف المياه المستعملة لتخفيف أثرها على البيئة والصحة العامة الى أدنى حد .

ويمكن توقع زيادة ترويق المياه المستعملة لاغراض زراعية وصناعية معينة فى المستقبل حيث تكون المصادر البديلة من المياه الاعلى جودة اما غير متاحة أو مكلفة للغاية .

وتعرقل الاحتمالات المستقبلية لترويق المياه المستعملة لاغراض الشرب والاستعمال المنزلى حالات القلق من اثر المواد العضوية المتخلفة وغيرها من العناصر على الصحة العامة فى المدى البعيد . ولابد لدرجة الحذر التى يجرى للتعبير عنها الان فى الدول الصناعية من أن تؤدى الى ابطاء اى قبول واسع الانتشار للفكرة . ولابد لاعمال البحوث المتأنية التى تقوم بها مدينة دينفر، كولورادو، وعدد من البلدان من ان تساعد فى استحداث معايير لهذا النوع من اعادة الاستعمال .

٥ - تعديل الجو

من المرجح ان المتغييرات المعقدة الكثيرة فى تعديل الجو سوف تعرقل تطبيقة على نطاق واسع فى المستقبل القريب لزيادة الامطار فى معظم المناطق ولابد للمسائل المتعلقة بحجم السيطرة على بذر السحب وأثره الفعلى ، وكذلك امكانية اجراء تعديلات طويلة الاجل فى الاحوال الجوية لمنطقة ما من ان تجعل تطبيقة العملى محدودا . ويمكن توقع أنه ، مع تزايد حجم المعارف عن اسباب واثار انواع الطقس، سوف تزيد القدرة على احداث تغييرات يمكن التنبؤ بها فى الاحوال الجوية وينبغى أن يساهم النشاط الذى يبذل حاليا فى اطار برنامج زيادة الامطار التابع للمنظمة العالمية للارصاد الجوية بدرجة كبيرة فى تكوين هذه المعارف .

٦ - موجـــــــــــز

مجمل القول أن هناك فيما يبدو دورا لبعض تقنيات موارد المياه غـــــير التقليدية التى نوقشت فى هذا المجلد . وينبغى توخى الدقة عند اختيـــــار واستعمال تقنية غير تقليدية مع ادراك كامل للاثار الايجابية والسلبية الممكنة الـتى قد ينطوى عليها ذلك . وهذا أمر صعب، حيث انه يتعين اجراء تقيـــــيمات للجوانب التقنية ، والاقتصادية والسياسية لاى مشروع . وفى بعض المناطق ، ومـــع بعض التقنيات ، لاتتوافر غير معلومات ناقصة ويتعين أن يستند القرار النهائـــى الى اعتبارات ذاتية .

وسوف يؤدى الضغط الناجم عن المتطلبات المائية المتزايدة فى البـــلدان الصناعية الى ارغام الكثير منها على دراسة واستعمال تقنيات موارد المياه غـــير التقليدية بشكل متزايد . وسوف يكون هذا مفيدا للجميع، حيث أنه سوف يخلـــق سوقا ويقدم تمويلا للمنتجات والبحوث لتطوير تلك التقنيات . ومع الاستعمـــال والمعارف المتزايدة ، سوف يتناقص عدم امكانية التنبؤ الذى تنطوى عليه بعض تـــلك التقنيات ، كتعديل الجو، مما سيسمح بتقييم أفضل لجدوى بعض التطبيقات .

وفى حين أن افضل طريقة عمل بالنسبة لاية منطقة تتمثل أولا فى تنميـــة موارد مياهها التقليدية المنخفضة التكلفة ، فان تزايد ندرة تلك الموارد ســـوف يزيد تكاليفها ، مما يجعل التنمية غير التقليدية مجدية وضرورية اقتصاديا فـــى المستقبل القريب .

الجدول ٢٦ - مقارنة موارد المياه غير التقليدية : المعايير التقنية ، والاقتصادية والسياسية

المعايير	ازالة الملوحة	النقل بالناقلات	النقل بجبال الجليد	اعادة استعمال المياه	تعديل الجو
التكاليف النموذجية	تكلفة المياه (بما في ذلك استعادة رأس المال) المياه القارية الى الملوحة: ٠ر٢٥ - ١ دولار/م٣ (٩٥ر٠ - ٣٨٠ لكل ١٠٠٠ غالون) مياه البحر: ١ر٣٠ - ٨ دولار/م٣ (٤ر٩٠ - ٣٠ر٣ لكل ١٠٠٠ غالون) تكلفة المياه باستعمال مصادر طاقة متجددة (استنادا الى التكاليف الرأسمالية الكلية) ٤ - ٥٠ دولار/م٣ (١٥٠ - ١٩٠ لكل ١٠٠٠ غالون)	النقل ١٠-٦ دولار / م٣ (٣٨٠ - ٢٣ لكل ١٠٠٠ غالون) المياه عند الصدر ٢٥ر٠ - ١ر٥٠ دولار/م٣ (٩٥ر٠ - ٧ر٥٠ لكل ١٠٠٠ غالون) تكلفة المياه ٢٥ر١ - ٧ر٥٠ دولار/م٣ (٧٥ر٤ - ٢٨ر٤٠ لكل ١٠٠٠ غالون)	المتطلبات الرأسمالية الكلية المقدرة لمشروع الخرسية السعودية ١٦ - ٨٠ بليون دولار تكلفة المياه ٢ر٠ - ٨٥ر٠ دولار/م٣ (٨ر٠ - ٣ر٢٠ لكل ١٠٠٠ غالون)	تكلفة المياه ٧ر٠ - ١ر٨٠ دولار/م٣ (٣٠ر٠ - ٦ر٨٥ لكل ١٠٠٠ غالون)	تكاليف التطبيق ١ر٥٠ - ٠ر٠٠ دولار/هكتار للموسم تكاليف المياه (استنادا الى التقديرات الاسرائيلية لزيادة امدادات المياه) ١ر٠ دولار/م٣ (٤ر٠ لكل ١٠٠٠ غالون)
مرحلة الانماء	معتدلة الى مرتفعة؛ خبرة واسعة النطاق	منخفضة الى معتدلة؛ بعض الخبرة	منخفضة للغاية؛ ماتزال في مرحلة تصورية	معتدلة؛ خبرة في مجالات مختلفة	منخفضة؛ ماتزال تجريبية
المتطلبات الطبيعية الخاصة	١ - مصدرا للمياه القارية الى الملوحة النظيفة أو لمياه البحر النظيفة ٢ - طريقة أو مكان للتخلص من محلول ملحي	١ - مصدرا يعتمد عليه للمياه الصالحة للشرب وللاستعمال المنزلي في منطقة اخرى أو بلد آخر ٢ - الحاجة الى مياه قريبة من ميناء أو منطقة ساحلية ٣ - مرافق في الميناء لتفريغ الناقلات ٤ - مرافق تخزين ضخمة	١ - زوارق قاطرة كبيرة ٢ - الحاجة الى مياه قريبة من منطقة ساحلية ٣ - قنوات سحب عميقة ٤ - بعض مرافق التخزين ٥ - آلات وآليات لاذابة الجليد وجمع المياه	١ - مصدرا للمياه المستعملة	١ - سحب مناسبة ٢ - هيئة علمية ٣ - هياكل واستعمال ارضي للاستفادة من زيادة سقوط الامطار
المزايا : التقنية	١ - النظم المؤكدة متاحة ٢ - يمكن التنبؤ على نحو معقول بتكلفة المعدات والانتاج . ٣ - مجموعة كبيرة من الموردين	١ - مطلوب مستوى منخفض من التكنولوجيا ، الا فيما يتعلق بالاستثمار الاولي في مرافق الميناء	١ - يمكن ان يكون طريقة اقتصادية لانتاج المياه العذبة	١ - التقنيات المؤكدة متاحة ٢ - يمكن التنبؤ على نحو معقول بتكلفة المعدات والانتاج ٣ - مجموعة كبيرة من الموردين ٤ - لاتوجد حاجة الا الى مستوى معتدل من المهارة التقنية	١ - يمكن أن يوفر المياه فوق منطقة واسعة وبذلك يقلل من تكاليف التوزيع ٢ - لاتوجد حاجة الا الى استثمار رأسمالي معتدل الى صغير
السياسية	١ - يمكن استحداث موارد مائية خاصة	١ - يمكن أن يقدم حلا سريع التنفيذ لنقل المياه	١ - سوف يجتذب اهتماما عالميا واسع النطاق	١ - يمكن ان توفر بديلا معتدل التكلفة للمياه المستعملة في تطبيقات لاتتصل بالشرب والاستعمال المنزلي ٢ - يمكن ان تقلل المشاكل المرتبطة بالطريقة الحالية للتخلص من المياه المستعملة ، بما في ذلك التلوث	١ - يتميز بامكانية تقليل ظروف الجفاف في منطقة واسعة .
المثالب : التقنية	١ - تتطلب فنيين مهرة لتشغيل واصلاح المعدات ٢ - عملية تستلزم طاقة كثيفة ٣ - يمكن أن يؤدي التواني في الاصلاح أو عدم وجود امدادات تشغيلية الى الحاق الضرر بالمعدات الرأسمالية	١ - وصيل المياه بكميات ضخمة تتم وجود مضخات ذات سعة مرتفعة وصهاريج تخزين ضخمة لتمكين الناقلات من تفريغ شحناتها بسرعة ٢ - توجد حاجة الى قنوات سحب عميقة ومرافق للسفن الكبيرة	١ - طريقة لم تجرب أساسا ولم توضع لها كافة التفاصيل ٢ - سوف يتطلب استثمارا ضخما دون ضمان للنجاح ٣ - غير ملائم للتجريب على نطاق صغير	١ - تتطلب بعض المهارة في تشغيل وصيانة المرافق ٢ - يمكن للتشغيل غير المناسب ان يخلق امكانية حدوث آثار معاكسة على الصحة العامة ٣ - لن تصلح الا في المناطق التي تجمع فيها المياه المستعملة في موقع ساحلي	١ - مايزال في مرحلة البحث مع احتمالات كثيرة غير مؤكدة ٢ - يتطلب دعما علميا ٣ - لايمكن ان يتحكم فعليا في النتائج ٤ - يجب ان تكون له بنية اساسية واستعمال ارضي للاستفادة من الامطار الزائدة
السياسية	١ - تتطلب عموما الاستعانة بالنقد الاجنبي لشراء المعدات ٢ - تتطلب استخداما مستمرا لطاقة عالية	١ - يتعين ان يعتمد على مصادر وناقلين خارج البلد وتعد امكانية حدوث انقطاع في الامدادات بسبب العواصف ، أو الحروب ، أو المقاطعات أو الاضرابات عالية نسبيا ٢ - يمكن ان يكون مكلفا	١ - غير مجرب - لاضمان للنجاح ٢ - يمكن ان ترجع اليه مسؤولية حدوث تغيرات في الاحوال الجوية ، وصيد الاسماك والبيئة البحرية	١ - قد لاتكون مقبولة من الناحية الجمالية أو الثقافية	١ - لاضمان للنجاح ٢ - يصعب للغاية قياس النجاح أو تحديده كميا ٣ - يحتمل ان ترجع اليه مسؤولية كل المشاكل المتصلة بالاحوال الجوية .
درجة تأكيد العملية	عالية	عالية	منخفضة	عالية	منخفضة الى معتدلة
الاستعمالات النموذجية للمياه	الشرب والاستعمالات المنزلية الاستعمالات الصناعية	الشرب والاستعمالات المنزلية الزراعة الاستعمالات الصناعية	الشرب والاستعمالات المنزلية الزراعة الاستعمالات الصناعية	الزراعة الاستعمالات الصناعية	الشرب والاستعمالات المنزلية الاستعمالات الزراعية الاستعمالات الصناعية

المرفـق الاول

التقطـير

ألف - خلفيـة تقنيـة

هناك ثلاث خطوات أساسية في انتاج مياه الشرب بواسطة التقطير وهـي : انتاج البخار، ونقل البخار الى مكثف، والتكثيف.

١ - انتـاج البخار

التبخير (**أو التصعيد**) ظاهرة سطحية تجمع فيها جزئيات المياه طاقـة كافية تسمح لها بالخروج من الحالة السائلة والدخول الى الفضاء الذى يعلوهـا في صورة بخار . فاذا ما استمرت اضافة الطاقة، مثل الحرارة الصادرة عن الشمس، فان السائل يواصل التبخر ببطء . ولا تحتوى المياه الملحة الطبيعية على كميـات كبيرة من المواد الاخرى التى سوف تتبخر فى المدى الحرارى المستخدم للتقطـير بغض النظر عن مياه الشرب.

وفى ظل **أية ظروف تتحدد** كمية البخار التى يمكن انتاجها بكمية الطاقـة المتاحة، بيد أنه يمكن التعجيل بعملية التبخير عن طريق زيادة سرعة اسـتعمال الطاقة أو بزيادة المساحة السطحية المتاحة لخروج الجزئيات.

وتؤدّى اضافة الحرارة بدرجة كافية الى السائل الى تكون **فقاعات** مـن البخار فى جسم السائل، أو ما يسمى بالغليان . ومع زيادة الضغط على السـائل (كما هو الحال فى فلايات البخار)، ترتفع درجة الغليان فوق نقطة الغليـان المعتادة (١٠٠° أو ٢١٢°ف. عند معدل الضغط الجوى) . وبتقليل الضغـط. تتناقص درجة الغليان . والواقع أنه يمكن تقليل الضغط على المياه بدرجة تكفـى لجعلها تغلى عند درجة تجمدها (درجة صفر مئوية أو ٣٢° ف) .

ولكى تمر المياه بمرحلة تغير من الحالة السائلة الى البخار، يلزم اكتسـاب طاقة تعادل حرارة التبخير، وهو مفهوم هام للغاية فى عملية تقطير المياه . ومـن ناحية أخرى، لكى تتكثف المياه الى سائل، يلزم ازالة حرارة التكثيف (المعادلـة لحرارة التبخير) .

ولكى تجرى عملية التقطير بفاعلية، يلزم استرداد أو اعادة استخدام أكـبر قدر ممكن من حرارة التكثيف . وغالبا ما يتم ذلك عن طريق تكثيف بخار الماء علـى جانب واحد من السطح الناقل للحرارة مع استخدام الجانب الاخر من السـطح

(مثل أنبوب مثلا) فـي تسـخين و / أو تبخير سـائل أبـرد (مثـل ميـــاه البحر مثلا) حتى يمكن استرداد الحرارة واعادة استخدامها بصورة مثمرة .

٢ - نقل البخار الى المكثف

يتعين نقل البخار المنتج أثناء التبخير الى حيث يمكن حدوث التـــكثيف . وبغية زيادة انتاج البخار، يتعين نقل البخار بسرعة ، ومن ثم تقليل ضغط البخـار على السائل فى درجة الغليان . وعادة ما يتم نقل البخار ذاته عن طريـــــق الضغوط أو درجات الحرارة التفاضلية أو بالوسائل الميكانيكية .

٣ - التكثيف

يحدث التكثيف عادة داخل أو خارج انابيب صنعت من مواد تتحمل انتقال الحرارة فى درجة عالية . وتستخدم حرارة التكثيف التى يتعين ازالتها من بخـار الماء كيما يحدث التكثيف، اما لتسخين المياه الملحة أو تبخيرها .

ولكى يحدث تكثيف فعال ، يتعين على السطح أن يزيل الحرارة بسرعـــة ويسمح للسائل المكثف بالتدفق الى نقطة تجميع . واذا ظل السائل المكثف فـــى صورة غشاء على سطح ما ، فانه يكون بمثابة عازل ويقلل من درجة الاداء .

باء - وصـف العمليـة

بغية زيادة الغليان ، تستفيد عملية التقطير من العلاقة بين نقطة الغليان والضغط الواقع على السائل الذى نحن بصدده . وبتقليل ضغط أحد المحاليـــل الملحية ، بصورة متعاقبة ، يمكن الوصول به الى درجة الغليان عدة مرات على التوالى دون اضافة حرارة اضافية . وتستخدم هذه التقنية بدرجة أو بأخرى فى جميـــــع عمليات التقطير التجارية تقريبا حيث ان تقليل الضغط أقل تكلفة من اضافة الحـــرارة

وهناك ثلاث عمليات رئيسية للتقطير يجرى استخدامها حاليا فى الصناعـــة وهى : التبخير متعدد النتائج ، والوميض متعدد المراحل ، وضغط البخار .

١ - التبخير متعدد النتائج

استخدم التبخير متعدد النتائج على نطاق واسع فى انتاج مياه تغذيـــة الغلايات المتعلقة بواحدات الطاقة الارضية والمراكب العابرة للمحيطات، وكذا فـى صناعات السكر والملح منذ القرن التاسع عشر . وقد تمت مواءمة التصميمات الاولـــى

لتناسب صناعة مياه الشرب مع اجراء تغييرات مبدئية قليلة مما ساعد على بدء الصناعة .

ففى كل ناتج المبخر، يتكثف البخار على أحد جانبى الانبوب وتستخدم حرارة التكثيف الناشئة عن ذلك فى تبخير المياه الملحة على الجانب الآخر من جدار الانبوب . وهكذا ، فان حرارة التبخير المنقولة الى المياه لاحداث التبخير الاولى يعاد استخدامها على نحو فعال من خلال ما يعقب ذلك من تبادل لحرارتى التكثيف والتبخير فى النتائج التالية . ويتم الاستخدام واعادة الاستخدام المتعاقبان لحرارتى التبخير والتكثيف من أجل زيادة الغليان عن طريق تقليل الضغط فى كل من النتائج المتعلقة بالناتج السابق . ويتيح ذلك للمحلول الملحى الغليان عند درجات أقل أثناء تدفقه عبر الوحدة . ولهذا السبب، فان الوحدة متعددة النتائج تحقق وفرا فى البخار (أى نسبة المياه المنتجة الى البخار المستخدم) يتناسب مع عدد النتائج .

وتحتوى الوحدات الاولى متعددة النتائج لمياه الشرب على ما يتراوح بين ناتجين وست نتائج فى العادة ، وتسخن المياه باستخدام أنابيب مغمورة . وتوضح هذه العملية فى الشكل العاشر . بيد أن وحدات الانابيب المغمورة لم تكن بنفس فعالية الاشكال الاخرى حيث كان يتعذر تبخير حوض المحلول الملحى بنفس السهولة بسبب صغر مساحة السطح نسبيا والقشور التى تتكون فى بعض الاحيان على الانابيب المغمورة الساخنة .

وقد استحدث المبخر بالانبوب الرأسى كما هو موضح فى الشكل الحادى عشر بغية حل بعض المشاكل الناجمة عن شكل الانبوب المغمور . ففى الوحدات الموضحة فى الشكل ، تعلق الانابيب الرأسية فوق حوض المحلول الملحى الذى يتدفق داخل الانبوب (جانب الانبوب) ، فى حين يتكثف البخار خارجه (جانب الغلاف) . وتوصل حرارة التكثيف عبر جدار الانبوب وتستخدم لتسخين المياه المتدفقة داخل الانابيب . ويكون تدفق المحلول الملحى فى الانابيب بوجه عام فى الاتجاه الاسفل ، مع استخدام وحدات التدفق المتجه الى أعلى كذلك .

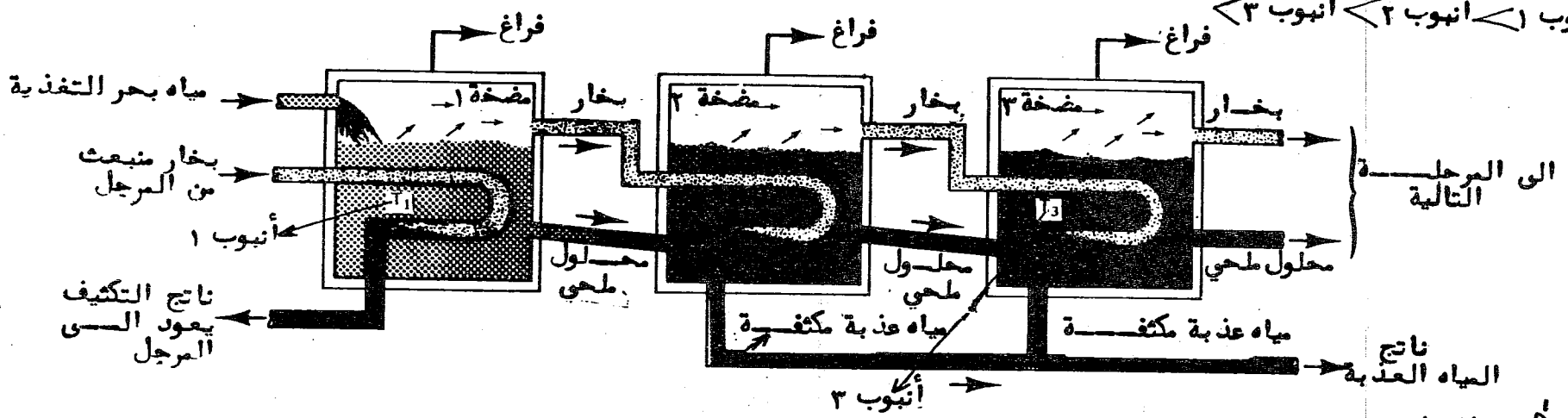
ويتعين امداد الناتج الاول بالبخار الخارجى لاضافة حرارة كافية تسمح بحدوث الغليان والتبخير فى ذلك الناتج ويمثل هذا البخار الخارجى المدخل الرئيسى للطاقة فى العملية . ويكثف البخار بصفة عامة ويعاد الى الغلاية لاعادة التسخين واعادة الدوران .

وبالمقارنة بشكل الانبوب المغمور، فان وحدات الانبوب الرأسى يمكنها زيادة الفعالية الحرارية والاقلال من تكون القشور . وتعتبر الانبوب الرأسى أكثر تعقيدا وعادة ما تتطلب قدرا أكبر بكثير من شبكات الانابيب الخارجية والمضخات عما هو الحال فيما يتعلق بمرافق الانبوب المغمور . وعادة ما تكون المضخات وما يرتبط

ملاحظة :

مضخة ١ < مضخة ٢ < مضخة ٣

انبوب ١ < انبوب ٢ < انبوب ٣



-٣١٧-

ملاحظات:

١ ـ هذا الرسم مبسط للغاية .

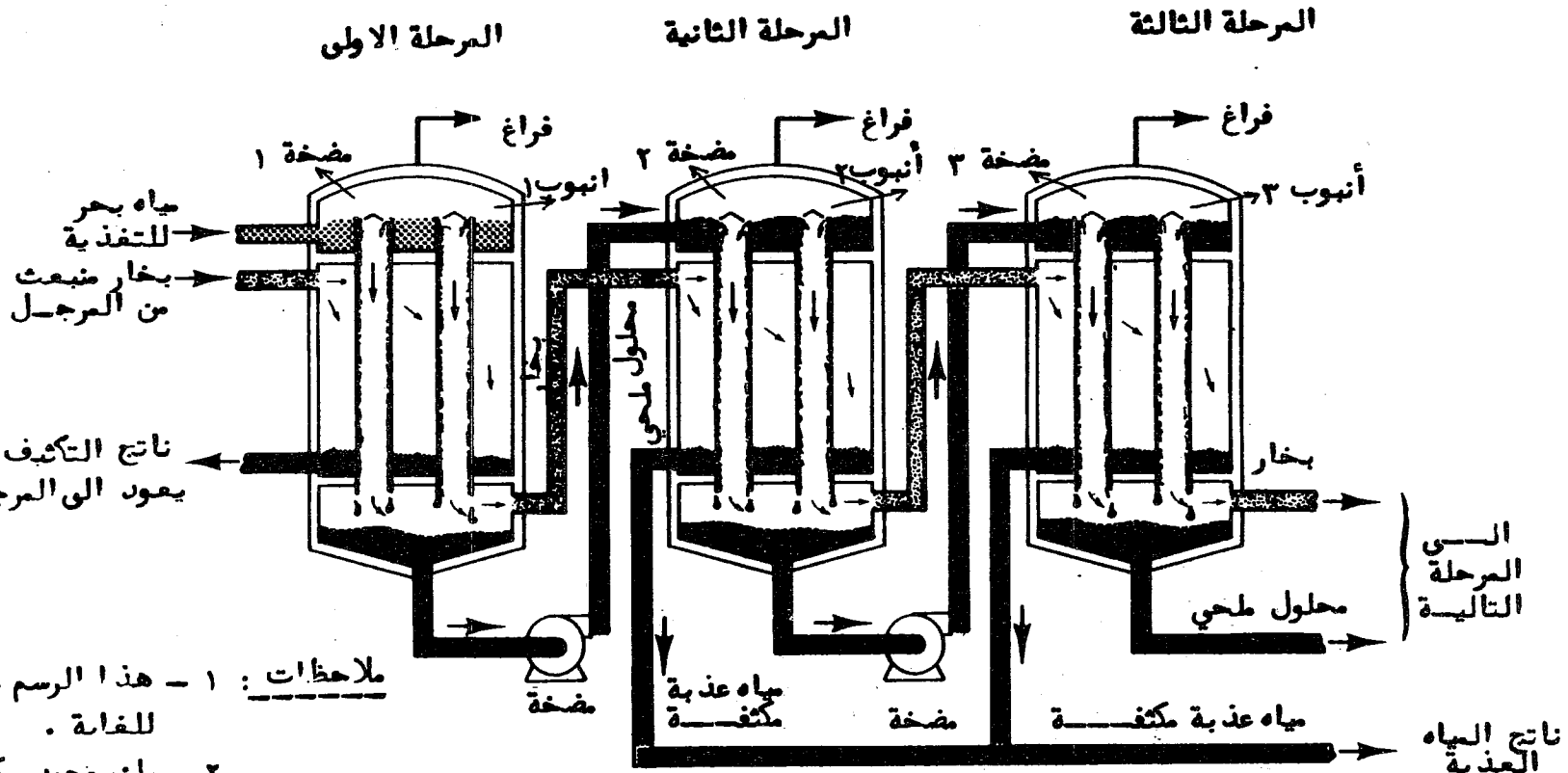
٢ ـ يلزم وجود مكثف نهائي لأغراض التشغيل .

-٣١٢-

الشكل رقم ١٠ ـ رسم بياني انطباعي لوحدة تقطير متعدد المراجل بالأنبوب المغمور

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).



ملاحظات : ١ – هذا الرسم مبسط للغاية .

٢ – يلزم وجود مكثف نهائي لأغراض التشغيل .

الشكل رقم ١١ – رسم بياني انطباعي لمبخر بالانبوب الرأسي

المصدر : هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية ماخوذ من :
Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

بها من شبكات الانابيب ضرورية لضخ المحلول الملحى بين النتائج . حتى يتحقق التشغيل الكفء والاقلال من تكون القشور على أسطح الانبوب الى الحد الادنى ، من الضرورى أن تكون التغذية بالمحلول الملحى مستمرة وأن يوزع المحلول الملحى بكميات متساوية أثناء التشغيل فيما بين جميع الانابيب وداخلها .

ويتطابق مبدأ تشغيل المبخر متعدد النتائج بالانابيب الافقية - الموضح فى الشكل الثانى عشر مع مثيله فى المبخر بالانبوب الرأسى ، حيث ينشر المحلول الملحى والبخار على الجانبين المتقابلين من الانابيب فى كلا النظامين . فالمحلول الملحى يوزع كشريط فى خارج الانابيب، حيث يتبخر جزئيا بواسطة الحرارة المستمدة من تكثيف البخار (الى ماء عذب) فى داخل الانابيب . ويمكن تجميع النتائج رأسيا وافقيا على حد سواء وليس افقيا فقط كما هو الحال بالنسبة لوحدات المبخر بالانبوب الرأسى . ويتيح هذا استخداما أكبر للجاذبية فى تحريك السائل بين النتائج عنه فى الوحدات بالانبوب الرأسى .

٢ - الوميض متعدد المراحل

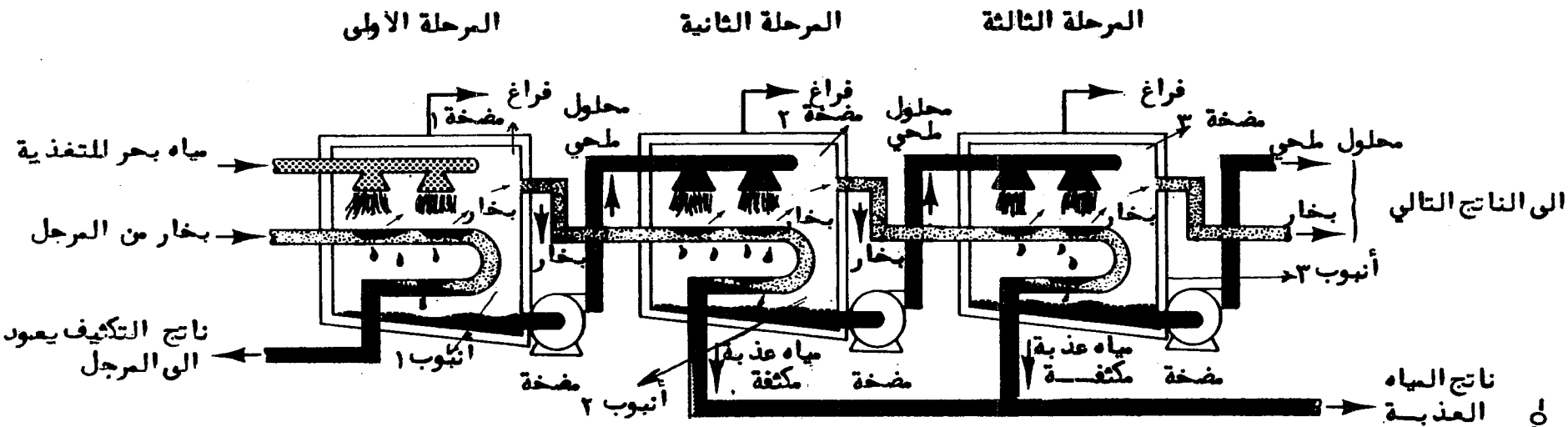
تقوم وحدات التقطير بالوميض متعدد المراحل على المبدأ التالى : عندما يقل فجأة ضغط الغرفة التى تعلو الماء المسخن دون درجة غليان ضغط البخار، فان الماء يغلى بعنف . ويحدث هذا الغليان بسرعة ، منتجا كميات كبيرة من البخار حتى تنخفض الحرارة (نتيجة لفقدان حرارة التبخير) دون نقطة الغليان المتعلقة بحالة الضغط هذه . ويتكثف البخار الناتج بواسطة الوميض خارج الانابيب الناقلة للمحلول الملحى الاكثر برودة الى الطرف الساخن من الوحدة . ويستخدم ذلك فى استرداد جزء كبير من حرارة التبخير .

وقد أنشئ عدد من وحدات الوميض وحيدة المرحلة أثناء الستينات والسبعينات . وكانت هذه الوحدات تستخدم أساسا مع المياه الضاربة الى الملوحة الى جانب منشآت وحدات الطاقة ، وصممت بوجه عام لانتاج ما يقل عن ٩٥٠ م^3/يوم (٢٥٠٠٠٠ غالون فى اليوم) . وقلما تستخدم تلك الوحدات لانتاج مياه الشرب، حيث ان الكفاءة الحرارية منخفضة الى حد ما ، باستثناء بعض التصميمات التى تستخدم الحرارة الناتجة عن احراق الفضلات كمصدر للطاقة .

وقد ظهرت الامكانية الحقيقية لاستخدام التقطير بالوميض لانتاج مياه الشرب فى الخمسينات، بالاستعانة بالتصميم الاساسى لعملية الوميض متعدد المراحل التى استحدثها س . ر . سيلفر . ويتضمن الشكل الثالث عشر رسما بيانيا انطباعيا لهذة العملية .

وفى أواخر الخمسينات وأوائل الستينات، كانت وحدة الوميض متعدد المراحل هى النمط الوحيد الذى يمكن أن يعمل دون تكون قشور لفترات طويلة . ونظرا لانه

ملاحظة :
مضخة ١ < مضخة ٢ < مضخة ٣ <
أنبـوب ١ < أنبوب ٢ < أنبوب ٣ <



ملاحظات : ١ – هذا الرسم مبسط للغاية .
٢ – يلزم وجود مكثف نهائي لأغراض التشغيل .

الشكل رقم ١٢ – رسم بياني انطباعي لوحدة تقطير متعدد المراحل تعمل بالانبوب الأفقي

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية مأخوذ من :
O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

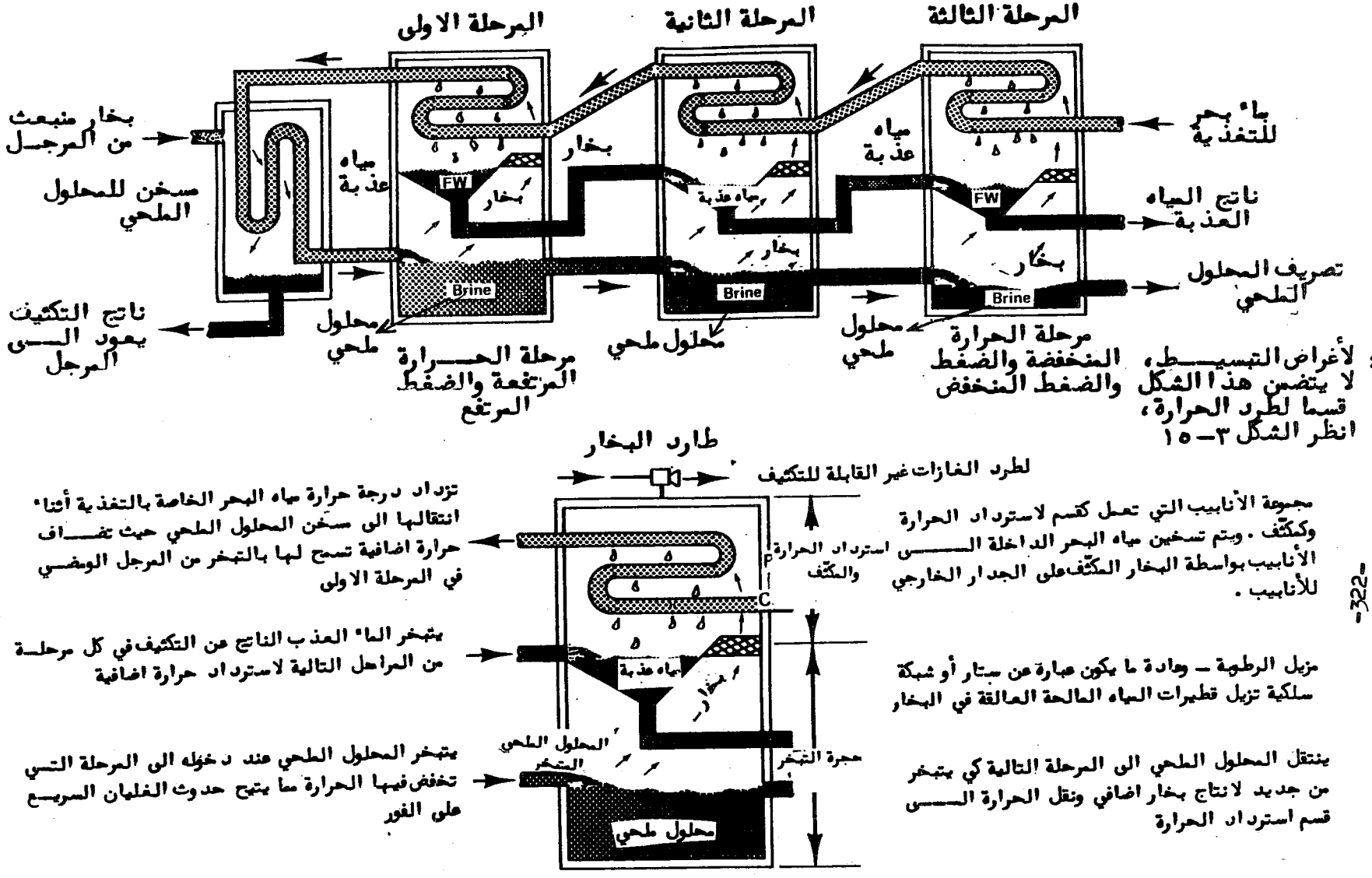
كان من الممكن بناء هذه الوحدات بطاقات كبيرة ، فقد أصبحت شائعة للغاية وكانت تستأثر فى أوائل الثمانينات بما يقرب من ثلثى طاقة ازالة الملوحة فى العالم (الرملى وكونغدون ، ١٩٨١) .

ففى وحدة الوميض متعدد المراحل ، يتم تسخين المياه الواردة من البحر فى الاقسام الخاصة باسترداد الحرارة فى كل مرحلة وكذا فى سخان المحلول الملحى الذى يستخدم فيه البخار الوارد من الخارج . ويؤدى هذا الى رفع حرارة مياه التغذية الى أقصى درجاتها ، وبعد ذلك تمر عبر المراحل المختلفة حيث يحدث الوميض . ويتم التحكم فى ضغط البخار فى كل مرحلة بحيث يدخل المحلول الملحى الساخن كل حجرة عند التوافق الملائم بين الحرارة والضغط ، حتى يمكن حدوث الغليان الفورى والشديد . وفى كل مرحلة ، يتكثف البخار فى قسم استرداد الحرارة خارج الانابيب الحاملة لمياه التغذية الملحة الى سخان المحلول الملحى فى أعلى الوحدة .

ويتم تجميع المياه العذبة التى تكونت عن طريق تكثيف البخار فى كل مرحلة وتنتقل من مرحلة الى أخرى فى خط موازٍ مع المحلول الملحى . وفى كل مرحلة يتم كذلك تعريض المنتج للوميض حتى يمكن تبريده واسترداد الحرارة بغية تسخين مياه التغذية .

وتعد نسبة المحلول الملحى المتبخر بالفعل فى كل مرحلة نسبة ضئيلة لان الطاقة المطلوبة للوصول الى حرارة التبخير مستمدة من انخفاض حرارة المحلول الملحى فى كل مرحلة (حيث لا يتم تزويد العملية بأية حرارة خارجية اضافية بعد سخان المحلول الملحى) . وفى ظل ظروف مثالية ، لا يمكن تبخير سوى نسبة تقل عن ١ فى المائة من المياه المتدفقة عبر احدى المراحل . وهكذا ، تتسم عملية الوميض المتعدد المراحل بتدفقات عالية عبر الوحدة بالقياس الى كمية المياه المنتجة . وتقوم وحدة الوميض متعدد المراحل المتوسطة ذات الحرارة العالية باسترداد المياه العذبة بنسبة تتراوح بين حوالى ٢٥ الى ٥٠ فى المائة فقط من التدفق عبر الوحدة ويختلف ذلك عن الوحدة متعددة النتائج جيدة التصميم التى تسترد ما يتراوح بين ٤٠ الى ٦٥ فى المائة من مياة التغذية . بيد أنه اذا ما أدرجت المياه المطلوبة لطرد حرارة الوحدات ، فان اجمالى كميات المياه المستخدمة فى الوحدات متعددة المراحل أو الوحدات متعددة النتائج تكون متساوية تقريبا .

ويختلف عدد المراحل فى وحدة للوميض متعدد المراحل تبعا للتطبيق ، والفعالية المطلوبة ، ودرجة حرارة الوحدة وغير ذلك من العوامل . ويتراوح هذا العدد بين ٢٠ الى ٥٠ مرحلة ، ويتطابق أعلى عدد من المراحل بوجه عام مع تحسين فعالية استرداد الحرارة . ومما يؤسف له أن زيادة المراحل تعنى كذلك زيادة فى التكاليف الاجمالية لرأسمال الوحدة ، رغم أن تكاليف التشغيل سوف تقل ، حيث ان الحرارة الخارجية المطلوبة لكل وحدة من المياه العذبة المنتجة ستكون أقل .



ملاحظة : لأغراض التبسيط، لا يتضمن هذا الشكل قسما لطرد الحرارة، انظر الشكل ٣–١٥

الشكل رقم ١٣ – رسم بياني انطباعي لعملية الوميض متعدد المراحل

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من :

From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

ونظرا لكبر حجم الكمية المطلوبة من المحلول الملحى المسخن فى وحدة للوميض متعدد المراحل ، فغالبا ما يتم خلط نسبة (تتراوح بين ٥٠ الى ٧٥ فى المائة) من المحلول الملحى فى المرحلة الاخيرة مع مياه التغذية الواردة ، ويعاد نقلها عبر أقسام استرداد الحرارة الى سخان المحلول الملحى ثم تدفع مرة أخرى عبر جميع المراحل . وغالبا ما يشار الى الوحدة من هذا النمط باسم وحدة "اعادة دورة المحلول الملحى" ، أو وحدة "اعادة الدورة" ، أو وحدة "اعادة الدوران" . وتؤدى طريقة التشغيل هذه الى تقليل كمية الحرارة والمواد الكيميائية المستخدمة لتكييف المياه والتى يتعين اضافتها اليها ، ومن ثم فانه يمكنها خفض نفقات التشغيل الى حد كبير . ومن ناحية أخرى ، فهذه الطريقة ترفع ملوحة المحلول الملحى فى الطرف الساخن من الوحدة ، مما يزيد من ارتفاع نقطة الغليان ، والاهم من ذلك أنها تضاعف خطر التآكل وتكون القشور فى الوحدة ، لاسيما فى سخان المحلول الملحى . ويشار الى الوحدة التى لاتعيد توزيع نسبة من المحلول الملحى باسم الوحدة "الانبوبية الآنية التسخين" . وتتطلب كمية أكبر من المواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة المياه عنها فى وحدات اعادة التوزيع ، الا ان تشغيلها أيسر كما أن مشاكل تكون القشور فيها أقل . ونظرا لاستقرار تشغيل هذا النمط من الوحدات ، فان استخدامه يحظى بتقدير كبير فى المناطق التى قد يمثل فيها التشغيل والصيانة مشكلة . وقد كانت الغالبية العظمى من الوحدات المنشأة خلال الخمسة عشر عاما الماضية وحدات لاعادة التوزيع ، رغم أن بعض مزايا تشغيل الوحدات الانبوبية الآنية التسخين قد تبدأ فى عكس هذا الاتجاه .

وتتمثل المزايا الرئيسية لوحدة الوميض متعدد المراحل فيما يلى : القدرة على انشائها بسعات كبيرة وتحقيق وفورات ضخمة ، كون أن الغليان لا يحدث على سطح أنبوب ساخن (وانما يومض بدلا من ذلك) ، والخبرة الضخمة فى التصميم والتشغيل والتى أمكن جمعها على مدى الـ ٢٥ سنة الماضية ، وانتشار صناعة الوحدات فى جميع انحاء العالم .

اما مثالبها فهى : امكانية تكون القشور والتآكل (والتى خفت بعض الشئ باستعمال المواد الكيميائية المضادة لتكون القشور) ، وصعوبة بدء التشغيل ، وعدم القدرة على تشغيل الوحدة بنسبة تقل عن ٧٠ الى ٨٠ فى المائة من طاقة التصميم ، وحساسية المياه المنتجة للتلوث بالملح عن طريق تسرب الحرارة من أنابيب استردادها (**التكثيف**) ، وضرورة فحص ومعالجة وتسخين كميات كبيرة من المياه الملحة المتحاة بالمنتج .

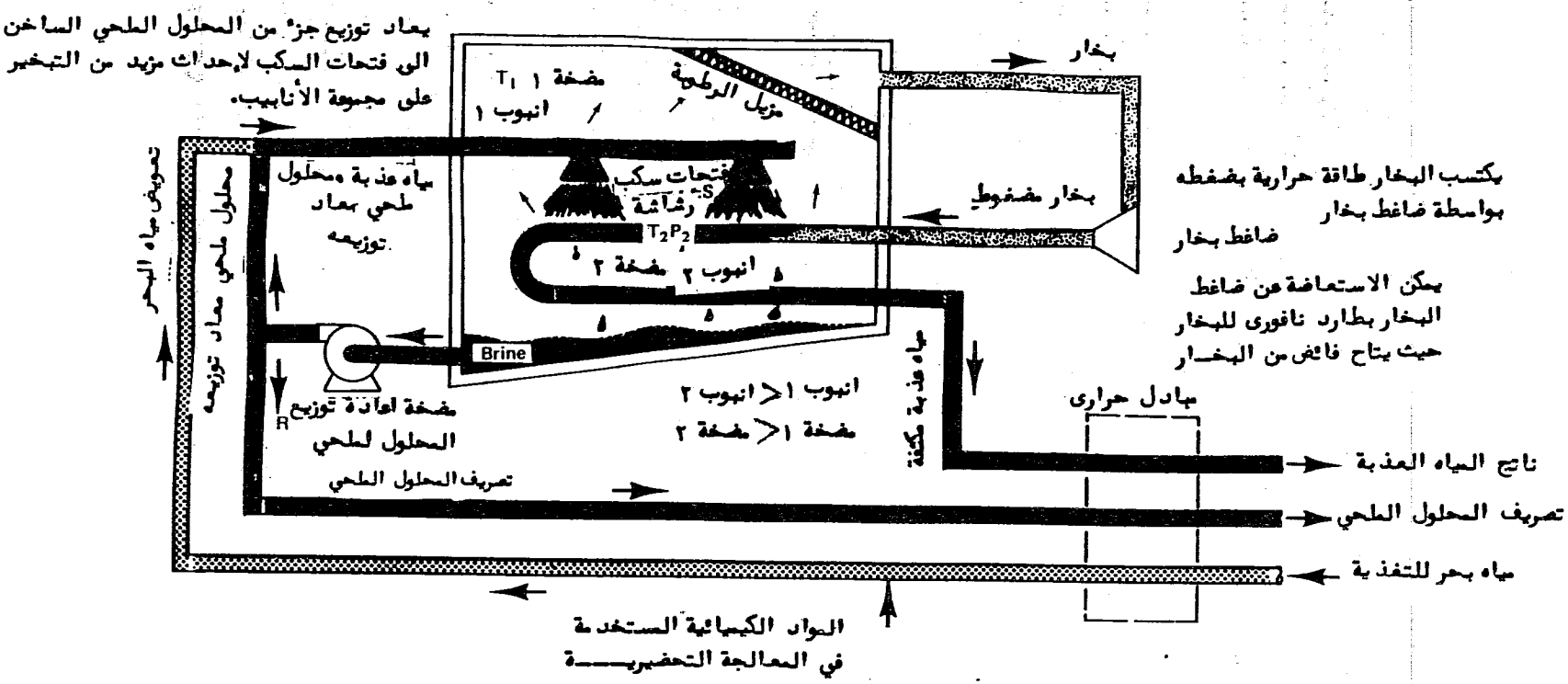
٣ - ضغط البخار

تختلف عملية ضغط البخار عن غيرها من عمليات التقطير فى أنها لاتستخدم مصدرا خارجيا للحرارة ، مثل البخار مثلا ، بوصفه طاقتها الاولية للتقطير . وتقوم بدلا من ذلك بضغط بخار الماء ، باستخدام ضاغط أو نفاث للبخار ، لزيادة ضغط البخار وحرارة التكثيف . ويحدث تكثيف البخار على أحد جانبى الانبوب الذى يعمل كسطح ناقل للحرارة . ويوضع محلول التغذية الملحى على الجانب الآخر من الانبوب (على شكل غشاء رقيق بوجه عام) ، وتستخدم حرارة التكثيف الناتجة على سطح الانبوب فى أحد الجانبين بوصفها حرارة التبخير فى الجانب الآخر لغلى المحلول الملحى وانتاج بخار الماء . ويتضمن الشكل الرابع عشر توضيحا لعملية ضغط البخار بالاغشية الرشاشة .

ونظرا لاعادة دوران حرارة التكثيف والتبخير عبر السطح الناقل للحرارة ، تكون الطاقة الرئيسية الوحيدة المطلوبة أثناء التشغيل هى اللازمة لدفع الضاغط . ويخدم الضاغط غرضا مزدوجا : فهو يضغط البخار ، مما يرفع حرارة التكثيف به ، وفى الوقت ذاته يخفف الضغط على المحلول الملحى بمياه التغذية ومن ثم يقلل من حرارة الغليان فيه .

وتستخدم طريقتان أساسيتان لضغط بخار الماء . الاولى هى استخدام ضاغط يمكن تحريكة بواسطة أى مصدر دوار مثل محرك كهربائى مثلا ، أو قاطرة ديزل أو توربين بالبخار . والطريقة الثانية هى استخدام قاذف بالبخار ، وهو غالبا ما يعتبر ملائما حيث توجد كمية من فائض البخار المتبدد . وتؤدى الطريقتان الى نفس النتيجة — الا وهى الماء العذب . ووحدة قاذف البخار سهلة التركيب وبدء التشغيل ، وهى تتطلب عناية واهتماما أقل بكثير مما هو مطلوب فى الوحدة التى تستخدم الضاغط . بيد أنها ليست على نفس درجة الفعالية الحرارية فى انتاج المياه مثل الوحدة المدارة بالضاغط . ورغم عدم الفعالية النسبى لوحدات الضغط بقاذف البخار ، فهى تستخدم على نطاق واسع فى مواقع الانشاء لارتفاع درجة موثوقيتها ، وقلة متطلباتها من الايدى العاملة ، وقلة ما تستلزم من عناية .

وتحتوى الواحدات التى تستخدم نظام الضاغط على المزيد من الاجزاء المتحركة عنها فى الوحدات التى تعمل بقاذف البخار ومن ثم فهى أكثر تعرضا للاعطال الميكانيكية ، لاسيما فيما يتعلق بالضاغط ذاته ، الذى يدور بسرعات عالية ويكون عرضة للتآكل . وغالبا ما تستخدم أنظمة قاذف البخار فى صناعة تجهيز المواد الكيميائية وفى آلات استخراج النفط بعيدا عن الشواطئ ، حيث تكون امكانية الاعتماد عليها أكثر أهمية من تكلفة المياه .



يستخدم هذا النوع من وحدات ضغط البخار التي تعمل بالكهرباء في مرافق كالفنادق والمصانع ومحطات توليد القدرة . وهي متاحة عموما بسعات تتراوح بين ٢٥٠٠ و ٣٠٠٠٠ غالون في اليوم (٩٫٥ الى ١١٤ م^3/يوم)

الشكل رقم ١٤ – رسم بياني مبسّط للتدفق في عملية ضغط البخار بالأغشية الرشاشة

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

٤ - مبخر استرداد الحرارة المتبددة

هذه هي مجموعة من وحدات التقطير المتخصصة التي تعمل عند درجات حرارة أقل نسبيا وتستخدم عادة الحرارة المتبددة لتسخين محلول التغذية الملحي. وهذه العملية موضحة في الشكل الخامس عشر. ويمكن الحصول على الحرارة المتبددة من المياه المعالجة الساخنة، وعادم التوربينات، وفائض البخار، وما شابة ذلك من مصادر. وعادة ما تنقل الحرارة الى مياه التغذية بواسطة أنابيب مغمورة. ويحتفظ بالضغط المنخفض في المبخر بحيث تغلى مياه البحر المسخنة عند درجة حرارة منخفضة (تتراوح بين ٥٠° و ٦٥° مئوية)، مما يقلل من تكاليف المواد الكيميائية اللازمة لمعالجة مياه التغذية وكذلك احتمالات تكون القشور.

ان عامل الفعالية أو عامل الاداء في هذا النوع من الوحدات هو عامل منخفض بوجه عام. ومع ذلك تعتبر تكلفة الطاقة منخفضة أيضا نظرا لان الجزء الخاص بها يعتبر دون تكلفة، فضلا عن انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية. وعلاوة على ذلك، فان مبخر استرداد الحرارة المتبددة بسيط في تشغيله وصيانته. والاجزاء المتحركة الهامة الوحيدة هي مضخات معيارية لتوزيع المياه ومعلم لتقليل الضغط في المبخر. ولا تستخدم المواد الكيميائية بوجه عام.

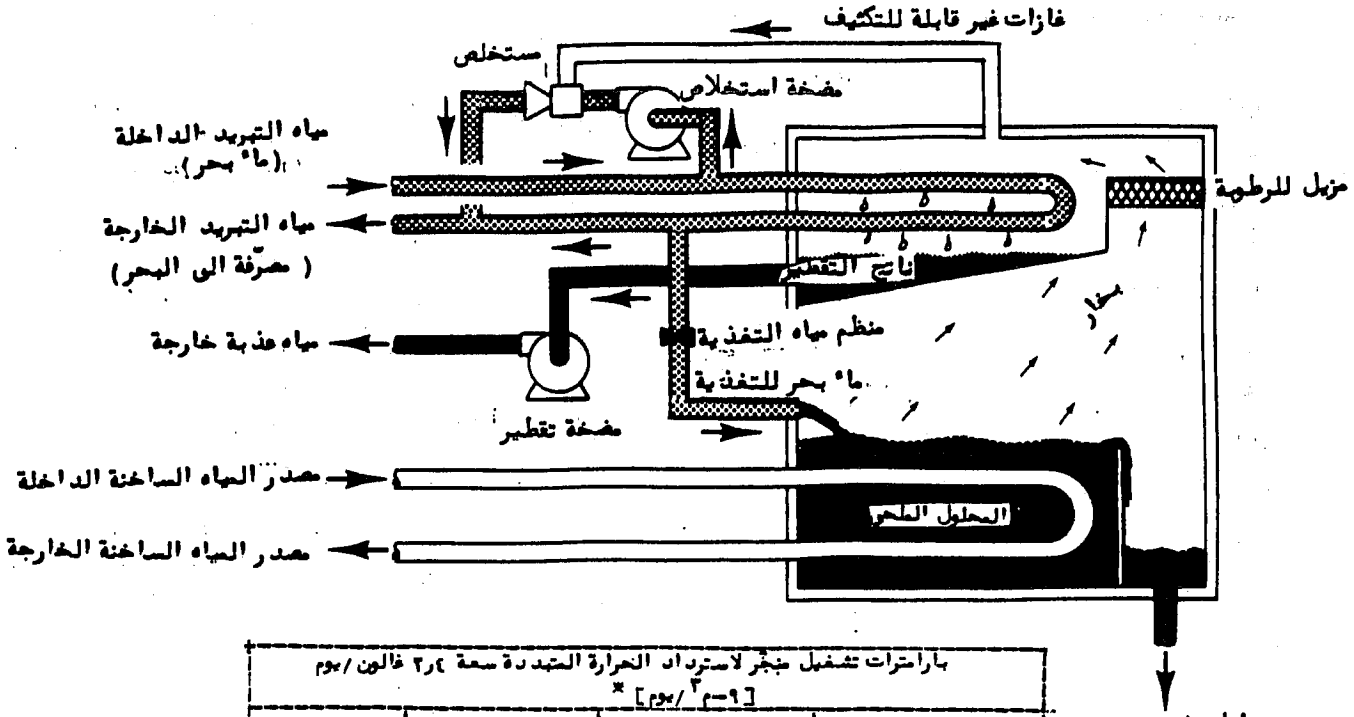
وغالبا ما يتم تركيب هذه الوحدات على السفن والصنادل ومعدات الحفر البعيدة عن الشاطئ. وهي تتطلب مصدرا مستمرا للحرارة والكهرباء على السواء وامدادات غير محدودة من مياه البحر. ويمكن تركيبها في منشأة أرضية حيث تتوافر الحرارة المتبددة من احدى العمليات الصناعية أو من مولد يكاد يعمل بصورة مستمرة.

٥ - الانظمة المختلطة

أنشئ أو اقترح أنشاء عدد من الانظمة المختلطة المحتوية على مزيج من الوحدات الاساسية الموصوفة أعلاه.

فعلى سبيل المثال، تستخدم وحدة الوميض متعدد المراحل المزودة بمبخر يعمل بالانابيب الرأسية، عملية الوميض متعدد المراحل بما فيها من أقسام لاسترداد الحرارة، كسخان التغذية، لزيادة درجة حرارة مياه التغذية على نحو فعال. وبعد المرور عبر قسم الاسترداد في مرحلة درجة الحرارة القصوى، تذهب مياه التغذية الى مجموعة من المبخرات التي تعمل بالانابيب الرأسية. وتعرض المياه المنتجة للوميض عبر وحدة الوميض متعدد المراحل حتى تسترد حرارتها، ويمر البخار من كل ناتج الى مرحلة الوميض متعدد المراحل للمساعدة على تسخين مياه التغذية.

وهناك احتمال آخر هو وحدة ضغط البخار متعدد النتائج التي يمكن أن



بارامترات تشغيل مبخّر لاسترداد الحرارة المتبددة سعة ٤ر٢ غالون/يوم [٩-م٣/يوم] *

	درجة الحرارة		التدفق		القدرة	
	(ف°)	(مئوية)	غالون في الدقيقة	(م٣/يوم)	كيلووات ساعة/غالون	(كيلووات ساعة/م٣)
مياه التبريد	٨٥	٢٩ر٣	٥٣	٢٨٩	—	—
مياه ساخنة	١٨٠	٨٢ر٢	١٠٠	٥٤٥	—	—
مياه التغذية	—	—	٣ر٣	١٠	—	—
مياه عذبة	—	—	١ر٦	٨ر٧	—	—
كهرباء	—	—	—	—	١٥	١٤

* البيانات مأخوذة من النشرة رقم ١١٧ جيم لشركة المعدّات الميكانيكية

الشكل رقم ١٥ – مبخّر لاسترداد الحرارة المتبددة

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

تقلل من تكاليف محطة ضغط البخار الوحيدة الناتج والتى تعمل بطاقة عالية . ويمكن انقاص الطاقة (والتكاليف) بنسبة مباشرة الى عدد مجموعة النتائج التى يخدمها الضاغط . وتكفى الطاقة الحرارية التى ينتجها الضاغط لتعويض جميع كميات الحرارة المفقودة ولاستمرار تشغيل المحطة .

وثمة مزيج آخر جرى اقتراحه وهو وحدة التغطية متعددة النتائج التى تعمل بالانابيب الافقية ، والتى تضع وحدة الناتج المتعدد بالانابيب الافقية فوق الطرف الساخن من محطة الوميض متعدد المراحل الموجودة . ثم يتم تشغيل وحدة الوميض متعدد المراحل عند درجة حرارة أقل من حرارة التصميم ، ويوفر بخار الناتج الاخير لوحدة الناتج المتعدد التى تعمل بالانابيب الافقية الحرارة فى سخان المحلول الملحى الخاص بمحطة الوميض متعدد المراحل . وهناك مقترح آخر يضع وحدة الوميض متعدد المراحل فى مجموعة وحدة ضغط البخار . وقد نوقشت أو جربت مجموعة متنوعة من محطات التقطير على نطاق ضيق الا ان أيا منها لم يحقق أى نجاح تجارى . وباستثناء المحطات الكبرى أو لظروف خاصة (هى الطاقة الشمسية) ، كثيرا ما تعوض زيادة فعالية الطاقة المصاعب التى تسببها التعقد المتزايد فى التشغيل و / أو الصيانة .

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية

١ - تكون القشور ومكافحتها

ان المشكلة الرئيسية فى تشغيل محطات تقطير مياه البحر هى تكون القشور التى تسببها بعض العناصر المذابة فى مياه البحر . ومع زيادة درجات الحرارة ودرجات التركيز ، تصبح بعض العناصر ، مثل كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنسيوم وسلفات الكالسيوم ، أقل قابلية للذوبان وترسب القشور مما يوجد بعض المشاكل . وعند تكون القشور تترسب عادة على أسطح تبادل الحرارة ، مما يزيد من المقاومة لنقل الحرارة . كما أنها قد تتراكم كذلك فى فتحات خطوط الانابيب وغيرها من ممرات التدفق ، ومن ثم تعوق تدفق سوائل المعالجة . وتؤدى المقاومة المتزايدة لنقل الحرارة وانخفاض ضغط السوائل ، على السواء ، الى زيادة مدخل الطاقة اللازم لكل وحدة من المياه المنتجة .

ومما يزيد من تكون القشرة درجات الحرارة ودرجات التركيز المرتفعة المستخدمه للحصول على كفاءات أعلى فى كثير من المحطات . ومن ثم فالتطورات التكنولوجية الحالية فى مجال التقطير تتركز أساسا حول طرق مكافحة القشور .

ويندرج تكون القشور فى عمليات التقطير الى فئتين رئيسيتين : قلوية ، وغير

قلوية . والقشور القلوية الهامة هى كربونات الكالسيوم وهيد روكسيد المغنسيوم ، اما القشور غير القلوية الرئيسية فهى أنواع مختلفة من سلفات الكالسيوم .

(أ) تكون القشور القلوية

يمكن ازالة القشور القلوية التى قد تتكون عند ارتفاع درجة حرارة أحد المحاليل الملحية الى أكثر من ٧٠°م (١٥٨° ف) باستخدام الوسائل الميكانيكية ، مثل التنظيف بالفرشاة أو التفجير المائى أو الصدمة الحرارية . ففى المحطات التى تعمل بالانابيب المغمورة ، أزيلت القشور المتكونة على الاسطح الخارجية للانابيب اما باغلاق الوحدات وتعريضها لصدمة باردة أو بتكسير القشور يدويا ، الا أن الطريقة الاكثر شيوعا هى اذابتها بواسطة تخفيض درجة تركيز أيونات الهيد روجين فى مياه التغذية من خلال اضافة الحامض . ويؤدى استعمال حامض منع التآكل الى تحلل القشور القلوية ويساعد على تقليل التلف فى المواد المستخدمة فى المحطة الى الحد الادنى .

ويمكن منع تكون القشور القلوية عن طريق التحكم فى الحرارة والتحكم فى درجة تركيز ايونات الهيد روجين واستعمال المضافات .

ويعنى التحكم فى درجة الحرارة لتقييد حرارة التشغيل العليا بحيث تكون فى حدود ٧٠° م (١٥٨° ف) أنه ما لم تستعمل كميات كبيرة من الاسطح الناقلة للحرارة ، سيكون عامل الاداء (الفعالية الحرارية) منخفضا . وكثيرا مايستعمل أنقاص درجة تركيز ايونات الهيد روجين للتحكم فى القشور ، الا انه من يصعب فى بعض الاحيان التحكم بدقة فى درجة تركيز ايونات الهيد روجين . ويمكن أن يؤدى التشغيل باستخدام درجة تركيز غير صحيحة لايونات الهيد روجين وذلك بسبب زيادة أو نقص التغذية بالحامض ، الى الحاق اضرار بالغة بالمواد المستعملة فى المحطة ، حتى اذا كان ذلك لايحدث الا لفترة قصيرة .

وهناك مجموعتان من المضافات يجرى استعمالهما حاليا هما : البوليفوسفات والبوليمر . وبدءا بالمحطات التى أنشئت فى مرحلة مبكرة استعملت المواد الكيميائية القائمة على البوليفوسفات لمنع تكون القشور . ورغم أن هذه المواد فعالة بوجه عام ، فانها تحد من درجات حرارة التشغيل العليا الى ما يقرب من ٨٢ الى ٨٨°م (من ١٨٠ الى ١٩٠° ف) ، بسبب التحلل الحرارى للبوليفوسفات فوق تلك للنقطة . وهذا التحديد لدرجة الحرارة ، يحد بدوره من الفعالية الحرارية للمحطة . وقد أحرز تقدم رئيسى فى استعمال الحامض (حامض السلفوريك بوجه عام) ، والذى أضيف الى مياه التغذية لتحليل البيكاربونات فى مياه البحر من أجل منع تكون القشور القلوية . وقد أتاح ذلك درجات للتشغيل تصل الى ما يقرب من ١١٣ الى ١٢١° م (من

٢٣٥ الى ٢٥٠° ف) قبل امكانية حدوث قشور من السلفات (وهو ما لا يمكن منعه بواسطة المضافات المعروفة) .

ويمنع البوليفوسفات تكون القشور من كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنسيوم، وان كان لا يحول دون ذلك تماما . فثمة نوع رقيق من الرواسب الطينية يتكون وهو يتطلب التنظيف بصفة دورية (باستخدام حامض الكبريتيك عموما) . ولقد كانت أحدى المحطات الاولى التى استخدم فيها الحامض بصورة تجارية هى محطة متعددة النتائج تعمل بالانابيب المغمورة التى تنتج ٩٥٠٠ م٣/يوم (٢٫٥ مليون غالون فى اليوم) والتى أنشئت فى اروبا عام ١٩٥٨ (واطسون، ١٩٧٦) . وقد استخدمت طريقة البوليفوسفات فى مكافحة القشور على نطاق واسع فى العديد من المحطات الكبرى فى الشرق الاوسط (ويد ، ١٩٧٩) ومنطقة الكاريبى .

وعلى الرغم من أن المحطات التى تستعمل الحامض قد تمكنت من تحقيق درجات عالية من الفعالية الحرارية، فانها تتطلب رقابة وتشغيل دقيقين . ويعجل الحامض بتآكل المواد ، لاسيما بعض المواد الاقل تكلفة مثل الصلب، والتى استخدمت فى محاولة لتقليل تكاليف المواد . ومع ذلك، فقد أصبحت محطات الوميض متعددة المراحل التى تستعمل الحامض أحد العروض القياسية فى الصناعة . اذا استطاعت بفضل فعاليتها النظرية العالية وتكلفتها الرأسمالية الاقل فى بعض الاحيان (بسبب تقليل السطح المطلوب لنقل الحرارة) أن تقف موقف المنافسة فى السوق العالمية الى ابعد حد . كما استعمل الحامض كذلك فى الاشكال متعددة النتائج وغيرها لاتاحة درجات حرارة تشغيلية أعلى .

وقد كانت نتيجة الاستعمال المكثف للمحطات التى تستعمل الحامض هى أن عددا كبيرا منها عانى اضرارا بالغة نتيجة لاستعمال الحامض فضلا عن ضعف التشغيل والتصميم و/أو المواد المختارة . ومع ذلك، فقد تم بالفعل تشغيل محطات تستعمل الحامض ولا تزال تعمل على أعلى مستوى .

والمشاكل الرئيسية التى تنشأ نتيجة لاستعمال جرعات من البوليفوسفات هى تكلفة المواد الكيميائية، والاهم من ذلك تحديد حرارة التشغيل العليا للمحطة . فحرارة التشغيل تحد من عامل الاداء الممكن ومن ثم تميل الى رفع تكلفة انتاج المياه .

ففى منتصف السبعينات، أدخل فى الصناعة استعمال البوليمرات العضوية (البولى الكتروليتات) لمكافحة القشور . ويبدو ان البوليمرات تعمل عن طريق منع البللورات وتشوية ما قد يتكون منها . ويقصد بها أن تكون بديلا للحامض ويفترض أنها سوف تمنع تكون القشور عند درجات الحرارة العالية للتشغيل دون احداث مشاكل التآكل المرتبطة بالحامض ، ويجرى حاليا تجميع خبرة التشغيل حول استخدامها . ويبدو أن النتائج الاولية مواتية للغاية . وتتيح امكانية تشغيلها عند درجات الحرارة العالية الحصول على عوامل اداء مرتفعة دون ما يرتبط بذلك

من تآكل شديد ومعالجة للمشاكل التى نواجهها فى المحطات التى تستعمل الحامض . وقد تم حاليا تصميم العديد من المحطات الضخمة فى الشرق الاوسط حول استعمال تلك البوليمرات . ورغم ثبوت فعالية استعمال المضافات بالنسبة لمختلف محطات الوميض متعدد المراحل ، فقد كان هناك بعض التفاوت فى النتائج بين المحطات والمواقع والمنتجات . ومن ثم قد لا يكون أحد المضافات ملائما دائما لاحدى المنشآت ، وينبغى توخى الحذر عند تخصيصها .

(ب) تكون القشور غير القلوية :

تتكون القشور غير القلوية أساسا من مركبات كبريتات الكالسيوم . والقشور الرئيسية التى يمكن أن تتبلور هى : أنهيد ريت كبريتات الكالسيوم (اللامائية) ، ود يميهيد ريت كبريتات الكالسيوم ، ود يهيد رات كبريتات الكالسيوم . ويعتمد تكون القشور غير القلوية على درجة حرارة وتركيز المحاليل الملحية .

وحيث انه كثيرا ما تستعمل اعادة دوران المحلول الملحى - مع ما فيها من زيادة فى عوامل التركيز - فى محطات الوميض متعدد المراحل عالية الاداء (عالية الحرارة) ، فان المحطات يمكن أن تكون عرضة لتكون قشور الكبريتات . وسخان المحلول الملحى هو أكثر الاجزاء قابلية للعطب حيث تحدث أعلى درجات الحرارة . فاذا سدت أنابيب سخان المحلول الملحى بأنهيد ريت كبريتات الكالسيوم (وهو أكثر الانواع شيوعا) ، يتطلب الامر استبدالها بوجه عام .

وعند ما تتكون القشور غير القلوية ، يصبح من الصعب للغاية ازالتها ، ذلك أنها صلبة جدا ويتعين ازالتها بطريقة ميكانيكية ، حيث انه لا يوجد مذيب معروف ومأمون الاستعمال يمكن استخدامه بالاضافة الى خليط من النحاس . وليست هناك فيما يتعلق بعمليات التقطير مضافات معروفة أو ضوابط لدرجة تركيز ايونات الهيدروجين كتلك المستعملة فى القشور القلوية لمنع تكون القشور غير القلوية . والطريقة الرئيسية لمنع تكون القشور هى تجنب التشغيل فى مدى التركيز والحرارة التى يمكن حدوثها فى ظلهما .

وقد جربت طرق أخرى أو اقترح تجريبها للحد من تكون أو تأثير القشور غير القلوية . وقد اكتسبت معظم الخبرات فى مجال استعمال طينة من حبوب كبريتات الكالسيوم توزع مع المحلول الملحى لتوفير مواقع تفضيلية للترسيب . واقترحت أنظمة أخرى لاستعمال كريات مسيلة صغيرة (فينمان وآخرون ، ١٩٧٨) وازالة أيونات الكبريتات أو الكالسيوم من مياه تغذية بمياه البحر باستخدام تبادل الايونات (دى مايو وآخرون ، ١٩٧٩) .

قابلية المحطة للتطبيق

يمكن تطبيق أشكال مكافحة تكون القشور التى نوقشت أعلاه على محطات الوميض متعدد المراحل فى المقام الاول . وفيما يتعلق بالمبخرات التى تعمل بالانابيب الافقية ، والمتعددة النتائج ، والتى تعمل بضغط البخار، والانواع ذات الاغشية المدلاة من المبخرات التى تعمل بالانابيب الرأسية ، فلابد وأن المضافات تكون بنفس درجة فعالية الحامض، بسبب الانخفاض البالغ فى اهتزازات الاغشية (ويد ، ١٩٧٩) ، وفى حالة المضافات الاخرى غير الحامض، يترسب راسب طينى يعوق معاملات نقل الحرارة بالغة الارتفاع.

٢ - السطح الناقل للحرارة

ترتبط فعالية المرحلة أو الناتج فى محطة ما ارتباطا مباشرا بفعالية الاسطح الناقلة للحرارة (الانابيب فى المقام الاول) ، وهى تتوقف على التصميم . وتعتمد فعالية نقل الحرارة بدورها على نوع المادة ، والمساحة ، وشكل الاسطح ، وسمك الانابيب، وسرعة المحلول الملحى ، ومدى اعاقة القشور لنقل الحرارة (عند التشغيل) .

ويمكن تحسين فعالية الاسطح الناقلة للحرارة فى الانابيب عن طريق تنويع شكلها . وهناك طريقتان كثيرا ما يجرى استعمالها وهما تحزيز وربط الانابيب الناقلة للحرارة . وتستعمل الانابيب المحززة فى المبخرات التى تعمل بالانابيب الرأسية ، حيث يتكثف البخار فى الخارج وتتبخر المياه الملحة فى الداخل . ويؤدى التحزيز الذى يكون مرتفعات ومنخفضات على جدار الانبوب توازى خط المركز فى الانبوب، الى تدفق ناتج التكثيف من المرتفع الى المنخفض، تاركا المرتفعات جافة نسبيا ومن ثم يكون معامل الاغشية فيها مرتفعا (يوركشر امبريال ميتالز، ١٩٧٦). وهذا من شأن أن يحسن من نقل الحرارة .

وتستعمل الانابيب المربوطة فى بعض اقسام استرداد الحرارة بالوميض متعدد المراحل حيث تكثف الانابيب الافقية البخار فى الخارج بينما تسخن مياه تغذية بمياه البحر فى الداخل . وتتكون الانابيب على هيئة أخدود حلزونى ، يؤدى الى حدوث بعض الاضطراب فى التدفق داخل الانبوب، مما يوقف تدفق مياه البحر المتاخمة للجدار الداخلى للانبوب . وهذا من شأن أن يزيد من معامل نقل الحرارة .

٣ - مواد البناء

ان العنصر الذى يؤثر على نحو خطير للغاية فى تكلفة رأس المال والعمر النهائى لمحطات التقطير هو انتقاء مواد البناء . ذلك ان محطات تقطير مياه البحر

تتعرض لدرجات حرارة عالية ، ومحاليل ملحية مركزة ، ومواد كيميائية أكالة فى كثير من الاحيان . وهى تقع بوجة عام على شواطئ البحار ، حيث تتعرض لبيئة ملحية عالية الرطوبة .

وقد وجد أن العديد من المواد التى استخدمت على نحو مرض فى الوحدات الموجودة على ظهر السفن غير ملائمة للمنشآت الارضية ، بسبب الاختلافات في مياه التغذية . فكثيرا ما احتوت مياه التغذية فى الوحدات الارضية على طمى ورمال أزالت الطبقات الواقية المغلقة للنحاس والبرونز فى الاجزاء الداخلية من المحطة ، مما أضعف بشدة من أداء هذه المنشآت وقلل من عمرها الافتراضى .

وغالبا ما يتأثر بشدة الانتقاء النهائى للمواد بالقيود الشاملة لتكلفة رأسمال المشروع . ومع ذلك ، فانه أيا كانت الوفورات التى يمكن تحقيقها فى التكاليف الاولية باستعمال مواد أقل تكلفة ، فان الاصلاحات وعمليات الاحلال وفاقد الانتاج قد تأتى على مايعادلها عدة مرات .

ويعتبر التيتانيوم وخليط النحاس والنيكل والنحاس الاصفر المقوى بالالومنيوم والفولاذ الكربونى هى أكثر المواد شيوعا من حيث الاستعمال فى مختلف أجزاء المبخر بمحطات الوميض متعدد المراحل . ويتعين انتقاء المواد بعناية وفقا للعملية المنتقاه والمواد الاخرى المستعملة والبيئة . ويلزم عند شراء و/أو تصميم أى محطة للتقطير الاسترشاد برأى الخبراء فى انتقاء المواد .

٤ - التآكل

التآكل هو أكثر من مجرد صدأ . وقد عرف بأنه "تردى مادة معينة (معدنية فى العادة) بسبب حدوث تفاعل بينها وبين البيئة المحيطة بها" (بوسيش، ١٩٧٠). وهناك عدة أنواع من التآكل فى أى محطة للتقطير، وتتسبب جميعها فى حدوث مشاكل فى التشغيل أو الصيانة من نوع أو آخر مما يقلل من عمر الوحدة .

ويتوقف نوع التآكل ومداه فى المقام الاول على المواد المختارة لمكونات المحطة ومدى اتساقها . ولذلك فان تصميم المواد وانتقائها وتصنيعها فى محطة للتقطير هو أمر خطير بالنسبة لادائة ككل ولاطالة عمره . وبسبب ما ينطوى عليه ذلك من تعقيدات ، فانه من الصعب للغاية التنبؤ بكيفية صمود بعض التغييرات فى الصناعة أو المواد فى ظل الخدمة الممتدة . وهذا هو أحد أسباب اصرار العديد من المشترين لوحدات ازالة الملوحة بأن تكون لدى الشركة الصانعة خبرة سابقة فى بناء وحدات من النوع المحدد وأن تكون لديها وحدة بنفس الطاقة تقريبا يجرى تشغيلها لفترة لا تقل عن عام .

المرفق الثانى

الد يلزة بالكهربـــاء

ألف - خلفيـــة تقنيـة

تقوم ازالة الملوحة بواسطة الد يلزة بالكهرباء على المبادئ التالية :

(أ) معظم الاملاح المذابة فى المياه ذات طابع أيوني ؛

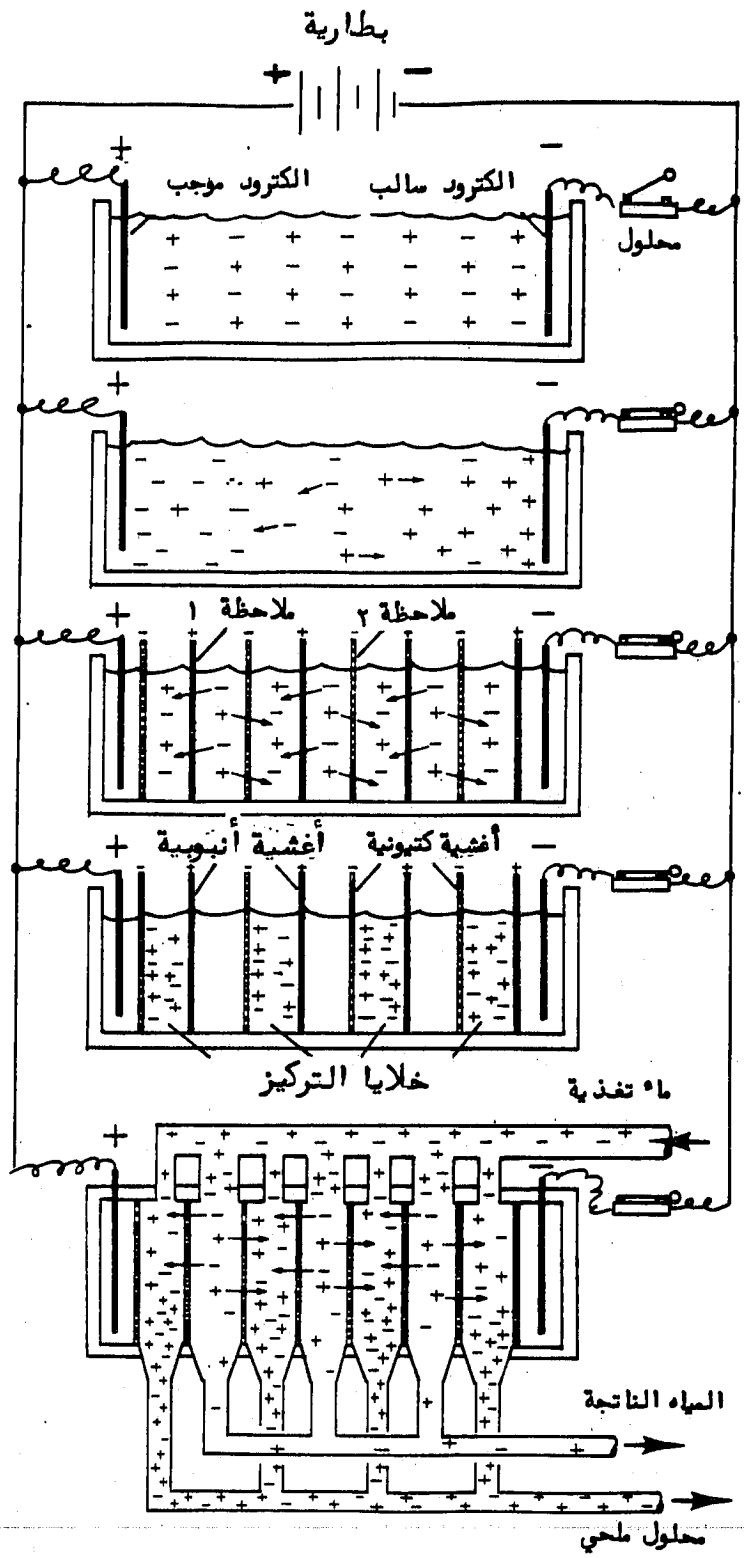
(ب) تجتذب هذه الاملاح الموجبة الشحنة أو السالبة الشحنة بواسطـــة شحنة كهربائية مضادة ، أى أن الايونات الموجبة (الكاتيونات) سوف تجتذب الـــى قطب أو الكترود سالب؛

(ج) يمكن ابتكار أغشية تكون انتقائية من حيث نوع الايون المشحون الـــذى ستسمح بتمريره أو رفضه ، أى أنه يمكن صنع أغشية تتيح مرور الايونات السالبـــــة (الانيونات) ولكنها ترفض الكاتيونات . ويشار الى هذا النوع من الاغشـــــية باسم الغشاء المنفذ للانيونات، فى حين يطلق على الغشاء الذى يرفـــــض الانيونات اسم الغشاء المنفذ للكاتيونات.

١ - مبادئ طبيعية

تعتبر معظم العناصر الذائبة فى الماء الملحى ذات طابع أيونـــــى . تنفصل هذه العناصر وتنتشر فى المياه ، وبذلك تبطل شحناتها الفرد ية تمامـــا (انظر الشكل السادس عشـر) . فعند ما توضع الالكترودات، بعد توصيلهـــا بمصد ر خارجى للتيار المباشر، فى احدى حاويات المياه الملحة ، يسرى التيـــار عبر المحلول (وهو الكتروليت معتدل بسبب الاملاح المتأينة) ، وتتجه الايونـــات للنزوح الى الالكترودات الحاملة للشحنة المضادة . وهكذا فان الانيونات مثـــل الكلوريد (-كل) تنزح نحو الالكترود الموجب، بينما تنزح الكاتيونات مثـــل الصود يوم (+ نا) نحو الالكترود الســالب.

وبغية استخدام هذه الظاهرة فى ازالة ملوحة المياه ، توضع الاغشية الـــتى ستتيح مرور الكاتيونات أو الانيونات (وليس كليهما) فى المحلول بين الالكترودات . ويتم ترتيب هذه الاغشية بالتبادل ، أى غشاء انتقائى للانيونات يليه غشاء انتقـــائى للكاتيونات . وعند شحن الالكترودات، تحول الانيونات من مجرى المنتج الرئيســى وتمر عبر الغشاء الانتقائى للانيونات الى خلية التركيز (أو المحلول الملحى) . وتمنع الانيونات من الانتقال عبر جدار الوعاء المجاور، حيث انه غشاء انتقائى للكاتيونـــات وهو يحول دون مرورها . كذلك تنتقل الكاتيونات من مجرى التخفيف فى الجـــانب



تعتبر كثير من المواد المكوّنة لاجمالي الجوامد الذابة في المياه الضاربة الى الملوحة الكترودات قوية . وهي تتأين عندما تذاب في الماء، بمعنى أن المكوّنات تتحلل الى أيونات تحمل شحنة كهربائية. وهذه الأيونات تجتذب جزيئات المياه الثنائية القطب وتنشرها فيبي حينها في المحلول بأكمله ، بالتساوي .

اذا وضع الكترودان في محلول وتم تنشيطهما بواسطة بطارية أو تيار أخر مباشر، ينتقل التيار في المحلول بواسطة الجزيئات المشحونة وترتحل الأيونات نحو الكترود الشحنة المضادة .

اذا كانت الأغشية المشحونة بشحنات ثابتة على التوالي (المنفذة لأيونات الشحنة المضادة بصورة انتقائية) موضوعة في طريق الأيونات المرتحلة ، فستكون الأيونات حبيسة الخلايا المكونة على التوالي .

ملاحظة ١ : سوف تسمح الأغشية المشحونة بشحنات توجبه ثابتة (الأنيونية) للأيونات السالبة بالمرور، ولكنها ستصدر الأيونات الموجبة.

ملاحظة ٢ : سوف تسمح الأغشية المشحونة بشحنات ثابتة سالبة (كتيونية) للأيونات الموجبة بالمرور، ولكنها ستصدر الأيونات السالبة.

اذا استمر هذا ، ستصبح جميع الأيونات تقريبا حبيسة الخلايا المتعاقبة (خلايا التركيز) . أما الخلايا الاخرى التي تفتقر الى الأيونات فسيكون بها عناصر مذابة منخفضة المستوى وستتميز بدرجة عالية من مقاومة التيار المتدفق .

هذه الظاهرة الموضحة أعلاه تستخدم في عملية الديلزة بالكهرباء لازالة الأيونات من المياه المالحة الواردة بصورة متصلة وتدخل ماء التغذية خلايا التركيز وخلايا الانتاج على السواء . وترتحل ما يقرب من نصف الأيونات الموجودة في خلايا الانتاج وتكون حبيسة خلايا التركيز. وينتج عن هذه الوسيلة تيارين ، الأول خاص بالمحلول الملحي المركز، والثاني خاص باجمالي الجوامد المذابة مع درجة تركيز أقل بكثير (الماء الناتجة) .

الشكل رقم ١٦ - حركة الأيونات في عملية الديلزة بالكهرباء

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

الآخر من الغشاء الانتقائى للكاتيونات الى خلية التركيز . وهنا تمنع من مواصلة التقدم نحو الالكترود السالب عن طريق الغشاء الانتقائى للانيونات . وبواسطة هذا الترتيب، تتكون المحاليل المركزة والمخففة فى الفراغات الواقعة بين الاغشية المتبادلة . ويطلق على تلك الفراغات، التى يربط بينها غشاءان (أحدهما أنيونى ، والآخر كاتيونى) اسم الخلايا . ويتكون أى زوج من الخلايا من خليتين ، واحدة نزحت منها الايونات (خلية تخفيف المياه المنتجة) والاخرى هى التى تتركز فيها الايونات (خلية تركيز لمجرى المحلول الملحى) .

والشبكة (أو المجموعة) النموذجية بها عدة مئات من أزواج الخلايا (خلية تخفيف وخلية تركيز) ، وذلك حتى تكون نسبة الايونات المنقولة من مجرى التغذية بالقياس الى التيار الذى تحملة الايونات بين الالكترودات كبيرة للغاية .

وعند التشغيل ، تمر مياه التغذية فى وقت واحد فى ممرات متوازية عبر جميع الخلايا لتوفير تدفق مستمر من المياه المنتجة ومجرى المحلول الملحى ، وهكذا يجرى تنظيف الايونات المركزة .

٢ - عناصر وحدة الديلزة بالكهرباء

تتكون وحدة الديلزة بالكهرباء من العناصر الاساسية التالية : مصدر طاقة (مقوم) للتيار المباشر، ومجموعة (أورصيصة) الاغشية ، ومضخة ومعدات للتوزيع، ومعالجة تحضيرية . وهذه العناصر موضحة فى الشكل السابع عشر.

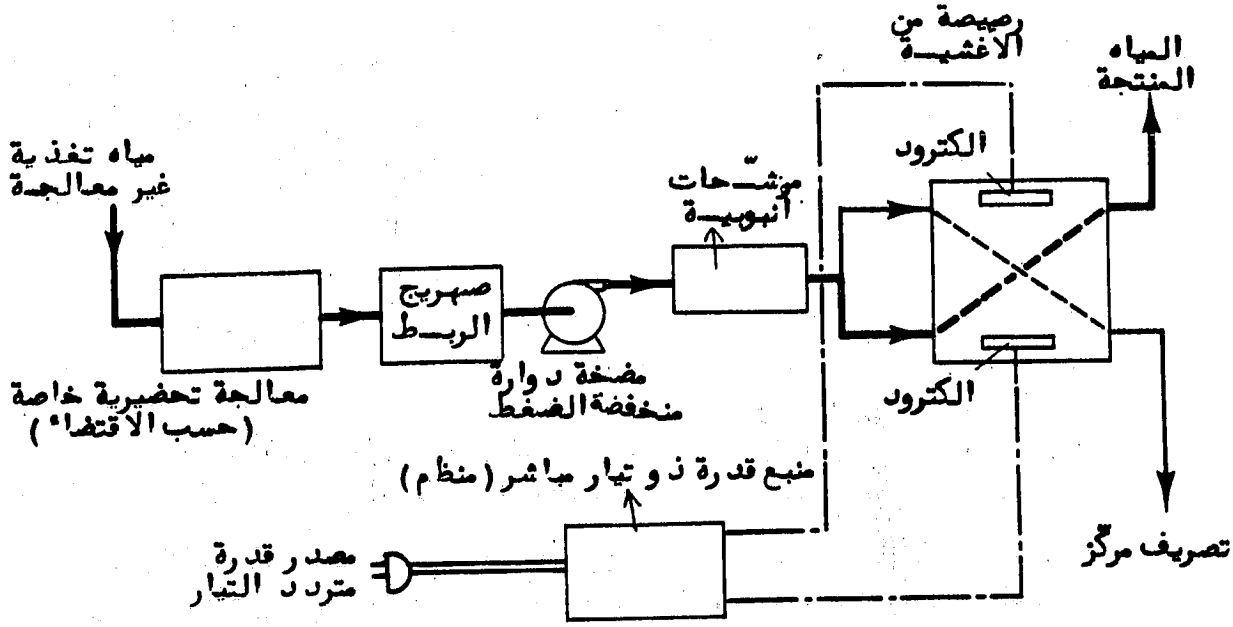
(أ) مصدر طاقة (مقوم) للتيار المباشر:

ان العنصر الرئيسى فى توفير الطاقة هو عادة مقوم يحول التيار المتردد الى تيار مباشر. وينشر التيار المباشر على الالكترودات فى مجموعة الاغشية لنقل الايونات من مجرى التغذية .

(ب) مجموعة (أو رصيصة) الاغشية :

تتضمن المجموعة الالكترودات، والاغشية (المنفذة للانيونات والكاتيونات على السواء) ، والفلكات، وأنابيب المياه اللازمة لنقل المياه من المجموعة واليها ، والمعدات اللازمة لتماسك أجزاء المجموعة .

والاغشية عبارة عن صفائح مسطحة تصنع فى العادة من أغشية من البلاستيك مكسية بنسيج من الدينيل أو الزجاج أو مادة أخرى لتقويتها . وتضاف مواقع نقل الايونات الى الاغشية ، مع اختلاف شحنة الموقع بين الاغشية المنفذة للانيونات وتلك



الشكل رقم ١٧ – العناصر الأساسية لوحدة الديلزة بالكهرباء

المصدر : هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية . مأخوذ من
O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980)

المنفذة للكاتيونات، وذلك لاعطاء كل نوع الخصائص اللازمة لتمرير اما الانيونات أو الكاتيونات على نحو انتقائي .

ويتوقف سمك الغشاء على الاستعمال ، كما أن اختياره هو يمثل نوع من المبادلة بين خصائص الاغشية . وعادة ما تتميز الاغشية الاكثر سمكا بقوة أكبر وبزيادة مقاومتها للتآكل وطول عمرها ، بينما الاغشية الاقل سمكا تكون مقاومتها الكهربائية أقل وبالتالي تنخفض متطلباتها من الطاقة، ويبلغ السمك النموذجي للاغشية حوالي ٠٫٥٦ ميلليمترا (أي ٠٫٠٢٢ بوصة) .

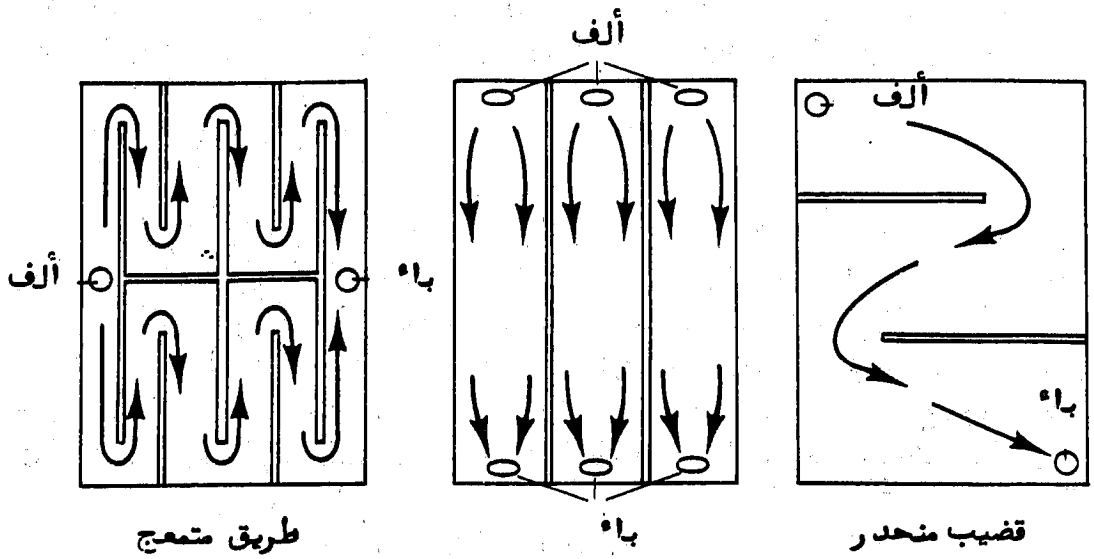
وتتألف الخلايا من غشاءين بينهما فلكة . وهي تأخذ شكل مجموعة متعاقبة من خلايا التركيز والتخفيف . ويمكن تشكيل الفلكات لتوفير أنواع مختلفة من مسارات الدفق . ويعد الدفق عن طريق الصفائح والدفق عن طريق المسار المضطرب من أكثر التصميمات المستعملة شيوعا ، الا أن هناك دراسات تجرى حاليا حول استعمال الفلكات الطوقية المائلة، وهي تعديل للمسار المضطرب (ماتسون ولوند ستروم، ١٩٧٩) . وهذه الانواع الثلاثة من الفلكات موضحة في الشكل الثامن عشر.

ويتطلب الامر زوجا واحدا من الالكترودات لكل مرحلة كهربائية، مع وجود مرحلتين هيدروليتين نموذجيتين لكل مرحلة كهربائية . ويحدث نوع من التفاعل في كل الكترود . فأيونات الهيدروجين وغاز الاوكسجين و/ أو الكلوريد تتكون عند الانود (الالكترود الموجب) ، بينما يتكون غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيل عند الكاثود (ميسون وكيركهام، ١٩٥٩) . وحيثما يمكن أن تؤدي الزيادة في درجة تركيز ايونات الهيدروجين (عند الكاثود) الى تكون راسب من الكالسيوم أو المغنسيوم كثيرا ما يضاف حامض الى مجرى الالكترود للابقاء على حامضية مجرى الكاثود والاحتفاظ بالراسب في صورة محلول .

وفي عملية الدبلزة بالكهرباء الانعكاسية (**الوارد وصفها أدناه**) ، **يعكس** الانود والكاثود كهربيا عدة مرات في الساعة، مما يغير البيئة عند الالكترودات بصورة متعاقبة من حامضية الى قاعدية بصورة منتظمة . ويعمل هذا على الاقلال بشدة من تكون القشور.

(ج) <u>مضخة التوزيع</u>

في عملية الدبلزة بالكهرباء، لاتستخدم المضخة المائية الا لتوزيع المياه خلال مجموعة الاغشية (أو الرصائص) . وهناك حاجة بوجة عام الى ضغط للضخ يتراوح بين حوالي ٣٫٥ الى ٥ وحدات ضغط جوى (أي ما يعادل ٥١ الى ٧٤ رطلا للبوصة المربعة) فقط . ويقل هذا بكثير عن المطلوب في عملية الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة . وبسبب ما تنطوي عليه تلك العملية من



الشكل رقم ١٨ – ثـلاثة أنواع من الفلكات الباعدة

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية . مأخوذ من :

O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980)

ضغوط منخفضة ، يمكن صنع مجموعة أنابيب التوصيل والصمامات ، الخ بمواد ودرجات تحمل تلائم المدى الاقل انخفاضا للضغط . وقد أتاح ذلك استعمال أعداد كبيرة من الانابيب والتجهيزات القياسية المصنوعة من البلاستيك . ويوفر استعمال الانابيب المصنوعة من البلاستيك مزايا يتعلق بانخفاض التكلفة (بالمقارنة بالصلب الذى لا يصدأ ، الخ) ، والمقاومة العالية للتآكل فى بيئة ملحة ، وسهولة الانشاء .

(د) المعالجة التحضيرية

يلزم اجراء درجة معينة من المعالجة التحضيرية لامدادات مياه التغذية بغية اعدادها لازالة الملوحة فى مجموعات الاغشية (أو الرصائص) . وتتوقف المعالجة التحضيرية على المياه التى تجرى معالجتها بالتحديد ، الا انها عادة ما تتضمن ازالة المواد الصلبة المعلقة أو الذائبة والتى يمكن أن تؤثر بصورة عكسية على سطح الاغشية أو تسد المسالك الضيقة فى كل خلية ميكانيكيا . ومع وجود عملية الدیلزة بالكهرباء الانعكاسية ، تقل كثيرا الحاجة الى المعالجة التحضيرية القياسية .

باء - وصف العملية

ان العمليتين الرئيسيتين المستخدمتين حاليا على الصعيد التجارى هما الدیلزة بالكهرباء ، والدیلزة بالكهرباء الانعكاسية .

١ - الدیلزة بالكهرباء

كما ورد آنفا ، يتم فى هذه العملية ضخ مياه التغذية الى مجموعات الاغشية ، حيث تمر عبر الخلايا الواقعة بين الالكترودات . وتوفر الشحنة الكهربائية على الالكترودات القوة اللازمة لحث الايونات على النزوح عبر الاغشية من مجرى مياه التغذية الرئيسية الى مجرى المحلول الملحى المركز . ويتم نقل التيارين - المياه المنتجة والمحلول الملحى - باستمرار من مجموعات الاغشية فى خطوط الانابيب الخاصة بكل منهما .

وكثيرا ما يتطلب هذا النظام اضافة حامض و/أو بوليفوسفات الى مجرى المحلول الملحى من أجل منع ترسيب الاملاح القابلة للذوبان على نحو ضئيل فى مجموعات الاغشية . وللمحافظة على الاداء ، تحتاج مجموعات الاغشية الى التنظيف بصورة دورية لازالة القشور وغيرها من الاشياء الملوثة للسطح . وفى معظم وحدات الدیلزة بالكهرباء ، يتم ذلك بطريقتين : (أ) التنظيف الموضعى (ب) وتفكيك مجموعة الاغشية . فباستخدام نظام التنظيف الموضعى ، تنشر محاليل خاصة

للتنظيف عبر مجموعات الاغشية . وتساعد هذه المحاليل على التنظيف الا أن المجموعات تحتاج ، بصورة دورية ، الى تفكيكها وتنظيفها ميكانيكيا لازالة القشور وغيرها من الاشياء الملوثة للسطح . وبوجه عام ، لاتستخدم هذه الوحدات نظاما للتنظيف الموضعى تقصر فيه الفترة الفاصلة بين مرات تفكيك المجموعة .

٢ - الدیلزة بالكهرباء الانعكاسية

تعمل العملية الانعكاسية على أساس نفس المبادئ الاساسية لوحدة الدیلزة الكهربائية القياسية ، باستثناء أن كلا من خلايا المنتج والمحلول الملحى متطابقة من حيث التركيب . فعلى فترات تتراوح بين ١٥ الى ٢٠ دقيقة ، تعكس قطبية الالكترودات ويتم تحويل التدفقات فى الحال بواسطة صمامات آلية فى المجموعات بحيث تصبح خلية المنتج هى خلية المحلول الملحى وتصبح خلية المحلول الملحى هى خلية المنتج . وهكذا تنتقل الاملاح فى الاتجاهات المضادة عبر الاغشية .

وعقب عكس القطبية والتدفق ، تصرف المياه المنتجة حتى تنظف الخلايا والمسارات وتسترد نوعية المياه المطلوبة . ويستغرق هذا من دقيقة الى دقيقتين على وجه التقريب . وتساعد العملية الانعكاسية على تفتيت القشور والاقذار وغيرها من الرواسب وكسحها من الخلايا .

وتقضى هذه الحركة الآلية للتنظيف على الحاجة الى اضافة الحامض و / أو البوليفوسفات ، ويقل تكون القشور فى أقسام الالكترود بسبب التعاقب المستمر فى البيئة من قاعدية الى حامضية . ويؤدى هذا بدرجة كبيرة الى مد الفترات الفاصلة بين وظيفة تفكيك المجموعة التى تستغرق وقتا طويلا واعادة التجميع . والنتيجة العامة هى تقليل الوقت اللازم للصيانة .

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية

١ - الاستعمال المحدد للطاقة

تتعلق الاستعمالات الرئيسية للطاقة فى وحدة الدیلزة بالكهرباء بتزويد مجموعة الاغشية بشحنة كهربائية ، وبضخ المنتج والتيارات المتبددة عبر مجموعات الاغشية . وخلاصة القول ان الطاقة الكهربائية المستعملة فى مجموعة الاغشية تبلغ ٠ر٧ كيلوواط ساعة /م^3 (أى ٥ر٢ كيلوواط ساعة لكل ١٠٠٠ غالون) من الناتج لكل ١٠٠٠ جزء فى المليون من اجمالى المواد المذابة التى تتم ازالتها . ويتعين أن يضاف الى هذا حوالى ٥ر٠ الى ٠ر١ كيلوواط ساعة /م^3 (أى مايتراوح بين ٩ر١ الى ٨ر٣ كيلوواط ساعة لكل ١٠٠٠ غالون) لضخ المنتج عبر مجموعة الاغشية ، ونسبة

اضافية تبلغ ٥ في المائة من الاستهلاك الكلي للطاقة لتعويض الخسائر في منبع القدرة . وبوجه عام، يتناسب الاستعمال العام للطاقة مع كمية المواد الصلبة المذابة التي تتم ازالتها في العملية .

وفيما يتعلق بأي نوع من المياه، تتوقف فعالية العملية على عدة عوامل من بينها : فعالية المحركات والمضخات والمقومات، الخسائر في مجموعات الاغشية، ودرجة حرارة المياه . ولا تتحقق فعالية المحركات والمضخات عن طريق الفعالية الكهربائية والميكانيكية فحسب، بل عن طريق ملائمة المحرك أو المضخة للاستعمال ولا يمكن دائما تحقيق ملاءمة مثالية للعناصر داخل نطاق مجموعة الوحدات المتاحة تجاريا .

ولا تكف الشركات الصانعة عن اجراء البحوث حول طرق التقليل من خسائر مجموعة الاغشية عن طريق ادخال تطورات مثل استحداث اغشية أقل سمكا وأقل مقاومة، وفلكات أقل سمكا لدفق المياه، وايجاد مسارات دفق داخل الفلكات .

وتؤثر درجة حرارة المياه على قدرة التوصيل في الخلايا، فعند ارتفاع درجة الحرارة، تزيد قدرة التوصيل ومن ثم تنخفض المقاومة (واستهلاك الطاقة) داخل مجموعة الاغشية . ويرتفع معدل ازالة المعادن بنسبة تزيد قليلا عن ١ر٨ في المائة لكل درجة حرارة مئوية (أي ١ في المائة لكل درجة فهرنهايت) . والعديد من أغشية الديلزة بالكهرباء تكون ثابتة حتى ٣٨°م (١٠٠°ف) وهي كثيرا ما تعمل عند هذه الدرجة من الحرارة أو قريبة منها في حالة توافر طاقة حرارية منخفضة الدرجة نسبيا بتكلفة قليلة . ورغم ذلك، فزيادة درجة الحرارة تؤثر في المقام الاول على استهلاك الطاقة في مجموعات الاغشية وليس في المضخات وغيرها من العناصر . وفي الحالات التي يكون فيها استخدام الطاقة بواسطة الضخ عاليا بالقياس الى استعمال مجموعة الاغشية، تحدث التغييرات في درجة الحرارة تأثيرا طفيفا نسبيا على استهلاك الطاقة . وهكذا فان تأثير درجة الحرارة يكون أكثر وضوحا في محطات الجوامد المذابة الاجمالية العالية والاكبر حجما عنه في منشآت الجوامد المذابة الاجمالية المنخفضة والاقل حجما .

٢ - المعالجة التحضيرية

في عملية الديلزة بالكهرباء، شأنها شأن الاوزموزية العكسية، قد تشتمل المعالجة التحضيرية للمياه لازالة الجوامد المعلقة وجود مرشحات رملية أو مرشحات انبوبية مصنوعة من القطن أو البولي بروبيلين أو غيرها أمام الاغشية . وتستعمل المرشحات الانبوبية بدرجة أكبر كمرشح مأمون وهي ليست معدة لتحمل العبء الرئيسي للترشيح في المياه التي تزيد فيها نسبة الجوامد .

وقد يضاف حامض أو عامل مانع مثل البوليفوسفات الى مجرى المحلول الملحى لخفض درجة تركيز أيونات الهيد روجين و/أو التقليل من ترسيب الجوامد القابلة للذوبان بدرجة خفيفة . وتعد المتطلبات العامة للمعالجة التحضيرية فى عملية الدبلزة بالكهرباء أقل دقة الى حد ما عن مثيلتها فى الاوزموزية العكسية ، وذلك بسبب طبيعة فصل الاملاح والعدد الاكبر من المسالك المتاحة . وتقلل عملية الدبلزة بالكهرباء الانعكاسية من الحاجة الى المعالجة التحضيرية الكيميائية فيما يتعلق بالعديد من الاستعمالات ، الا أن ازالة الجوامد العالقة والحديد والمنغنيز لاتزال أمرا حاسما لتجنب الانسداد و/أو غيره من المشاكل المتعلقة بالنظام . وبطبيعة الحال ، يلزم فى كل حالة اجراء فحص دقيق لمياه التغذية المنظورة لتحديد درجة الملاءمة والمعالجة التحضيرية . كما أن كبريتيد الهيد روجين قد يمثل بدوره مشكلة حيث يمكن أن يتأكسد فى مجموعة الاغشية ، مخلفا وراءه رواسب كبريتية .

وقد تكون المعالجة التحضيرية ضرورية كذلك للحيلولة دون تكون أو ترسب نتاج عضوى (تلوث) على الاسطح الداخلية لمجموعة الاغشية . فتلك الاسطح توفر بيئة صالحة لنمو هذه النواتج اذا ما وجدت مادة ملائمة تكفى لتأيضها فى مياه التغذية . وقد تتخذ خطوه التطهير بالكلور ثم ازالتة اذا كان حجم المشكلة كبيرا بدرجة كافية ، والا يجرى التخلص من التلوث العضوى فى خطوة التنظيف . وتعتبر خطوة ازالة الكلور ضرورية لحماية الاغشية من التعرض المستمر للكلور الحر . وثمة طريقة أخرى استعملت لازالة النتاج البكتيرى فى مجموعة الاغشية وهى معالجة المحلول بالرج لفترات زمنية قصيرة . وقد ثبتت فعالية هذه الطريقة .

٣ - المعالجة اللاحقة

تتوقف المعالجة اللاحقة على نوع مياه التغذية والمعالجة التحضيرية المتاحة عند الانشاء . ففى حالة وحدات الدبلزة بالكهرباء الانعكاسية ، يمكن عادة أن تقل كمية المعالجة اللاحقة الى مجرد عملية تطهير .

٤ - توفير المعدات المثلى

عند تحسين تصميم وانشاء احد المرافق ، ينبغى تحقيق موازنة بين المعدات المشتراة والطاقة المستعملة - وحيث ان كمية الجوامد المذابة تتناسب مع التيار المستخدم ، فكلما ارتفعت كثافة التيار ، امكن ازالة الملوحة بدرجة أكبر فى نطاق معين من الاغشية وقل استثمار رأس المال .

وتحد آثار الاستقطاب من امكانية زيادة معدل ازالة الجوامد الذائبة فى وحدة الطاقة الى الحد الامثل بواسطة زيادة استعمال التيار . ويحدث الاستقطاب أثناء الدليزة الكهربائية لخلايا التخفيف (أو المنتج) عند حدوث معدل عال بما فيه الكفاية لنقل الايون ، بغية استنزاف الايونات الموجودة فى المياه المتاخمة للغشاء . ويقلل هذا من القيمة التوصيلية للمياه (الالكتروليت) ، كما تزيد المقاومة زيادة حادة ، مما ينتج عنه زيادة استعمال الطاقة فى مجموعة الاغشية .

وعند ما لا تكون هناك أيونات فى الطبقة المتاخمة ، يؤدى استمرار كثافة التيار العالى الى تفكك جزئيات المياه المتاخمة للاغشية وانتشار أيونات الهيد روجين والهيد روكسيل عبر الاغشية . وعند دخول هذه الايونات الى خلية التركيز ، تقوم بتعديل درجة تركيز ايونات الهيد روجين ، وفى حالة غشاء نقل الانيون يمكن أن يؤدى ذلك الى زيادة درجة تركيز ايونات الهيد روجين ، الامر الذى سيشجع على تكون قشور من الرواسب مثل كربونات الكالسيوم وتكون طبقة من الغاز عالى المقاومة على سطح الغشاء (ميسون وكيركهام ، ١٩٥٩) .

وقد أدت المشاكل المرتبطة بالاستقطاب الى الحد من كثافات التيار التى يمكن الحصول عليها فى التطبيق العملى . وفى محاولة لزيادة كثافة التيار التى يصبح الاستقطاب عندها مشكلة خطيرة ، قامت بعض الشركات الصانعة باستخدام معززات الاضطراب فى الفلكات . وتحدث هذه المعززات اضطرابا على سطح الغشاء وتنزع الى تحطيم الطبقات المتاخمة متيحة بذلك الحصول على كثافات أعلى للتيار .

٥ - مشاكل التشغيل

يمكن مواجهة مجموعة من مشاكل التشغيل فى مرافق الدليزة بالكهرباء ، وفيما يلى سردا لبعض المشاكل الرئيسية :

(أ) تكون القشور

تتكون القشور فى مجموعات الاغشية بسبب الاستقطاب أو تشبع فى مجرى المحلول الملحى المفرط أو غير ذلك من العوامل . وتلوث القشور أسطح الاغشية وتسد المسالك فيما بينها (مما يغير من أنماط التدفق) ، وتخلق مناطق للمقاومة . وتحدث هذه المناطق عالية المقاومة ، التى تسمى "النقاط الساخنة" عند ايقاف مياه التغذية أو ابطاء حركتها عند مرورها عبر خلية المنتج . وعندئذ تصبح المياه بطيئة الحركة خالية من الملوحة الى أعلى درجة بسبب تعرضها لفترة أطول للقوة الحركية الكهربية . وتتسم المياه الخالية من الملوحة بانخفاض قدرتها التوصيلية وتتيح مقاومة

عالية لتدفق التيار . وقد تؤدى النقاط الساخنة الى استهلاك الطاقة الزائدة والتقليل من فعالية مجموعة الاغشية .

ويمكن ازالة بعض القشور بواسطة استعمال مواد كيميائية خاصة كالاحماض فى مجموعات الاغشية فى محاولة لاذابة أو تليين القشور بحيث يمكن تنظيفها . وفى الحالات الاشد ، يتم تفكيك مجموعة الاغشية وتنقع الاغشية والمباعدات في المحلول للتنظيف و/أو تدعك لازالة القشور . ويتم تصميم المجموعات بحيث يمكن تفكيكها بسهولة واجراء عملية التنظيف هذه . بيد أن عملية التفكيك تستغرق وقتا طويلا بسبب ما تتضمنة من أعداد كبيرة من الاغشية والمباعدات

(ب) الارتشاح

يمكن حدوث مشاكل فى التشغيل و/أو الصيانة لوجود ارتشاح فى جزئين من مجموعات الدليزة بالكهرباء وهما : (أ) فيما بين الاغشية والمباعدات . (ب) عبر الاغشية .

وحيث انه يتم تجميع المجموعات التى تستخدم الاغشية والمباعدات ذات الممرات المتعرجة بطريقة تشبة الى حد كبير مجموعة اوراق اللعب، دون مادة أو أطواق خاصة مانعة للتسرب ، فان قدرة المجموعة على أن تظل مانعة لتسرب الماء تتوقف على ملاءمة المواد بعضها بعضا بدرجة كبيرة ، التي تتوقف بدورها على تماثل سمك المباعدات والأغشية وعلى انضغاط المجموعة بصورة موحدة . ويمكن أن يمثل هذا مشكلة ، حيث تحتوى بعض المجموعات على مجموع يتراوح بين ١٢٠٠ الى ١٨٠٠ غشاء مباعدة (أى من ٣٠٠ - ٤٥٠ زوجا من الخلايا) .

ويمكن أن يحدث ارتشاح آخر من خلال الشقوق أو التمزقات في الأغشية أو المباعدات نتيجة لوجود عيوب فى الصناعة ، أو لسوء الاستعمال ، أو الضغط الزائد للمجموعات ، أو قدمها وغير ذلك من الاسباب . وعادة ما تكون النتيجة الفورية هى اختلاط المياه بين خلايا التخفيف والتركيز ، والمحصلة النهائية هى انخفاض نوعية المياه المنتجة . وفى الظروف العادية ، يتم تشغيل المجموعات باستخدام ضغط أكبر قليلا على جانب المياه المنتجة للحيلولة دون حدوث هذا الامتزاج .

(ج) تآكل الالكترودات:

تقوم الالكترودات عند كل من طرفى المرحلة الكهربائية داخل احدى المجموعات بتوزيع التيار على الاغشية . وهذه الالكترودات عبارة عن صفائح مسطحة من المعدن (مثل النيوبيوم أو التيتانيوم) أو الكربون ، وهى عادة ما تكون مطلية

بالبلاتين أو (في حالة الكاثودات) بالصلب الذى لا يصدأ . وفى عملية الد يلـزة بالكهرباء الانعكاسية ، يطلى الالكترودان بالبلاتين ، اذ يتناوبان بوصفهما كاثود وآنود . ويتعرض الالكترودان لتيار منفصل من مياه الشطف ، وفى أثناء التشـغيـل تحدث ردود فعل من الاكسدة والاختزال فى الانود والكاثودات على التوالـــى . وتخلق هذه التفاعلات مشاكل تسفر عن (أ) تآكل الالكترودات ، لاسيما فى الانود ، حيث يمكن أن تؤدى الاكسدة الى تآكل المعدن ، و (ب) انتاج الكلـــور و/أو الاوكسجين ، استنادا الى درجة تركيز ايونات الهيد روجين ومكونات مجرى الشطف . ولا يحدث هذا تأثيرا شديدا على الكاثود ، وعادة ما تنتج عنه تكون غاز الهيد روجين وهذا بدوره يوجد درجة تركيز عالية لايونات الهيد روجين مما يسهل تكون القشور .

وعند التشغيل ، عادة ما تحمض تيارات الشطف لمنع تكون القشور . وكثيرا ما تمزج تيارات الشطف من أقسام الانود والكاثود ثم يعاد تدويرها لتقليل الكميـة اللازمة من مضاف الحامض . ويتعين اجراء عملية احلال للالكترودات بصورة دورية .

وفى عملية الد يلزة بالكهرباء الانعكاسية ، تتناوب الالكترودات القيام بعمل الكاثود والانود عدة مرات فى الساعة الواحدة . ويستخدم ذلك لمعادلة تآكـــل الالكترودات نتيجة للاستعمال ، كما أنه يزيل بطريقة كيميائية القشور التى تكونـــت اثناء تشغيل الكاثود بواسطة الحامض المتولد أثناء دورته الانودية .

المرفق الثالث

الاوزموزيـــة العكسية

ألف ـ خلفيـــة تقنيـــة

الاوزموزية العكسية هى عملية فصل الاغشية يتم فيها فصل المياه من محلول ملحى مكيف الضغط عن المذابات وتدفقها من خلال غشاء ملائم . ويتم تقليـــــل المحتوى الملحى للسائل المتدفق عبر الغشاء ، والذى ينشأ عامة بالقـــــرب مـــن الضغط الجوى ، فى حين يزداد المحتوى الملحى لمحلول التغذية المكيف الضغط على الجانب الآخر من الغشاء .

وحيث انه لا يحدث أى تسخين أو تغير مرحلى فان الاستخدام الرئيســـى للطاقة فى العملية هو اللازم لتكييف ضغط مياه التغذية . وفيما يتعلق بازالـــة ملوحة المياه الضاربة الى الملوحة ، يتراوح ضغط التشغيل بوجه عام بين ١٧ الى ٢٧ وحدة ضغط جوى (من ٢٥٠ الى ٤٠٠ رطلا للبوصة المربعة) ، فى حـــــين يتراوح بالنسبة لازالة ملوحة مياه البحر بين ٥٤ الى ٦٨ وحدة ضغط جوى (مـــن ٨٠٠ الى ١٠٠٠ رطل للبوصة المربعة) .

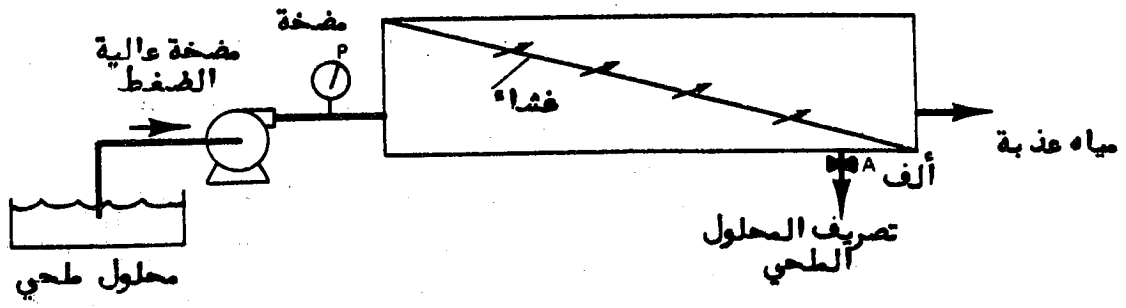
وفى العملية الفعلية ، يتم ضخ المياه الملحة لتكييف ضغطها فى مواجهـــة غشاء فى حاوية مغلقة . وبمرور المياه النقية عبر الغشاء ، يصبح المحلول الملحـــى أكثر تركيزا . وفى نفس الوقت ، يتيح أحد الصمامات تصريف جزء من مياه التغذية دون المرور عبر الغشاء . وهذا التصريف ، أو الانحسار ، ضرورى لتجنب ترســـيب العناصر مفرطة التشبع فى المحلول الملحى ، وللحيلولة دون تركز الاملاح المذابـة فى محلول التغذية الذى من شأنه زيادة الضغط الاوزموزى الطبيعى . وتظهـــر عناصر الاوزموزية العكسية فى الشكل التاسع عشر .

١ ـ النظام الشامل

يتكون نظام الاوزموزية العكسية من أربعة عناصر أو عمليات رئيسية ، كما هـــو مفصل فيما يلى . ويقدم الشكل العشرون رسما بيانيا للتدفق فى العملية .

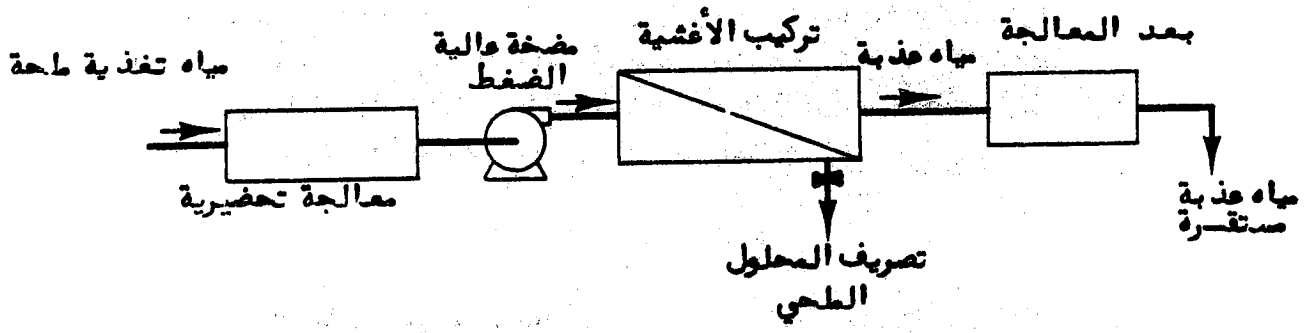
(أ) المعالجة التحضيرية

تعالج مياه التغذية الواردة حسب مواصفات الغشاء بغية حماية الاغشـــية . وعادة ما تتكون هذه المعالجة من ازالة الجوامد العالقة وضبط درجة تركيز ايونـات



يرمز الى تركيب الأغشية عموما بصندوق مستطيل الشكل يقطعه عرضا خط قطري يمثل الغشاء

الشكل رقم ١٩ – عناصر نظام الاوزموزية العكسية



الشكل رقم ٢٠ – رسم بياني للدفق في نظام الأوزموزية العكسية

المصدر: هذان الشكلان هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية
أخوذان من : O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

الهيد روجين واضافة مانع مشرفى لمكافحة القشور التى تتكون نتيجة لكربونات الكالسيوم والكبريت . وقد بحثت أنظمة المعالجة التحضيرية بمزيد من التفصيل فيما يلى .

(ب) مضخة الضغط العالى

ترفع المضخة ضغط مياه التغذية التى أجريت بشأنها معالجة تحضيرية الى المستوى الملائم للغشاء ومياه التغذية المستخدمة .

(ج) مجموعة الاغشية

تمنع الاغشية شبة النفاذة مرور الاملاح الذائبة فى حين تتيح للمياه التى تكاد تخلو من الاملاح المرور من خلالها . وينتج عن مياه التغذية المستعملة فى مجموعة الاغشية مجرى لمنتج المياه العذبة ومجرى آخر يطرد المحلول الملحى المركز . ولا يوجد غشاء يبلغ حد الكمال من حيث طرده للاملاح المذابة ، ولذا فثمة نسبة ضئيلة من الاملاح تنتقل عبر الغشاء وتظهر فى المنتج .

(د) التثبيت

عادة ما تتطلب المياه المنتجة من مجموعة الاغشية عملية ضبط لدرجة تركيز ايونات الهيد روجين و/أو تفريغها من الغاز قبل نقلها الى نظام أو حوض التوزيع لاستعمالها كمياه للشرب .

٢ - الاغشية

ينبغى أن تعمل الاغشية وعناصر الاغشية المستعملة فى الاوزموزية العكسية عند ضغط مرتفع كما يتعين أن تحد من مرور الجوامد المذابة . وفضلا عن ذلك ، ينبغى أن تظل ثابتة من الناحيتين الطبيعية والكيميائية فى بيئة مائية ملحة . وليس هناك غشاء يجرى تصنيعه حاليا ويبلغ حد الكمال ، كما أن الاغشية المستخدمة فى الوقت الحاضر تتفاوت من حيث النوعية فيما يتعلق بتلك الخصائص .

وتصنع الاغشية من مجموعة منوعة من المواد . وقد استعملت أسيتات السليولوز فى جزء كبير من أعمال التطوير الاصلية فى الخمسينات ، الا أنها أهملت لافتقارها الى الاستقرار من حيث التحلل المائى وميلها الى عدم التدفق بسبب الدموج (التراص) . وقد جرى استبدال مادة استيات السليولوز الاصلية على

نطاق واسع بتوليفات متنوعة من استيات السليولـــوز الأخـــرى ، والبوليا ميدات والبوليمرات الاخرى ، والتى ثبتت ملاءمتها لاستخدام التجارى .

ومعظم الاغشية المنتجة حاليا - وليست كلها - غير متماثلة فى مقطعهـــا المستعرض من حيث اختلاف تركيبها الطبيعى من وجه لآخر . وهذه الاغشـــية ليست قابلة للانتقال فى الاتجاه المعاكس، بمعنى أن الاملاح لاتطرد بفعاليـــة الا عند استعمال محلول ملحى على الطبقة السطحية وليس العكس.

٣ - خصائص الاغشية

وتتضمن بعض الخصائص الهامة للاغشية التدفـــق ، وطـــرد الاملاح واستخلاصها .

ويشير التدفق الى كمية المياه التى يمكن أن تتدفق من خلال الغشـــاء . ويتوقف التدفق على معامل نقل المياه ، والضغط التفضيلى عبر الغشاء ، والضغـط الاوزموزى التفضيلى عبر الغشاء .

ويتحدد معامل نقل المياه بعدة عوامل ، بما فيها نوع كل غشاء وســـمكه . وتقاس ممرات التدفق وممرات الاملاح بالنسبة لاى غشاء عند درجة حرارة مقارنـــة وضغط وتركيز مقارنين . وبعد ذلك يمكن حساب التدفق والطرد فى ظل ظـــروف التشغيل الفعلية .

وفيما يتعلق بغشاء معين ، يكون التدفق متناسبا مع صافـــى الضغـط المستعمل . ويتراوح الضغط الاوزموزى بالنسبة للمياه معتدلة الملوحة بين مايقرب من ٧ر٠ الى ٣ر٤ وحدة ضغط جوى (من ١٠ الى ٥٠ رطلا للبوصـــة المربعـة) ، بالمقارنة بنسبة تتراوح بين ٢٤ الى ٢٧ وحدة ضغط جوى (من ٣٥٠ الـــى ٤٠٠ رطلا للبوصة المربعة) بالنسبة لمياه البحر . ومن ثم، فللحصول على تدفقـــات معقولة ، ينبغى تشغيل أنظمة المياه الضاربة الى الملوحة عند ضغوط أعلى بعـــض الشئ من تلك الضغوط، وعادة ما يتراوح ذلك بين ١٧ الى ٢٧ وحدة ضغط جوى (من ٢٥٠ الى ٤٠٠ رطلا للبوصة المربعة) . ولتقليل ضغوط التشغيل ، يلـــزم تطوير أغشية بمعاملات نقل أكثر فعالية ، ورغم ذلك ، وبسبب الضغوط الاوزموزيـــة الحالية للمحلول ، فهناك حد للمدى الذى يمكن عنده تقليل الضغوط .

ولاتاحة ازالة ملوحة المياه على نحو اقتصادى ، ينبغى أن يكون التدفق عاليا نسبيا لتقليل كمية الاغشية التى نحتاج اليها ، مما يبقى التكلفة عند مستوى معقول .

وهناك فارق كبير بين التدفقات الخاصة بالشكل الحلزونى للغشاء والشكل الأجوف المصنوع من الالياف الدقيقة ، الا أن ذلك يعوضه بعض الشئ مساحة سطح

الغشاء المتاحة فى حجم معين ، وتكلفة انتاج الانواع المختلفة من الاغشـــــية .

ويدل طرد الاملاح على قدرة الغشاء على طرد الاملاح المذابة . وحيث انه لا يوجد غشاء يبلغ حد الكمال فى هذا الصدد ، فان الاغشية جميعها تسمح بنقل بعض الاملاح عبر الغشاء . ويمكن تحديد الطرد بمقارنة الحجم الاجمالى للجوامد المذابة فى المياه المنتجة وفى مياه التغذية بواسطة صيغة قياســـــية . ويمكن طرد الاملاح من كل عنصر من عناصر المحلول حسب الغشاء والعنصر المكون والبيئة المحلية .

ويمكن تعريف الاستخلاص فى نظام للاوزموزية العكسية بأنه النسبة المئويـة لتدفق مياه التغذية التى يمكن استخلاصها فى دفق المياه المنتجة . فكلما زادت النسبة المئوية للاستخلاص، زاد تحول المياه الملحة الى مياه عذبة . وفى الظروف العادية ، يتراوح معدل الاستخلاص بالنسبة لنظام وحيد المرحلة من أنظمـــــة الاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة بين حوالى ٤٥ الى ٥٥ فى المائة ، فى حين يتراوح بالنسبة لنظام لمياه البحر بين حوالى ٢٠ الى ٣٠ فى المائـــة . وتطرد النسبة الباقية غير المستخلصة بوصفها مخلفات للمحاليل الملحية . ويمكـن زيادة النسبة المستخلصة بدرجة كبيرة عن طريق المراحل المتعددة ، حيث يستعمل فيما بعد المحلول الملحى المطرود من احدى المراحل بوصفه مياها للتغذية فـى مرحلة لاحقة من أجل استخلاص مياه اضافية . وكثيرا ما يتم ذلك مع أنظمة الميـاه الضاربة للى الملوحة لزيادة الاستخلاص الى مدى يتراوح بين ٦٥ الى ٨٠ فـــى المائة .

باء- وصف العملية

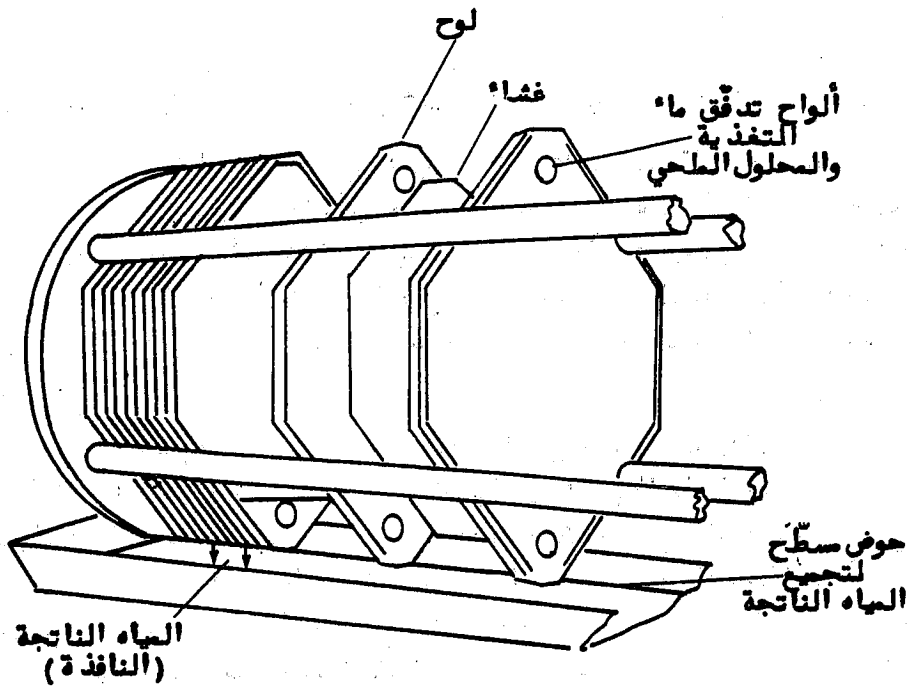
العنصران الرئيسيان للعملية هما مجموعات الاغشية والشكل الذى يتم فيه توصيل المجموعات .

١ - مجموعات الاغشية

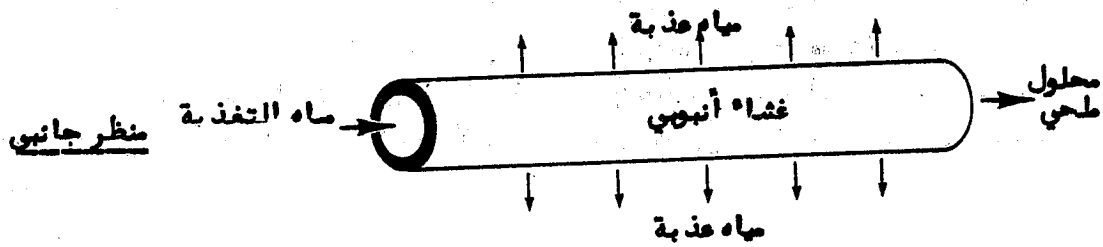
هناك أربع مجموعات أساسية للاغشية تستعمل فى الاوزموزية العكسية ، كما هو مبين ادناه .

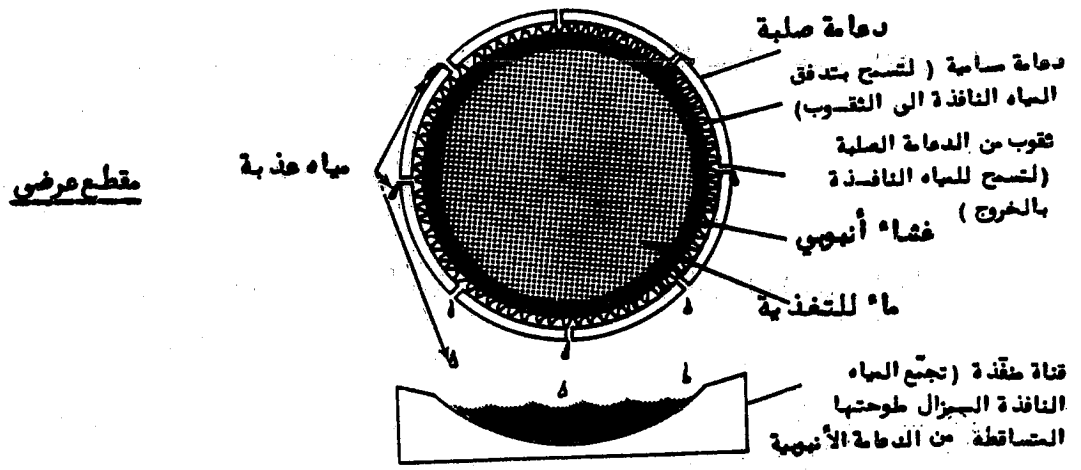
(أ) اللوح والاطار

طرح هذا الشكل من الاغشية للبيع على المستوى التجارى فى عام ١٩٦٦ . وقد وضعت الاغشية بين الواح مستديرة جمعت فى وعاء كبير عالى الضغط . وكانت



الشكل رقم ٢١ = تركيب الأغشية المكونة من لوح واطار





الشكل رقم ٢٢ – تركيب الغشاء الأنبوبي

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

تلك الاغشية ثقيلة وضخمة وغير ملائمة من حيث التشغيل كما أنها لم تحرز أى نجاح تجارى . وقد استبدلت على الفور بتصميمات أنبوبية وغيرها من تصميمات الاغشية .

وتقوم بعض الشركات الصانعة فى أوروبا حاليا بانتاج هذا النوع من الاغشية ، ولكن مع ترتيبات مختلفة من حيث التركيب (انظر الشكل الحادى والعشرين) . ويجرى استخدامها فى مجال المياه الضاربة الى الملوحة ومياه البحر ، الا انها لا تشكل قدرا كبيرا من طاقة التركيب العالمية . وقد ألغى التصميم الاوروبى الجديد الحاجة الى وعاء ضخم عالى الضغط ويمكن الشركات الصانعة من استعمال مجموعة منوعة من الاغشية على شكل ألواح . وعادة ما تستعمل تلك الاغشية فى التطبيقات الصناعية المتخصصة .

(ب) المجموعات الانبوبية

أدى تطوير شكل الغشاء الانبوبى الى حل بعض المشاكل وأتاح انتاج الاغشية للاستعمال التجارى ، فى حوالى عام ١٩٦٥ . والاغشية أنبوبية الشكل ويتراوح قطرها بين حوالى ٧ر٠ الى ٥ر٢ سم (من ٣ر٠ الى ١ بوصة) ويجرى تكوينها أو وضعها داخل الانابيب أو المواسير الصلبة . وبوجه عام ، تكيف مياه التغذية بالضغط فى داخل الغشاء الانبوبى ويتحرك السائل النفاذ المزال ملحه عبر الغشاء ثم يجمع من السطح الخارجى للانبوب ، كما يظهر فى الشكل الثانى والعشرين . وتسمح الثقوب و/أو الدعامات المنفذة فى الجزء الخارجى بمرور المياه بمجرد مرورها عبر الغشاء . وفى الاحوال العادية تكون الانابيب ذات أقطار متميزة تتوافق مع شبكة الانابيب والمضخات المستعملة فى أنابيب المياه . ويبلغ قطر أكثر الاغشية التجارية شيوعا ٣ر١ سم (أى ½ بوصة) . وتتطلب هذه الاشكال جميعها حجما ماديا كبيرا يتناسب مع مساحة سطح الغشاء التى يمكن دمجها .

ولم تحرز الاغشية الانبوبية بوجه عام نجاحا تجاريا فى انتاج المياه على نطاق واسع فى البلدان النامية ، ومرد ذلك أساسا هو أن انتاج الاغشية مكلف كما أن نسبة حجمها المادى الى انتاجها كبيرة . بيد أنها قد تصبح ملائمة للاستعمال فى البلدان النامية ، بسبب بساطتها وسهولة تشغيلها ومتانة بنائها . وفضلا عن ذلك ، فانه يمكن تنظيفها ميكانيكيا بعد الانسداد كما يمكن تشغيلها بواسطة الدفق الدوامى للتقليل من تكون القشور ومن الانسداد . وقد أنشئت الوحدات الانبوبية وتم تشغيلها فى الهند والمكسيك وغيرها من البلدان لانتاج مياه الشرب .

(ج) المجموعات الحلزونية

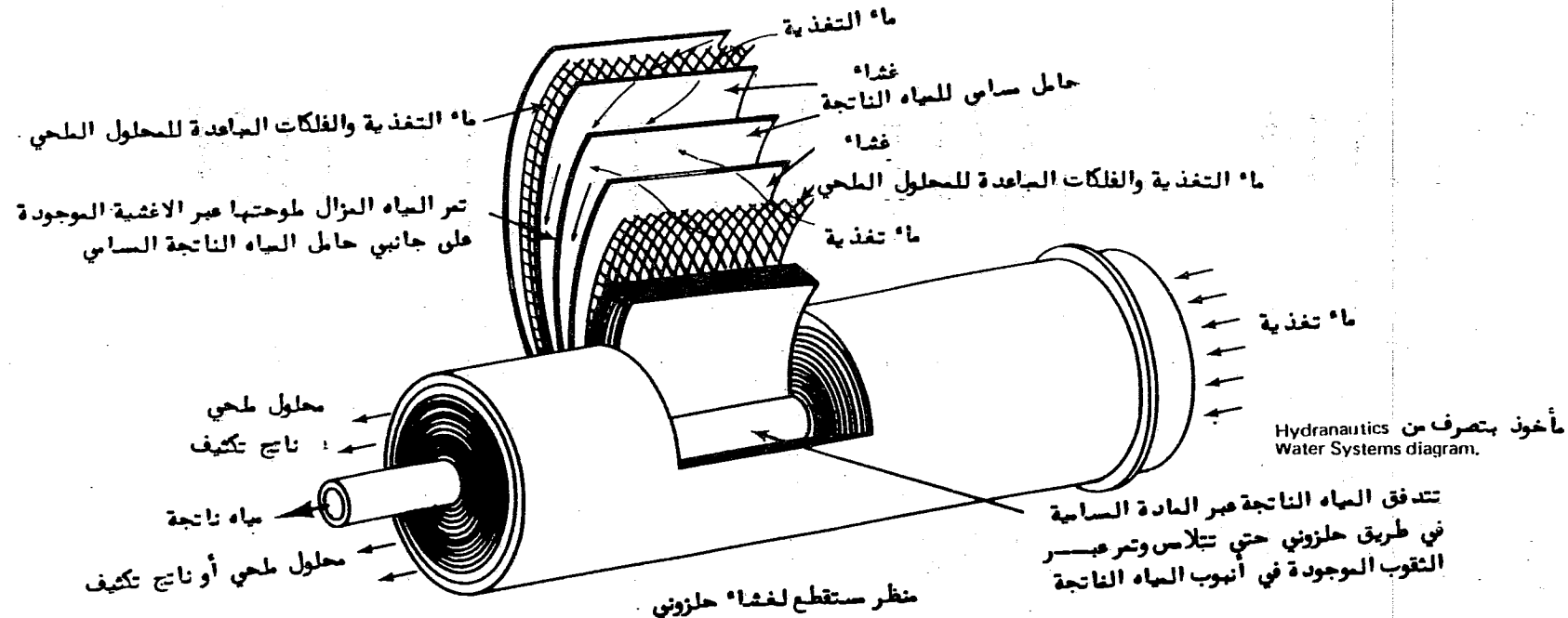
تستعمل هذه المجموعات أغشية على شكل ألواح مسطحة (كتلك الموجودة في الاغشية التي تأخذ شكل اللوح والاطار) ، الا أنها مجمعه في تصميم من شأنه أن يقضي على جميع المشاكل التي جعلت الاغشية الاولى غير اقتصادية . وقد كانت الاغشية الحلزونية متاحة تجاريا في أواخر الستينات، وقد استعملت في انتاج المياه محل الاغشية الانبوبية .

ويوضح الشكل الثالث والعشرون تركيب هذا النوع من مجموعات الاغشية . اذ يطرح الغشاء على دعامة من النسيج ثم يوضع أثنان من تلك الاغشية المقواة بالنسيج على جانبي مادة نفاذة (وهي الحاملة للمياه المنتجة) ويلصقان معا . وتوفر المادة النفاذة (وهي عادة نسيج من الداكرون المشرب بالبرايتنغ) مسلكا للمياه المنتجة التي مرت عبر الغشاء . وتلصق "شطيرة" أو صفيحة الغشاء مع بعضها في ثلاثة من أطرافها الاربعة . ويتم وصل الطرف الرابع بأنبوب يعمل كمجمع للمياه المنتجة . وعادة ما يتصل بهذا الانبوب المركزي عدد يتراوح بين ٢ الى ٢٦ صفيحة للغشاء . وبين كل زوج من الصفائح ، يتم ادخال فلكة مباعدة لقناة مياه التغذية . وهذه الفلكة المباعدة عبارة عن شاشة شبكية مصممة لتوفير ممر تصل من خلاله مياه التغذية الى سطح الغشاء في حين يبقى المحلول الملحي المتبقي .

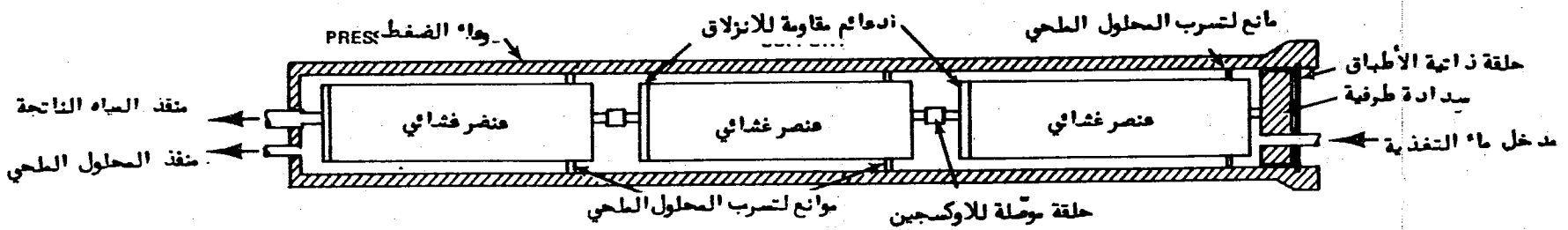
وبعد ذلك تطوى الصفائح والفلكات المباعدة لتكوين اسطوانة مدمجة . وتكون كل اسطوانة وحدة تسمى بالعنصر أو وحدة القياس، ويتراوح قطرها بين ما يقرب من ٥ الى ٣٠ سم (أي من ٢ الى ١٢ بوصة) ، بينما يتراوح طولها بين ٣٠ الى ١٥٠ سم (أي من ١٢ الى ٥٩ بوصة) حسب الشركة الصانعة والطراز . وعادة ما يوضع عدد يتراوح بين أثنين الى ستة من هذه العناصر في مجموعات داخل وعاء أنبوبي طويل للضغط وذلك لتجميع وحدة انتاج واحدة .

(د) الالياف الدقيقة المجوفة

بدئ في انتاج الاغشية المكونة من الياف دقيقة مجوفة على المستوى التجاري حوالي عام ١٩٦٩ . وهي تنتج على شكل أنابيب شعرية طويلة يبلغ قطرها نفس قطر الشعرة الآدمية تقريبا . وكما يظهر في الشكل الرابع والعشرين تنشر المياه الملحة خارج الانابيب ويتم تجميع المياه المزال ملوحتها وحملها في الانبوب الشعري الداخلي . وتصنع الانابيب الشعرية من حوائط سميكة (حيث تبلغ نسبة القطر الخارجي الى القطر الداخلي حوالي ٢ : ١) ، مما يمنح الالياف القوة على مقاومة ما تتضمنة الاوزموزية العكسية من ضغوط عالية دون الحاجة الى دعامة مادية اضافية .



مأخوذ بتصرف من Hydranautics Water Systems diagram.



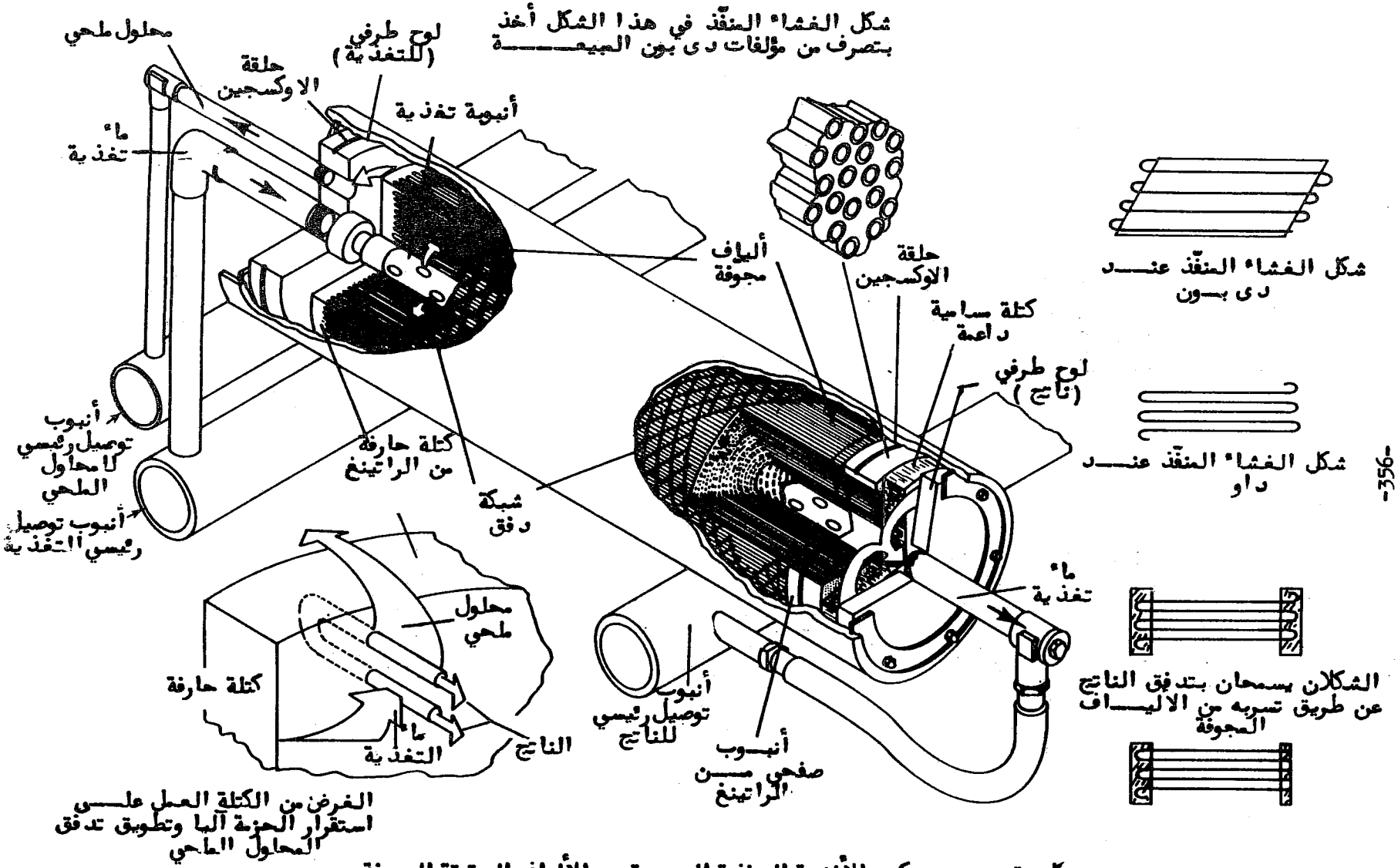
مقطع عرضي لوعاء ضغط يعمل بثلاثة عناصر غشائية

الشكل رقم ٢٣ – منظر مستقطع للغشاء الحلزوني والعناصر الغشائية في وعاء الضغط

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من :

From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).



الشكل رقم ٢٤ – تركيب الأغشية المنفذة المصنوعة من الألياف الدقيقة المجوفة

المصدر: هـــذا الشكل هدية مـــن الوكالـة الامريكيـة للتـنميـة الدوليـــة

مأخـــوذ مـــن : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

وبغية الاستعمال على المستوى التجارى ، رتبت الالياف على شكل حزمة من الحلقات المحشوة باحكام داخل وعاء اسطوانى للضغط مغلق باحكام . ويطلق على هذه المجموعة اسم المنفذ . ويجرى ادخال المياه الملحة فى الوعاء وتأخذ فى الدوران حول الالياف فى حين تجمع المياه المنتجة عند أحد أطراف الوعاء ، من الاطراف المفتوحة للحلقات المصنوعة من الالياف .

٢ - أشكال العملية

هناك أربعة أشكال أساسية للعملية يمكن فيها ترتيب الاغشية لانتاج المياه الخالية من الملوحة وهى : الوحيد المرحلة ، والمتوازى المرحلة ، ومرحلة الرفض ، ومرحلة الانتاج . وتظهر هذه المراحل فى الشكلين الخامس والعشرين والسادس والعشرين اللذين تتناولهما ادناه .

(أ) الوحيد المرحلة

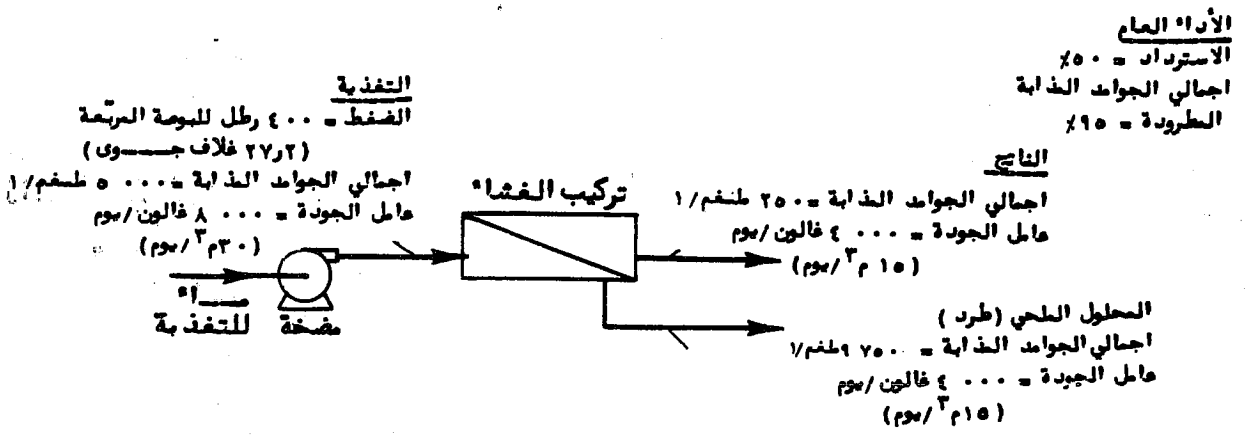
وهى أبسط الاشكال الصالحة لنظام صغير . وانتاجها محدود بالطاقة المتاحة لمجموعات الاغشية .

(ب) المتوازى المرحلة .

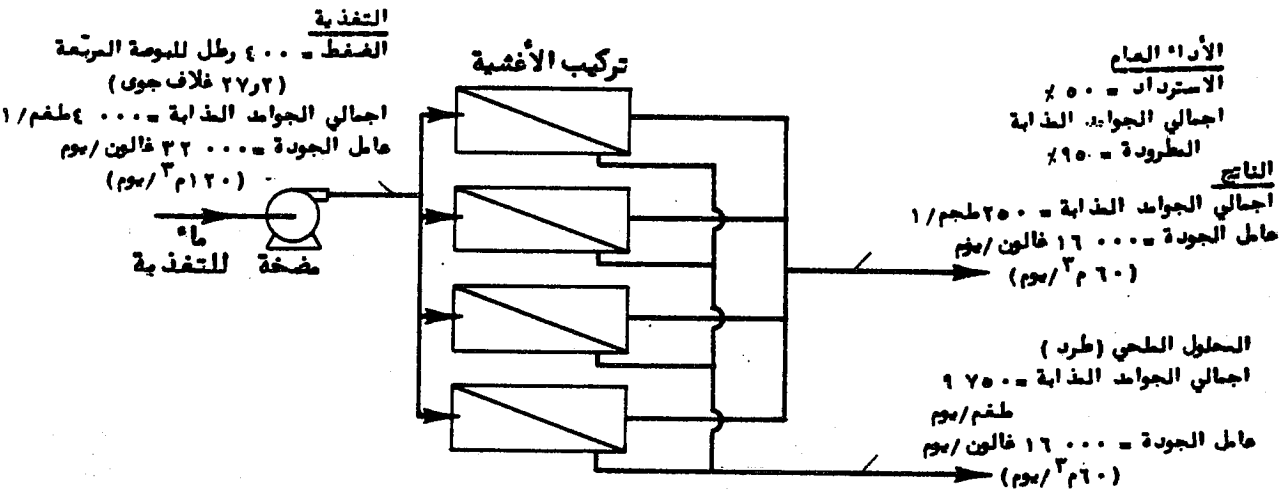
تضاف الطاقة الى العملية بواسطة اضافة مجموعات الاغشية فى خط متواز لزيادة الانتاج . ولا يغير هذا التعديل من رفض الاملاح بوجه عام ، أو من النسبة المئوية للاستخلاص فى النظام .

(ج) مرحلة الرفض

يشار اليها كذلك باسم الشكل متعدد المراحل ، أو الشكل المتسلسل ، أو الشكل الهرمى ، أو الشكل ذى المصفوفات المخروطية ، وهى تستعمل لزيادة الاستخلاص فى نظام ما . ويستعمل السائل المرفوض (المحلول الملحى) من احدى المراحل كمياه للتغذية فى مرحلة لاحقة من أجل استخلاص كمية اضافية من المياه . وبسبب ارتفاع الضغط فى مجرى الرفض، فانه لا يلزم وجود ضخ اضافى بين المراحل . ويستلزم هذا الشكل بعض التضحية فيما يتعلق برفض الاملاح وزيادة فيما يستعمل من طاقة بوجه عام بالمقارنة بنظام متواز بنفس معدل التغذية ، رغم انخفاض الطاقة اللازمة لكل وحدة من المياه المنتجة .



مرحلة وحيدة ذات تركيبة غشائية وحيدة

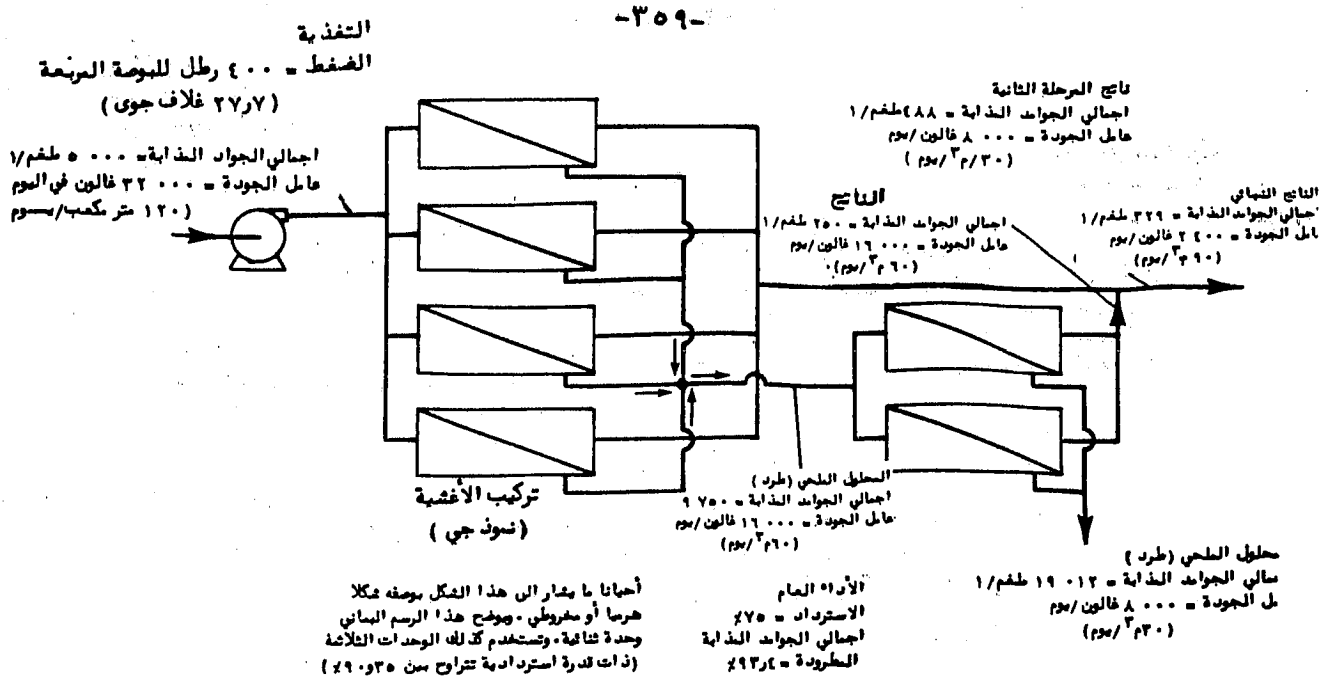


مرحلة وحيدة ذات تركيبات غشائية متوازية

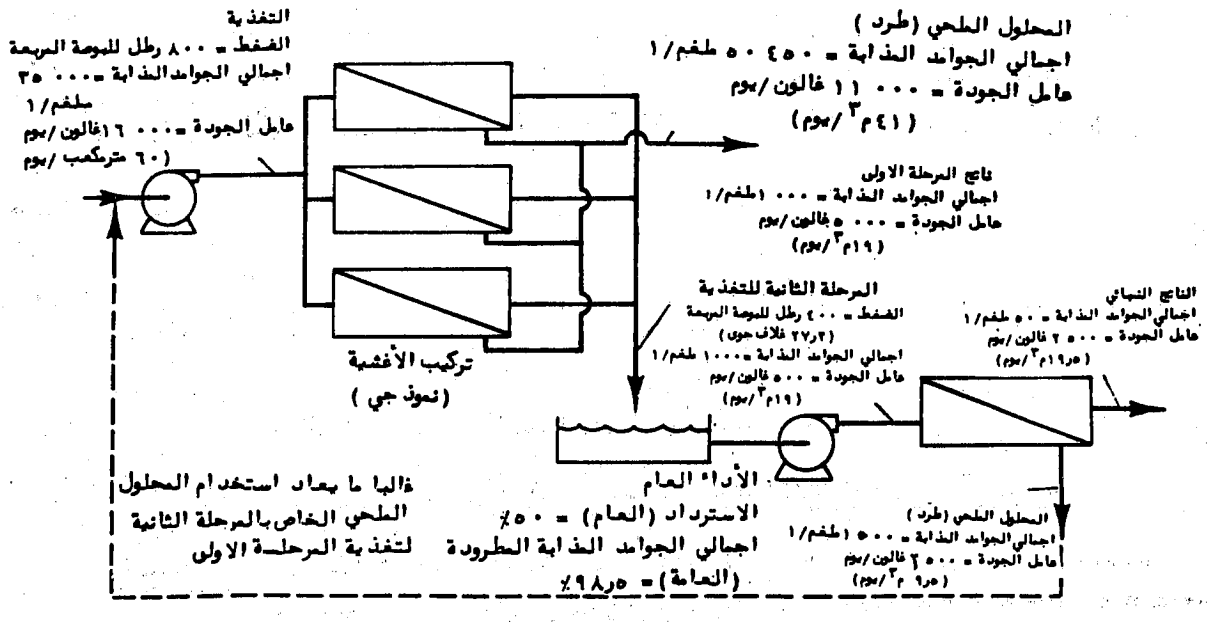
الشكل رقم ٢٥ ـ أشكال وحدة الأوزموزية العكسية وحيدة المرحلة

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).



وحدة متعددة المراحل تعمل بالطرد المرحلي



الشكل رقم ٢٦ – أشكال وحدة الأوزموزية العكسية متعددة المراحل

المصدر: هذا الشكل هدية من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية

مأخوذ من : From O.K. Buros and others, The USAID Desalination Manual (Washington, D.C., prepared for USAID by CH2M Hill International Corporation, 1980).

ويتعين أن تكون نوعية مياه التغذية جيدة بحيث لا يتسبب المحلول الملحى المحول كتغذية الى المراحل الاضافية فى تكون القشور أو غير ذلك من المشاكل المتعلقة بالاغشية فى المراحل الاخيرة .

(د) مرحلة الانتاج

هذا النظام - الذى يناسب تماما ازالة الملوحة من مياه البحر - يمثل فى الواقع نظامان منفصلان للعملية يتكرران فى سلسلة متوالية . فالمنتج من المرحلة الاولى يستعمل كتغذية للمرحلة الثانية ، مما يتيح للمرحلة الاولى (باستعمال الاغشية الخاصة بمياه البحر والضغوط العالية) تقليل اجمالى الجوامد المذابة فى المياه الى مستوى معتدل . وعندئذ يمكن للمرحلة الثانية استعمال الاغشية الخاصة بالمياه الضاربة الى الملوحة لانتاج مياه تقل فيها الجوامد المذابة الاجمالية .

وتشغل المرحلة الثانية بصورة مبسطة لان المرور عبر الاغشية فى المرحلة الاولى يجهز المياه ، بحيث لا تكون هناك حاجة سوى لقدر ضئيل جدا من المعالجة التحضيرية ومن ثم يمكن تحقيق معدلات أعلى للاستخلاص . ويمكن مزج السائل المرفوض من المرحلة الثانية بمياه التغذية الخام من أجل اعادة المعالجة .

جيم - اعتبارات هندسية رئيسية

١ - مصدر المياه الخام

ان تحديد خصائص امدادات المياه الخام المستعملة هو أهم بند فى التصميم لاحد أنظمة الاوزموزية العكسية ، بما فى ذلك تجهيزات المعالجة التحضيرية والمعالجة اللاحقة وانتقاء غشاء ملائم . وينبغى اختبار الخصائص الكيميائية والطبيعية وقابليتها للتغير تماما قبل استكمال التصميم . وفى حالة مصادر المياه السطحية ، يكون من الضرورى أخذ العينات فى ظل ظروف متغيرة فيما يتعلق ببعض العوامل مثل التيارات والعواصف واتجاهات الرياح والفصول للتأكد من تحديد أقصى مدى لشروط جودة المياه .

٢ - المياه المنتجة

هناك حاجة الى معلومات حول نوعية المياه المجهزة والكمية المطلوبة فيها وتحدد النوعية المطلوبة من المياه المنتجة فى ضوء اجمالى الجوامد المذابة وحجم الاملاح المطلوب رفضها . وتتصل المعلومات الاخرى حول المياه المنتجة بمتطلبات

استعمال المياه ، بما في ذلك التدفقات اليومية المتوسطة والقصوى ، وفترات الذروة والضغط المطلوب والتخزين المتاح .

٣ - المعالجة التحضيرية

يمثل التحضير الصحيح (المعالجة التحضيرية) للمياه قبل وصولها الى الغشاء المدخل الى التشغيل الناجح لوحدة اللاوزموزية العكسية . وقد تكون الاغشية حساسة لدرجة تركيز ايونات الهيدروجين والحرارة ووجود بعض المواد الكيميائية ، وهي شديدة الحساسية للتلوث والانسداد . ويمكن أن يؤدي التصميم الملائم للنظام والمعالجة التحضيرية للمياه الى تقليل تلك المشاكل الى ادنى حد ومن ثم حماية الاغشية التي تمثل جوهر نظام الاوزموزية العكسية .

وتتضمن عمليات المعالجة التحضيرية والمعالجة اللاحقة (أو التثبيت) ببساطة تطبيق المعالجة القياسية للمياه والاساليب الكيميائية . وحيث أن التدفقات في معظم أنظمة الاوزموزية العكسية المصممة حتى الآن ليست كبيرة ، فان اساليب المعالجة التحضيرية وعناصرها هي بوجه عام تعديلات لنظيرتها المستعملة في محطات معالجة للمياه صغيرة الحجم ، أكثر من كونها عمليات خاصة بالوحدات الكاملة التي نراها في الانظمة الكبرى لمعالجة المياه . ففي العديد من الحالات لاسيما فيما يتصل بالمياه الجوفية ، قد تكون المعالجة التحضيرية غير ضرورية أو بسيطة نسبيا على الاقل ، ولا تتضمن سوى الاضافة الكيميائية أو الترشيح داخل النظام .

والبارامترات التي تتأثر أكثر من غيرها بالمعالجة التحضيرية هي الرواسب ، والمواد شبة الغروية ، والجسيمات والكائنات الحية الدقيقة .

ذلك أن ترسيب تلك المكونات مثل الكالسيوم والحديد على الغشاء قد يثير بعض المشاكل . ويمكن تقليل الترسيب الى أدنى حد بواسطة خفض درجة تركيز المكونات . ويمكن تحقيق ذلك بواسطة الازالة السابقة عن طريق ازالة عسر الماء وتبادل الايونات ، و/أو الترشيح بالتهوية أو بواسطة خفض معدل الاستخلاص . وتعد الازالة السابقة أكثر تكلفة بسبب ارتفاع تكاليف رأس المال والتشغيل ، وكثيرا ما يستخدم خفض معدل الاستخلاص حيث توجد مياه خام كافية . وأكثر الطرق المستخدمة لخفض الترسيب الى الحد الادنى هي تخفيض درجة تركيز ايونات الهيدروجين باضافة الحامض ، ومن ثم زيادة قدرة المواد المذابة على الذوبان أو خفض درجة تركيزها بواسطة تحويلها الى شكل أكثر قابلية للذوبان . وكثيرا ما يضاف مانع مشرفي الى المياه الخام لخفض ترسيب املاح الكالسيوم أو الباريوم أو الاسترنتيوم ، عن طريق منع تكون البلورات .

والمواد شبة الغروية التى تحدث على شكل جوامد عالقة هى جسيمات بالغة الصغر تمر، بسبب صغر حجمها، عبر المرشحات القياسية وبذلك لا يمكن ازالتها بسهولة عن طريق العمليات الميكانيكية العادية . وهى توجد فى معظم الاحيان فى المياه السطحية والابار التى يتم توسيعها بطريقة غير ملائمة فى طبقات الطمى، وعادة ما تجرى ازالتها بواسطة التخثر متبوعا بالترشيح . وفى الانظمة الكبيرة، يمكن استعمال المواد المخثرة مثل الشب والكلس والبوليمرات فى نظام قياسى للتخثر والتلبد والترسيب والترشيح . ولا يعتبر مرشح الامان القياسى جهازا يمكن الاعتماد عليه لازالة الجسيمات شبة الغروية .

ويمكن ازالة الجسيمات بواسطة طرق الترسيب والترشيح المستعملة فى محطات معالجة المياه القياسية . وعندما تكون المياه السطحية هى مصدر المياه الخام، يمكن تخفيض تلوث الجسيمات الى الحد الادنى عن طريق بناء هيكل السحب الملائم ووضعة فى المكان الملائم، وكذلك بواسطة الانتقاء المناسب للمواد . وفيما يتعلق بالمياه الجوفية، يمكن أن تؤدى اساليب بناء وتطوير الابار الملائمة والاختيار المناسب للمواد الى تخفيض الجسيمات الموجودة فى مياه التغذية بدرجة كبيرة .

وحيثما توجد مواد مذابة مثل كبريتيد الهيدروجين أو أملاح الحديدوز التى يمكن أن تتأكسد بسرعة وتتحول الى جسيمات (أوكسيدات الكبريت والحديد) عن طريق تعرضها للاوكسجين، فيتعين اما أكسدتها عمدا وترشيحها أو منع تأكسدها . وكثيرا ما تستخدم الطريقة الاخيرة التى تتطلب انشاء مجموعة الانابيب الخاصة بالبئر ومياه التغذية بحيث لا يدخل للهواء وغيرة من المؤكسدات الى النظام .

ويمكن أن تسبب الكائنات الحية الدقيقة انسداد الاغشية بنموها داخل العناصر والمنفذات . ويستعمل التطهير لازالتها . وقد كان الكلور ولا يزال هو أكثر المطهرات المستخدمة شيوعا للتقليل من وجود الكائنات الحية الدقيقة . وتتفاوت الاغشية من حيث انسجامها مع الكلور، ولذا فيجب اجراء عمليات التطهير بعناية فائقة . ويمكن لمشتقات اسيتات السليولوز أن تتحمل الكلور بجرعات معقولة فى حين لا تستطيع البولياميدات ذلك .

وثمة مطهرات فعالة أخرى يمكن استعمالها بصورة دورية وفقا لجدول منتظم وهى ثانى كبريتيت الصوديوم وبروكسيد الهيدروجين .

مرشح الامان

فى كل نوع تقريبا من أنواع نظام الاوزموزية العكسية، يوضع مرشح للضغط داخل النظام أمام الغشاء تماما كجزء من نظام المعالجة التحضيرية . والغرض من مرشح الضغط هو حماية الاغشية من أية مادة قابلة للارتشاح ربما تكون قد مررت

بغير قصد خلال عملية المعالجة التحضيرية . وعادة ما يدل استبدال المرشحات الخشنة أكثر من مرة فى فترة تتتراوح بين شهر وثلاثة أشهر على وجود مشكلة فيما يختص بالمعالجة التحضيرية . ومع ذلك فليس القصد من مرشح الامان أن يكون أحد المكونات الرئيسية لازالة كميات كبيرة من الجوامد القابلة للارتشاح .

٤ - المعالجة اللاحقة

تحتاج المياه المنتجة المنبثقة من مجموعة الاغشية بوجه عام الى نوع من المعالجة اللاحقة قبل توزيعها كمياه للشرب . وتتضمن تلك المعالجة اللاحقة التحكم فى درجة تركيز ايونات الهيدروجين بواسطة اضافة مادة قاعدية عادة ، وازالة الغازات المذابة مثل H_2S و CO_2 بواسطة فصل الهواء و/ أو التطهير .

٥ - مواد البناء

ينبغى انتقاء مواد البناء بحيث تلائم الضغوط وامكانية التآكل والذبذبة داخل النظام .

(أ) الضغوط

نظام الاوزموزية العكسية هو نظام للضغط المزدوج - اذ يجرى تشغيل قسم الاغشية عند ضغط عال ، فى حين يجرى تشغيل أقسام المعالجة التحضيرية واللاحقة عند ضغوط منخفضة . وفيما يختص بالاقسام الاخيرة ، يمكن استعمال تجهيزات واساليب البناء الخاصة بالضغط المنخفض . وكثيرا ما تستخدم شبكة للانابيب من كلوريد البوليفينيل فى تلك الاقسام .

وينبغى تصميم القسم الممتد من المضخات عالية الضغط الى اوعية ضغط الاغشية وبناؤه بحيث يتحمل ضغوط تتدرج من ١٧ الى ٦٨ وحدة ضغط جوى (أى من ٢٥٠ الى ١٠٠٠ رطلا للبوصة المربعة) ، اعتمادا على ما اذا كانت المياه المعالجة مياها ضاربة الى الملوحة أو مياه البحر . وقد استخدم فى هذا القسم الصلب الذى لا يصدأ ، والخراطيم المرنة لاغراض الضغط العالى ، وشبكة الانابيب المبطنة أو المطلية .

(ب) مقاومة التآكل

نظرا لارتفاع اجمالى الجوامد المذابة فى مياه التغذية ومجرى المحلول الملحى ، علاوة على عدم الاستقرار المحتمل للمياه المنتجة ، فانه يتعين توخى الدقة فى انتقاء المواد تجنبا لتلفها بالتآكل وتلف الاغشية نتيجة لانسدادها بما ينتج عن التآكل من المواد . ولتلك الاسباب، تستخدم المواد المصنوعة من البوليمر، والصلب المعالج ضد الصدأ ، والبطانات والطلاءات المصنوعة من البوليمر على نطاق واسع .

وفى معظم الحالات، يقل درجة تركيز ايونات الهيدروجين فى مياه التغذية أعلى مضخات الضغط العالي ، ولذلك ينبغى انتقاء المضخات وشبكة الانابيب بدقة بحيث يمكنها مقاومة التآكل . ويجرى استعمال الصلب المعالج ضد الصدأ وبرونز الالومنيوم على السواء بصورة مرضية . وقد استعملت المضخات المصنوعة من المواد التقليدية فى حالة واحدة على الاقل ، كذلك يحقن الحامض لاغراض ضبط درجة تركيز ايونات الهيدروجين فى خط التغذية عالى الضغط فى اتجاه المضخة مما حقق نتائج مرضية .

وفى تصميم الوحدات المعالجة لمياه البحر بنوع خاص، يتعين توخى الدقة لتجنب المواقف التى تظل فيها مياه البحر الراكدة ملامسة للصلب المعالج ضد الصدأ ، حيث انه قد يحدث تآكل خطير فى حالة استعمال خليط معالج ضد الصدأ وغير ملائم .

(ج) الذبذبة

ان استعمال المضخات عالية الضغط يكون مصحوبا بنوع من الذبذبة التى يمكن أن تحدث ضغطا على شبكة الانابيب والالات وانظمة التحكم وعلى استخدام الالات المرتبط بها بصورة مباشرة أو غير مباشرة . ويمكن ملاحظة ذلك فى التجهيزات الصغيرة حيث يتم تركيب جميع المكونات على لوح واحد .

٦ - الاستخلاص

ان انتقاء عنصر اجمالى للاستخلاص فى نظام ازالة الملوحة هو احد البارامترات الرئيسية للتصميم . فبينما يتراوح الاستخلاص الطبيعى للمياه الضاربة الى الملوحة بين حوالى ٤٥ الى ٥٥ فى المائة من مياه التغذية للمرحلة الواحدة ، فانه يمكن تحقيق نسب من الاستخلاص تتراوح بين ٧٥ الى ٩٠ فى المائة مع بعض مياه التغذية فى مراحل الرفض (المصفوفات المسلسلة أو المخروطية أو الهرمية)،

والمطلوب هو زيادة هامشية فى اجمالى الطاقة بالمقارنة بالوحدة وحيدة المرحلة . كذلك تنخفض بوجه عام تكاليف رأس المال فى الوحدة الواحدة من المياة المنتجة .

ورغم وجود حافز اقتصادى ، من الناحية النظرية ، لاستعمال نظام للاستخلاص العالى لخفض تكاليف الطاقة ، فانه يتعين الموازنة بين المزايا والمثالب . وتشتمل المثالب الرئيسية على : (أ) التعقيد المتزايد للنظام بما فى ذلك المعالجة التحضيرية ، والاهم من ذلك (ب) زيادة احتمالات الانسداد وتكون القشور فى الاغشية بسبب ترسب الاملاح المذابة بصورة خفيفة . وتزيد احتمالات حدوث الاخيرة بزيادة تركيز المحلول الملحى لكل مرحلة متعاقبة . وبطبيعة الحال يتوقف هذا الى حد كبير على العناصر الكيميائية فى كل مصدر من مصادر المياه التى يتعين فحصها على أساس حالة بحالة .

وبصرف النظر عن الاقتصادات ، يمكن أن تشتمل العوامل الاخرى التى تساهم فى استصواب النسب الاعلى من الاستخلاص ، على امدادات محدودة من المياه الخام أو ضرورة التقليل الى الحد الادنى من كمية المحلول الملحى الذى يتم تصريفه .

٧ - تصريف المحلول الملحى

يتعين التحقق فى أولى مراحل التخطيط التصورى لمشروع ما من طريقة تصريف مجرى المحلول الملحى المركز الذى يترك نظام الاوزموزية العكسية . وقد يصل المحلول الملحى فى وحدة للاوزموزية العكسية للمياه الضاربة الى الملوحة الى ما بين ٢٠ الى ٥٠ فى المائة من المياه المنتجة ، وهو لا يمثل مشكلة حيث يمكن تصريفه فى البحر أو فى أى جسم ملحى آخر ، بيد أنه نظرا لان المحلول الملحى له امكانية تلويث المياه الجوفية والتسبب فى غير ذلك من المشاكل البيئية فى حالة تصريفه بطريقة غير سليمة ، فينبغى مراعاة الدقة فى تصريفه . وقد تؤدى الحاجة الى اساليب خاصة للتصريف الى جعل النظام باهظ التكلفة .

٨ - مشاكل التشغيل

تحدث معظم الاعطال فى وحدات الاوزموزية العكسية بسبب ترسب المواد على أسطح الغشاء أو فى عناصر الغشاء ، مما يحول دون أداء الاغشية لعملها على نحو فعال . وتحدث مشاكل أخرى نتيجة للاعطال الميكانيكية وقصور الغشاء وسوء التشغيل . ومن أهم عوامل التشغيل الناجح لوحدة اوزموزية عكسية تدريب القائم التشغيل وحالته العامة .

(أ) الانسداد

الانسداد هو ترسب المواد داخل المحطة مما يسفر عن خفض أداء النظام وكما ذكرنا من قبل، فان هذه الرواسب تأتى من أربعة مصادر رئيسية هى الرواسب والمواد شبة الغروية، والجسيمات، والكائنات الحية الدقيقة. وقد تكون مصادر الانسداد الاخرى الزيوت والشحوم والمواد العضوية. وسطح الغشاء حساس بصفة خاصة للانسداد، مما قد يؤدى الى التقليل الى درجة كبيرة من تدفق المياه.

(ب) الاعطال الميكانيكية

نظرا للضغوط العالية التى يحتاج اليها نقل المياه عبر الاغشية، فان شبكة الانابيب والدعامات والالات يمكن أن تتعرض لضغوط ميكانيكية كبيرة. وتنحو المضخات عند تلك الضغوط الى أن تكون عالية السرعة، لاسيما بالنسبة لمياه البحر ويمكن أن تتسبب فى حدوث ذبذبات خطيرة حسب المضخات وتركيبها وتصميم النظام وتفرض هذه الذبذبة ضغوطا على الوصلات واستخدام الالات والانابيب. ولذلك فان المحطة جيدة التصميم تقل فيها المشاكل المتعلقة بالذبذبة الى الحد الادنى.

(ج) التآكل

يعد تآكل المواد عاملا هاما فى مرافق الاوزموزية العكسية. فتيارات التغذية والمحلول الملحى والمنتج يمكن أن تكون كلها عوامل اكالة. كما أن العديد من المواد الكيميائية المستعملة فى عملية المعالجة مثل الحوامض والقواعد يمكن أن تكون هى الاخرى مصادر للتآكل.

(د) قصور الاغشية

بالرغم من أن مشاكل التشغيل قد تتركز فى قصور احد الاغشية عن أداء وظيفته على نحو ملائم، فكثيرا ما يكون وراءها أسباب اخرى، تتمثل عادة فى وجود مشكلة فى نظام المعالجة التحضيرية.

ويتطلب تصنيع مجموعات الاغشية عددا من العناصر والمواد والتفاعلات الكيميائية وخطوات الانتاج. وينتج عن ذلك وجود بعض الاختلافات بين كل غشاء من الاغشية لنفس الشركة الصانعة. بيد أن نوعية الاغشية عموما جيدة وترغب معظم الشركات الصانعة فى دعم منتجاتها. وبطبيعة الحال فان الضمانات المتعلقة لعمر الغشاء توضع على أساس احتياجات التشغيلية التى يتعين تلبيتها حتى يصبح الضمان سارى المفعول.

وبسبب تباين المواد والطرق المستعملة فى صنع مجموعات الاغشية ، يمكن أن يتأثر عمرها التشغيلى وأداءها بدرجة الحرارة ، ودرجة تركيز ايونات الهيدروجين ووجود الكلور ، وظروف التخزين .

(هـ) سوء التشغيل

يمكن أن يقضى سوء التشغيل حتى على أفضل الوحدات . ومن ثم يتعين تدريب القائمين بالتشغيل على اداء واجباتهم وعلى قدرات وحداتهم .

المراجع

Abdul-Fattah, A. F., 1978. The role of iceberg utilization in solving the Saudi Arabian water problems. In Husseiny, 1978, 536-555.

Ackermann, W., 1978. Economic and hydrological aspects. In World Meteorological Organization, 1978, 147-158.

Aguirre, J. M., 1977. Water reclamation and waste water reuse for irrigation of agricultural lands in Mexico. In D'Itri, 1977.

Ahmed, Shahid, Hang Youn Cho and A. F. Abdul-Fattah, 1978. Making decisions on iceberg utilization based upon multi-variate utility theory, a case study in Saudi Arabia. In Husseiny, 1978, 492-502.

Akiyama, Y., 1983. Scheme for fresh water supply from Japan to Middle East. Proceedings of the International Seminar on Fresh Water Tanker Ballasting. Tripoli, 31 May to 1 June 1983. London, International Maritime Organization.

Al-Faisal, H.R.H. Prince Mohamad and Shawkat Ismail, 1978. Feasibility of using paddle wheels for the propulsion of icebergs. In Husseiny, 1978, 301-314.

Alward, R. and T. A. Lawand, 1980. Fresh water from the sea. Québec, Canada, Brace Research Institute, Report No. R. 141.

Andeen, Gerry B., 1981. Reverse, osmosis. Menlo Park, California, SRI International, Guidelines No. 1061.

Andreadis, G. and J. W. Arnold, 1978. Development of a quality water supply for the island of Corfu, Greece. Paper presented to the Sixth Annual Meeting of the National Water Supply Improvement Association. Sarasota, Florida, July 1978.

Arceivala, S. J., 1977. Water reuse in India. In Shuval, 1977.

Argo, D. G., 1981. Reducing the cost of wastewater reclamation. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

Armstrong, A., 1983. Technological magic demonstrated in Denver. In CH2M Hill Reports 21: 4. Denver, Colorado.

Arnold, J. W., 1979. Operating experience of a 15,000 cubic meter per day municipal desalting plant at Corfu, Greece. Desalination (Amsterdam) 31:1:145-154.

Bader, Henri, 1978. A critical look at the iceberg project. In Husseiny, 1978, 34-44.

Baker, M. N., 1948. The quest for pure water. New York, American Water Works Association.

Basmaci, Yakup and M. O. Jamjoom, 1978. Delivery of icebergs to Saudi Arabia, an assessment. In Husseiny, 1978, 556-575.

Benedict, C. Peter, 1978. A towing concept for small icebergs. In Husseiny, 1978, 334-338.

Ben Shaul, Dvora, 1983. The rain makers. Water and Irrigation Review (Israel) April: 12-11.

Ben Zvi, Arie and others, 1981. Additional water in Kinneret Lake from rainfall enhancement. A lecture given at the conference of the Israel Meteorological Society, 31 December.

Boegli, W. J. and others, 1977. Geothermal desalting of the East Mesa site. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokoyo, 27 November - 3 December 1977.

Bollay, E., 1978. Background and site selection. In World Meteorological Organisation, 1978, 13-20.

Bosich, J. F., 1970. Corrosion prevention for practicing engineers. New York, Barnes and Noble, Inc.

Bouwer, H., 1982. Waste Water reuse in arid areas. In Middlebrooks, 1982.

Bradanovic, J. Z., 1980. Certain considerations and criteria in marine barging of water. Proceedings of the Seminar on Small Island Water Problems. Bridgetown, Barbados, 6 - 11 October 1980. United Nations - Commonwealth Science Council. SOWRADAM Report CSC (80) SLR 6.

_____, 1982. Certain considerations and criteria for possible development of coastal desert and/or arid areas in developing countries. Alternative Strategies for Desert Development and Management, vol, 4. New York, Pregamon Press, pp. 1017-1041.

Breton, E. J., 1957. Water and ion flow through imperfect osmotic membranes. Washington, D.C., United States Office of Saline Water, Report No. 16.

Bruneau, A. A., R. T. Dempster, and G. R. Peters, 1978. Iceberg towing for oil rig avoidance. In Husseiny, 1978, 379-388.

Buros, O. K., 1981. A water reuse program on St. Croix, U.S. Virgin Islands. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

Buros, O. K. and others, 1980. The USAID Desalination Manual. Washington, D.C., United States Agency for International Development. A manual prepared by CH2M Hill International Corporation.

Buros, O. K., M. R. Brewster and F. A. Eidsness, 1984. Progress in desalination technology. Paper presented at the International Water Supply Association Conference at Tunis, November 1984.

Bushnak, Adil A. and others, 1979. Selection of desalination technology; a decision analysis approach and a case study. Desalination 30:1:483-498.

Cadwallder, E. A., J. E. Westberg and W. R. Williamson, 1977. The application of wind energy systems to desalination. Washington, D.C., United States Department of Interior, Office of Water Research and Technology. Available from National Technical Information Service, Report PB - 276 174.

Canter, L. W. 1982. Wastewater disposal and treatment. In Reid, 1982.

Central Salt and Marine Chemicals Research Institute, 1980. Bhavnagar, India. Series of letters to O. K. Buros concerning activities of the Institute.

Chagnon, S. A., Jr., 1980. The rationale for future weather modification program. Bulletin of the American Meteorological Society 61:6:546-551.

Chalchal, S., 1979. Operating experience of large MSF evaporator in Sultanate of Oman. Desalination 31: 333-340.

Cox, R. B., 1979. Energy costs of various desalting processes. Pure Water (Englewood, New Jersey) 8:4.

_____, 1982. Topping units to upgrade multistage flash desalting Plants. Proceedings of the Tenth Annual Water Supply Improvement Association Conference. Honolulu, 25-29 July 1982.

Crites, R. W., 1981. Economics of reuse. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium, Washington, D.C., 23-28 August 1981.

Culp/Wesner/Culp, 1979. Water reuse and recycling; evaluation of treatment technology. Washington, D.C., Department of Interior, Report OWRT/RV-79/2, vol. 2.

Curran, H. M., D. Dykstra and D. Kenkeremath, 1976. State-of-the-art of membrane and ion exchange desalting processes. Prepared for the United States, Department of Interior, Office of Water Research and Technology, Report HIT-658 by Hittman Associates, Inc., Columbia, Maryland.

Davis, Thomas A., 1978. Osmatic propulsion of icebergs. In Husseiny, 1978, 350-358.

Delyannis, A. A., 1984. Letter to E. Fano of 2 February 1984.

De Maio, A. and others, 1979. An advanced method for sea water chemical treatment in MSFD plants. Desalination 31:2:321-331.

Denner, Warren W., 1978. Enviornmental factors along an iceberg tow route in the Indian Ocean. In Husseiny, 1978, 389-416.

Derowitsch, Richard W., 1982. Comparison of reverse osmosis and electrodialysis plant performance on Sanibel Island. Lecture presented to Seminar on Desalination Technology 1982. New York, Columbia University, July 1982.

Diamant, B. Z., 1981. Appropriate water reuse technology for developing countries. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

D'Itri, F. M., ed., 1977. Wastewater renovation and reuse. New York, Marcel Dekker.

Dunham, D. C., 1978. Fresh water from the sun. Washington, D.C., United States, Department of State, Agency for International Development.

Economist (London), 10 December 1983. Shipping, spectator overboard, pp. 71-72.

Eibling, J. A., 1980. Personal communication to O. K. Buros, 2 July 1980.

El Hares, H. and M. Aswed, 1979. Trends in Libyan desalination and water reuse policy. Desalination 30:1:163-173.

El-Ramly, Nabil A. and Charles F. Congdon, 1981. Desalting plants inventory report No. 7. Honolulu, Techno-Economic Services and Ipswich, Massachusetts, National Water Supply Improvement Association.

Everest, W. R., 1981. Reclamation of wastewaters and degraded river waters by advanced wastewater treatment in Hong Kong. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

Fair, G. M. and J. C. Geyer, 1958. Elements of water supply and waste water disposal. New Yrok, John Wiley and Sons.

Fluor Engineers, Inc., 1978. Desalting plants and progress, an evaluation of the state-of-the-art and future research and development requirements, 2nd ed. Washington, D.C., United States Department of the Interior. NTIS No. PB 290 75.

Friedlander, H. Z. and R. N. Rickles, 1966. Membrane separation processes. International Chemical Engineering 28 February 1966.

Frisch, K. C. and J. E. Kresta, 1978. The use of foam insulation for transport of icebergs. In Husseiny, 1978, 418-422.

Fuhs, Allen E. and others, 1978. Self propelled icebergs. In Husseiny, 1978, 359-378.

Gagin, A., 1978a. Cloud physics as related to precipitation enhancement. In World Meteorological Organization, 1978, 21-26.

_____, 1978b. Present state of knowledge in the field of precipitation enhancement. In World Meteorological Organization, 1978, 21-26.

_____, 1981. The Israeli rainfall experiments; a physical overview. Jerusalem, Hebrew University Department of Atmospheric Sciences.

Gagin, A. and J. Newmann, 1976. Artificial stimulation of precipitation, present state of knowledge. Jerusalem, Hebrew University Department of Atmospheric Sciences.

_____, 1981. The second Israel randomized cloud seeding experiment; evaluation of results. Journal of Applied Meteorology, 20:11:1301-1311.

Gagin, A. and J. Warner, 1978. Uncertainties in the science of weather modification as related to precipitation enhancement. In World Meteorological Organization, 1978, 27-30.

Galal, Salah, 1978. The challenges of iceberg utilization. In Husseiny, 1978, 8-10.

Gasparini and others, 1979. Technical and economic valuation of the coupling of a low temperature multiple effect (LTME) plant to solar collector systems. Desalination 31:2:457-468.

Gibbs, Robert, 1982. Desalinzación en México; uso de la technología existente mas inovación. Agua (Houston, Texas), 1:3,4:17-20.

Goldstein, A. L., 1979. Electrodialysis on the American continent. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977.

Goldstein, D. J. and J. G. Casana, 1982. Municipal wastewater reuse in power plant cooling systems. In Middlebrooks, 1982.

Gomez, Evencio G., 1979. Ten years operating experience at 7.5 mgd desalination plant; Rosarito B. Cafa, Mexico. Desalination 31:1:77-90.

Harkare, W. P. and others, 1982. Desalination of brackish water by electrodialysis. Desalination 42:1:97-105.

Hart, O. O. and L. R. J. van Vuuren, 1977. Water reuse in South Africa. In Shuval, 1977.

Hoffman, D. and A. Ophir, 1982. Low temperature distillation plants vs, sea water reverse osmosis; the single purpose plant case. Proceedings of the Tenth Annual Water Supply Treatment Association Conference. Honolulu, 25-29 July 1982.

Holman, J. K., 1983. The viability of freshwater backhauls and the international water resources project. Proceedings of the International Seminar on Fresh Water Tanker Ballasting. Tripoli, 31 May - 1 June 1983. London, International Maritime Organization.

Howe, E. D. and B. W. Tleimat, 1974. Twenty years of work on solar distillation at the University of California. Solar Energy 16.

Hrudey, S. E., 1981. Water reclamation and reuse. Journal of the Water Pollution Control Federation (WPCF) 53:6.

_____, 1982. Water reclamation and reuse. Journal WPCF 54:6.

Hrudey, S. E. and D. W. Smith, 1983. Water reclamation and reuse. Journal WPCF 55:6.

Hsu, C. F. and S. A. Changnon, Jr. 1983. On the evaluation of operational cloud seeding projects. Water Resources Bulletin 19:4:563-569.

Huff, F. A. and S. A. Changnon, Jr. 1972. Evaluation of potential effects of weather modification on agriculture in Illinois. Journal of Applied Meteorology 11:376-384.

Hult, John L., 1978a. The global role of Antarctic iceberg exploitation. In Husseiny, 1978, 29-31.

_____, 1978b. A pilot program for exporting Antarctic icebergs. In Husseiny, 1978, 528-535.

Hult, J. L. and N. C. Ostrander, 1973. Antarctic icebergs as a global fresh water resource. Santa Monica, California, the Rand Corporation, Report R-1255-NSF.

Hussain, Syed N., 1978. Iceberg protection by foamed insulation. In Husseiny, 1978, 423-472.

Husseiny, A. A., ed., 1978. Iceberg Utilization, Proceedings of the First International Conference. Ames, Iowa; 2-6 October 1977. New York, Pergamon Press.

Idelovitch, E., M. Michail and B. Z. Goldman, 1983. Dan Region Project, groundwater recharge with municipal effluent, sixth recharge year, 1982. Tel Aviv, Tahal Water Planning for Israel, Ltd.

Jamjoom, Isam M. R. and others, 1979. Saudi Arabian-U.S. joint agreement for technical co-operation in desalination. Desalination 30:1:247-257.

Job, Jonathan G., 1978a. High efficiency iceberg propulsion systems. In Husseiny, 1978, 339-349.

_____, 1978b. Yields and energetics in moving unprotected icebergs to southern continents. In Husseiny, 1978, 503-527.

Juda, W. and W. A. McRae, 1953. United States Patent Nos. 2,636,851 and 2,636,852.

Kasperson, R. E. and J. X. Kasperson, eds., 1977. Water Reuse and the Cities. Hanover, New Hampshire, University Press of New England.

Katz, William E., 1977a. Electrodialysis: the first twenty-five years. Paper presented at the Fifth Annual Meeting, National Water Supply Improvement Association. San Diego, California, July 1977. Watertown, Massachusetts, Ionics, Inc. Bulletin TP 305.

_____, 1977b. The electrodialysis reversal process. Paper presented at the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977. Watertown, Massachusetts, Ionics, Bulletin TP 307.

Kawahara, T., A. Katsutoshi, and I. Tomoyasu, 1977. The development of a new electrodialyzer for desalination. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977.

Kelley, John J., 1978. Icebergs, natural resource. In Husseiny, 1978, 20-24.

Khalaf, Salman, Mahmoud Alarrayedh and A. Wajed Alawadi, 1981. Operational experience of two 11,500 m3/d sea water desalination plants, Bahrain. Desalination 39:219-227.

King, W. D., 1982. Cloud seeding in Australia, experiments 1948-1981 and prospects for future developments. Sydney, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.

Kishi, M., S. Serizawa and M. Nakano, 1977. New electrodialyzer system with automatic chemical cleaning. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977.

Klaxen, D. G. and G. A. Pieper, 1978. The multi-stage flash fluidized bed evaporator in combination with solar energy as a heating source. Proceedings of the Sixth International Symposium on Fresh Water from the Sea. Las Palmas, Spain, 17-28 September, 1978.

Kloner, Z., 1981. Economic benefit to agriculture from rainfall enhancement by cloud seeding in Israel. Jerusalem, Ministry of Agriculture.

Kollemeyer, Ronald C., 1978. West Greenland glaciers; iceberg sources. In Husseiny, 1978, 25-28.

Kuenstle, K. and V. Janisch, 1979. Optimization of a dual purpose plant for seawater desalination and electricity production. Desalination 30:1:555 570.

Kutbi, Ibrahim I., Zeinab A. Sabri and Abdo A. Husseiny, 1982a. Reliability of MSF processes based on operational history. Desalination 41:1:81-113.

_____, 1982b. Operational data analysis of MSF desalination plants; case study of Jeddah I. Desalination 42:2:163-198.

Latour, S. R., 1980. Sea water reverse osmosis; state of the art assessment. Desalination 32:3:221.

Lowand, T. A., 1975. Systems for solar distillation. Québec, Canada, Brace Research Institute, Report R. 115.

Loeb, S. and S. Sourirajan, 1961. Report No. 60-60. University of California at Los Angeles.

Maadhah, A. G. and C. K. Wojcik, 1981. Performance study of water desalination methods in Saudi Arabia. Desalination 39:2:205-217.

Manjarrez, R. and M. Galvin, 1979. Solar multistage flash evaporation (SMSF) as a solar energy application on desalination processes; description of one demonstration plant. Desalination 31:2:545-554.

Mara, D. D., 1976. Sewage Treatment in Hot Climates. London, John Wiley and Sons.

Mason, E. A. and T. A. Kirkham, 1959. Design of electrodialysis equipment. Chemical Engineering Progress Symposium Series: Absorption, Dialysis and Ion Exchange, 55:24:173-189.

Mattson, Melvin and Melvin Lew, 1982. Recent advances in reverse osmosis and electrodialysis membrane desalting technology. Desalination 41:1:1-24.

Mattson, Melvin and Jerry E. Lundstrom, 1979. New developments in brackish water desalting by electrodialysis. Paper presented at the Seventh Annual Conference, National Water Supply Improvement Association, New Orleans, September 1979.

Maurel, A., 1979. Dessalement et energies nouvelles. Desalination 31:2:489-499.

McCarthy, J. V. and J. M. Leigh, 1979. The prospects for desalination using solar energy. Melbourne, Australia, BHP Research laboratories.

McCarthy, P. L. and others, 1981. Performance of water factory 21 in removing priority pollutants. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

McCue, D. M., 1975. Titanium tubes cut costs even in average water. Electrical World, 15 February 1975.

McRae, W. A. and others, 1977. Fresh water from the sea; 380 cubic meter per day high temperature ED plant. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 Novemeber - 3 December 1977.

Mehta, D. J., V. P. Pandya and A. V. Rao, 1976. Reverse osmosis relevant to India. Proceedings of the First Desalination Congress of the American Continent. Mexico City, 24-29 October 1976.

Meigs Peveril, 1966. Geography of Coastal Deserts. Paris, UNESCO.

Membrane Systems, Inc., 1982. Reverse osmosis. Corpus Christi, Texas 78408. Mimeographed.

Mendoza, H., 1981. An evaluation of the use of Mexico City waste water on the irrigation of crops. Proceedings of the Second Water Reuse Symposium. Washington, D.C., 23-28 August 1981.

Metcalf and Eddy, Inc., 1972. Waste Water Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, 1st ed. New York, McGraw Hill Book Company.

_____, 1978. Waste Water Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 2nd ed. New York, McGraw Hill Book Company.

Metzler, D. F. and others, 1958. Emergency use of reclaimed water for potable supply at Chanute, Kansas. Journal American Water Works Association, 55:1021-1057.

Meyer, Trygve A., 1983. Freshwater ballasting as a means for the conservation of energy and natural resources. Proceedings of the International Seminar on Fresh Water Tanker Ballasting. Tripoli, 31 May - 1 June 1983. London, International Maritime Organization.

Middleton, F. M., 1977. Advanced wastewater treatment technology in water reuse. In Shuval, 1977.

Morin, O. J. and R. A. Johnson, 1980. MSF evaporator fabricated from reinforced thermosetting materials. Desalination 32:2:355-364.

Mustacchi, C. and V. Cena, 1978. Solar water desalination. Technology for Solar Energy Utilization. Vienna, United Nations Industrial Development Organization. Development and Transfer of Technology Series No. 5, ID/202.

Nada, N., 1982. Operating experience of MSF units in Saudi Arabia. Desalination 41:1:57-70.

Natu, G. L., H. D. Gohari and S. D. Gomkale, 1979a. Solar distillation plant at Awania, Gujarat, India. Desalination 31:2:435-442.

_____, _____, 1979b. Problems in construction and maintenance of large solar stills plants. Proceedings of the National Solar Energy Convention, 1979.

Nebbia, G. and G. Menozzi, 1966. A short history of water desalination. Acque Dolce Dal Mare, IIa Inchiesta Internazionale. Milan, Italy, April 1966.

Nojiri, Y. and K. Fujii, 1976. Utilization of cement as an evaporator shell material. Proceedings of the First Desalination Congress of the American Continent. Mexico City, 24-29 October 1976.

Ohlemann, B. and D. K. Emmermann, 1983. Operating experience and performance data of an advanced barge-mounted VTE-VC sea water desalination plant. Desalination 45:2:39-48.

Osenga, W. A., 1980. Adaptation of western technologies in developing countries. Asia Aquatech Conference Workshop. Singapore, 1980.

Pacey, A., 1978. Sanitation in Developing Countries. London, John Wiley and Sons.

Parrett, Tom, 1982. Membranes, succeeding by separating. Technology March/April: 16-29.

Petersen, G. and others, 1979. Wind and solar powered reverse osmosis units, description of two demonstration projects. Desalination 31:2:501-509.

Pohland, Hermann W., 1980. Sea water desalination by reverse osmosis. Endeavour New Series (United Kingdom) 4:4:141-147.

Ponte, Lowell, 1978. Alien ice, an evaluation of some subsidiary effects and concomitant problems in iceberg utilization. In Husseiny, 1978, 11-19.

Power; Gwynne, 1984. Suppliers search for shuttle markets. World Water 7:2:38-39.

Rajvanshi, A. K., 1979. Analytical and experimental investigation of the effect of dyes on solar distillation. Ph.D. dissertation, University of Florida, Gainesville, Florida.

Rao, A. V., 1980. Letter from Rao (of the Central Salt and Marine Chemicals Research Institute, Bhavnagar, India) to O. K. Buros, dated 2 February 1980.

Reed, Sherman A., 1982. Desalting sea water and brackish waters; 1981 cost update. Prepared for the United States, Department of Interior, Office of Water Research and Technology by the Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, Tennessee, Report TM-8191.

Reid, G. W., 1982. Appropriate Methods in Treating Water and Waste Water in Developing Countries. Ann Arbor, Michigan, Ann Arbor Science Publishers.

Romeijin, A. A. and K. Eimer, 1978. Foam rubber ball cleaning in MSF evaporators in Terneuzen. Proceedings of the Sixth International Symposium on Fresh Water from the Sea. Las Palmas, Spain, 17-28 September 1978.

Rosenberg, Jerry, 1978. An overview of the organizational, management, economic and socio-political aspects of transporting icebergs from Antarctica to the United States. In Husseiny, 1978, 616-622.

Sackinger, C. T., 1980. The energy requirements of seawater desalination, reverse osmosis vs. multistage flash. Middle East Water and Sewage, April/May 1980.

Sedunov, Y. S. and W. M. Voloshchuk, 1978. Seeding strategy and technology. In World Meteorological Organization, 1978, 85-100.

Senatore, S. J., 1982. Desalting water costs; 2.37 million gallons per day; RO vs. MSF vs. VCVTFE. Proceedings of the Tenth Annual Water Supply Improvement Association Conference. Honolulu, 25-29 July 1982.

Sephton, H. H., 1980. Desalination by vertical tube foam evaporation utlizing power plant waste heat. Proceedings of the Seventh Annual Symposium on Fresh Water from the Sea. Amsterdam, 23-27 September 1979.

Seto, T., H. Kawate and R. Komori, 1977. Development of ion exchange membrane technology. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977.

Shuval, H. I., ed., 1977. Water Renovation and Reuse. New York, Academic Press.

_____, 1980. Quality management aspects of waste water reuse in Israel. In H. I. Shuval, ed. Water Quality Management under Conditions of Scarcity. New York, Academic Press

Silver, R. S., 1979. For want of a nail. Desalination 30:2:39-44.

Simpson, Joanne, 1970. Cumulus cloud modification, progress and prospects. A Century of Weather Progress. American Meteorological Society.

_____, 1971. Increasing rainfall by cloud seeding. The Science Teacher 38:9 Washington, D.C. (December).

_____, 1978. What weather modification needs; a scientist's view. Journal of Applied Meteorology 17:6:858-866.

Simpson, Joanne and others, 1970. An airborne pyrotechnic cloud seeding system and its use. Journal of Applied Meteorology 9:1:109-122.

Smagin, V. N. and others, 1983. Optimization of electrodialysis process at elevated temperatures. Desalination 46:3:253-262.

Solar Energy Intelligence Report. Allan Frank, ed. Silver Spring, Maryland, Business Publishers Inc.

Song Shi and Pei-qi Chen, 1983. Design and field trials of a 200 m3/d sea water desalination by electrodialysis. Desalination 46:3:191-196.

Song Xutong and Chen Guang, 1983. The calculation of limiting current density of electrodialysis under the influence of water quality and temperature. Desalination 46:3:263-272.

Sourirajan, S., 1980. Reverse osmosis, a new field of applied chemistry and chemical engineering. Presented at the American Chemical Society Symposium on Synthetic Membranes and their Applications. San Francisco, 25-29 August 1980.

Tleimat, B. W., 1978. Solar distillation, the state of the art. Technology for Solar Energy Utilization. Vienna, United Nations Industrial Development Organization. Development and Transfer of Technology Series No. 5, ID/202.

Tleimat, B. W. and E. D. Howe, 1977. Solar-assisted distillation of sea water. Journal National Water Supply Improvement Association (Ipswich, Massachusetts) 4:1

United Nations, 1964. Water Desalination in Developing Countries. Sales No. 64.II.B.5.

_____, 1965. Water Desalination; Proposals for a Costing Procedure and Related Technical and Economic Considerations. Sales No. 65.II.B.5.

_____, 1967. Proceedings of the Interregional Seminar on the Economic Application of Water Desalination. New York, 22 September - 2 October 1965, Sales No. 66.II.B.30.

_____, 1968. The Design of Water Supply Systems Based on Desalination. Sales No. E. 68.II.B.20.

_____, 1969. First United Nations Desalination Plant Operation Survey. Sales No. E.69.II.B.17.

_____, 1970. Solar Distillation as a Means of Meeting Small-Scale Water Demands. Sales No. E.70.II.B.1.

_____, 1973. Second United Nations Desalination Plant Operation Survey. Sales No. E.73.II.A.10.

_____, 1974. Report of the Expert Group Meeting on the Achievement of Efficiency in the Use and Re-use of Water. Herzlyah, Israel, 11-22 November 1974, (ESA/RT/AC.9/5).

United Nations Children's Fund (UNICEF), Water and Environmental Sanitation Team (WET), 1982. From the UNICEF Waterfront. (WET/746/82), No. 30 (May - October)

United States Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, 1972. Cumulus cloud experiments. Boulder, Colorado.

_____, Weather Modification Advisory Board, 1978. The management of weather resources; proposals for a national policy and program. Washington, D.C.

United States Department of Interior. Office of Saline Water, 1965. Proceedings of the First International Symposium on Water Desalination. Washington, D.C., 3-9 October 1965.

_____, Office of Saline Water, 1970. Manual on solar distillation of saline water. Washington, D.C.

_____, Water and Power Resources Service, 1979a. Project Skywater. Washington, D.C., Government Printing Office.

_____, Water and Power Resources Service, 1979b. The SCPP (Project Skywater: The Sierra Cooperative Pilot Project).

United States Environmental Protection Agency, 1980. Aquaculture systems for waste water treatment; an engineering assessment. Washington, D.C., publication MCD-68, 430/9-80-007.

United States Environmental Protection Agency and others, 1981. Process design manual, land application of municipal waste water.

Van Vuuren, L., A. Clayton and D. vander Post, 1980. Current status of water reclamation at Windhoek. Journal Water Pollution Control Federation, 52:661-675.

Veenman, A. W., 1976. The MSF/FBE: an improved multi-stage flash distillation process. Proceedings of the First Desalination Congress of the American Continent. Mexico City, 24-29 October 1976.

_____, 1978. A review of new developments in desalination by distillation processes. Desalination 27:21-39.

Veenman, A. W. and others, 1978. The fluidized bead heat exchanger in an MSF/FBE; its self-cleaning and de-scaling capabilities. Presented at the Sixth International Symposium on Fresh Water from the Sea. Las Palmas, Spain, 17-28 September 1978.

Wade, N. W., 1979. A review of scale control methods. Desalination 30:1:309-320.

Wangnick Klaus, 1982. Ship mounted seawater 2,500 m3/d flash evaporation plant for Abu Dhabi; economic drinking water for arid regions. Desalination 41:2:137-170.

Water Desalination Report. Maria Carmen Smith, publisher-editor. Tracey's Landing, Maryland 20779, various issues.

Water and Power Corporation of Curacao (Kompania di Awa i Elektrisidat di Korsou, N.V), 1983. The history of water production on the island of Curacao. Mimeographed pages.

Water Re-use Promotion Centre, 1983. Annual Report, 1983. Tokoyo.

Watson, B. M., 1976. History, status and future of the distillation process. Washington, D.C., Department of Interior, Office of Water Research and Technology.

Weeks, W. F. and W. J. Campbell, 1973. Icebergs as a fresh water source; an appraisal. Journal of Glaciology 12:207-233

Weeks, W. F. and M. Mellor 1978. Some elements of iceberg technology. In Husseiny, 1978, 45-98.

Wilson, C. B., 1983. The tanker outlook. Hunting Group Review, No. 119, April.

Wilson, L. G., 1982. Letter to M. R. Brewster of 7 December explaining discontinuation of the CSIRO weather modification programme.

Wiseman, Robin, 1983. Saudi site for innovative solar-powered desalter. World Water (United Kingdom) 6:9:40-41.

Wojcik, Charles K., 1983. Desalination of water in Saudi Arabia by reverse osmosis; performance study. Desalination 46:3:17-34.

Wood, F. C., 1982. The changing face of desalination; a consulting engineer's viewpoint. Desalination 42:1:17-26.

Woodley, William L. and Robert I. Sax, 1976. The Florida Area Cumulus Experiment; rationale, design procedures, results and future course. Boulder, Colorado, NOAA Technical Report ERL 354-WMPO 6.

World Bank 1980. Water supply and waste disposal. Washington, D.C., Poverty and Basic Needs Series No. BN-8003.

World Meteorological Organization, 1978. Weather Modification Programme; PEP Design Document. Precipitation Enhancement Project, Report No. 9. Geneva, Switzerland.

_____, 1981. Review of the present status of weather modification. EC-XXXIII/PINK 6, Appendix C, Rev.1, 1-8.

World Water (united Kingdom), February 1983. Seeds of success in U.S. and Libya 6:2:15.

World Water (United Kingdom), October 1983. French tanker shuttles water to Spain 6:10:8.

Yambe, T., 1977. Present status of electrodialysis in Japan. Proceedings of the International Congress on Desalination and Water Reuse. Tokyo, 27 November - 3 December 1977.

Yorkshire Imperial Metals, Ltd., 1976. YIM heat exchanger tubes, matching the product to the duty. Leeds, United Kingdom, Technical memorandum No. 2.

موارد المياه : قائمة بمنشورات الأمم المتحدة

Report of the United Nations Interregional Seminar on Flood Damage Prevention Measures and Management, Tbilisi, Union of Soviet Socialist Republics,1969. (ST/TAO/SER.C/144.

Integrated River Basin Development. Revised edition. 80 pp., 2 maps. Report of a panel of experts. English (French, Spanish out of print). (E/3066/Rev.1).

Sales No. E.70.II.A.4.

Solar Distillation as a Means of Meeting Small-Scale Water Demands. 86 pp., figures, tables. English (French out of stock). (ST/ECA/121).

Sales No. E.70.II.B.1.

Triennial Report on Water Resources Development, 1968-1970. 202 pp. English only. (ST/ECA/143).

Sales No E.71.II.A.15.

Abstraction and Use of Water: A Comparison of Legal Régimes. 254 pp. French, Spanish (English out of print). (ST/ECA/154).

Sales No. 72.II.A.10.

Proceedings of the Interregional Seminar on Water Resources Administration, New Delhi, 1973. (DP/UN/INT-70-371).

National Systems of Water Administration. 183 pp., figures, annexes. English only. (ST/ESA/17).

Sales No. E.74.II.A.10.

Ground Water Storage and Artificial Recharge. Natural Resources/Water Series. No. 2. 270 pp., figures, tables. English, French, Spanish. (ST/ESA/13)

Sales No. E.74.II.A.11.

Management of International Water Resources: Institutional and Legal Aspects. Natural Resources/Water Series, No. 1. 271 pp., figures, map, tables, annexes. Report of a panel of experts. English, French, Spanish. (ST/ESA/5).

Sales No. E.75.II.A.2.

The Demand for Water: Procedures and Methodologies for Projecting Water Demands in the Context of Regional and National Planning. Natural Resources/Water Series, No. 3. 240 pp., tables, figures, annexes. English, Spanish (French out of print). (ST/ESA/38).

Sales No. E.76.II.A.1.

Ground Water in the Western Hemisphere. Natural Resources/Water Series, No. 4 337 pp., tables, figures, maps. English, French, Spanish (ST/ESA/35).

Sales No. E.76.II.A.5.

Guidelines for Flood Loss Prevention and Management in Developing Countries. Natural Resources/Water Series, No. 5. 183 pp., tables, figures, annexes. English only. (ST/ESA/45).

Sales No. E.76.II.A.7.

Report of the United Nations Water Conference, Mar del Plata, 14-25 March 1977. 181 pp., annexes. English, French (Spainish out of print). E/CONF. 70/29)

Sales No. E.77.II.A.12.

A Review of the United Nations Ground Water Exploration and Development Programme in the Developing Countries, 1962-1977. Natural Resources/ Water Series, No. 7. 84 pp. English, French, Spanish. (ST/ESA/90).

Sales No. E.79.II.A.4.

Efficiency and Distributional Equity in the Use and Treatment of Water: Guidelines for Pricing and Regulations. Natural Resources/Water Series, No. 8. 175 pp., tables, figures, annexes. English (French, Spainish out of stock). (ST/ESA/103).

Sales No. E.80.II.A.11.

Water Resources Planning: Experiences in a National and Regional Context. Report of a United Nations workshop convened in co-operation with the Government of Italy. English. (TCD/SEM.80/1).

Rural Water Supply. Report of a United Nations interregional seminar convened in co-operation with the Government of Sweden, Uppsala, Sweden, 6-17 October 1980. English. (TCD/SEM.81/1).

المياه الجوفية في شرقي البحر المتوسط وغربي آسيا ،
الموارد الطبيعية/سلسلة دراسات عن المياه ،رقم (٩) . ص ٢٣٠ ،الجداول ،والأشكال ، والخرائط .
رقم المبيع E.82.II.A.8.

Experience in the Development and Management of International River and Lake Basins. Natural Resources/Water Series, No. 10. 424 pp. Proceedings of the United Nations Interregional Meeting of International River Organizations, Dakkar, Senegal, 5-14 May 1981. (ST/ESA/120).

Sales No. E.82.II.A.17.

Flood Damage Prevention and Control in China. Natural Resources/Water Series, No. 11. Report of a study and workshop in the People's Republic of China, 16-31 October 1980. (ST/ESA/119).

Sales No. 82.II.A.13.

Ground Water in the Pacific Region. Natural Resources/Water Series No. 12. 289 pp., tables, figures, maps. (ST/ESA/121)

Sales No. E.83.II.A.12.

Technical Co-operation among Developing Countries in Groundwater Resources Development: report of a United Nations international colloquium convened in co-operation with the Government of Yugoslavia at Zagreb, 23-28 May 1983, 123 pp., tables, annexes. English only. (TCD/SEM.83/1).

Treaties concerning the Utilization of International Water Courses for Other Purposes than Navigation - Natural Resources/Water Series No. 13. 98 pp. English, French. (ST/ESA/141).

Sales No. E/F.84.II.A.'.