الباب الخامس

تطبيقات و منظومات التناضح العكسي

Reverse Osmosis Applications

مقدمة :

تستخدم تقنية التناضح العكسي في تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة وكذلك في تحلية مياه الصرف الصحي المعالج ثنائياً أو ثلاثياً، حيث يمكن تقليل ملوحة هذه المياه وتخليصها من معظم أنواع البكتيريا والفيروسات والمواد الضارة الأخرى، كما تستخدم هذه التقنية في الصناعات الغذائية ومنتجات الألبان وتركيز عصير الفواكه وغيره .، و سنعرض في هذا الباب تفصيلات محطات التناضح العكسي و الأجهزة المستعملة بالتفصيل و مراحل العمليات و التقنيات الحديثة .

1- تحلية مياه البحر :

1-1- التفصيلات الفنية لمحطات تحلية ماء البحر:

تتألف محطات تحلية ماء البحر التي تعتمد على التناضح العكسي بشكل عام من المراحل التالية:

- سحب الماء من داخل البحر وتجميعه في الخزانات.
- تعقيم الماء بواسطة الكيماويات.
- إضافة كيماويات الثختير والتلبيد.
- فلترة الماء بالفلاتر الرملية.
- ضخ الماء إلى محطات التناضح العكسي.
- إضافة كيماويات مزيل الكلور -تعديل الحموضة- ومانع تشكل القشور والترسبات.
- الفلترة الميكرونية.
- مضخات الضغط العالي.
- التحلية بواسطة الأغشية الخاصة بمياه البحر.
- خزانات تجميع الماء المعالج.
- تعقيم الماء المعالج قبل ضخه إلى شبكة المدينة.
- خزان تجميع ماء طرح المحطة المالح .
- ضخ الماء المالح وإعادته إلى داخل البحر.

1-2- الوصف التفصيلي لمكونات العملية :

وهي كالتالي بالترتيب :

1. مأخذ مياه البحر وذلك لتغذية المحطة بمياه البحر.
2. أنظمة لحقن المواد الكيميائية لعمل المعالجة الأولية لمياه البحر المغذية لأغشية التناضح العكسي

كمايلي:

أ. نظام حقن هيبو كلوريت الصوديوم وذلك لقتل البكتريا وعوالق الأحياء الدقيقة وللتعقيم كما هو معمول به في جميع محطات التحلية.

ب. نظام حقن حامض الكبريتيك المركز H2SO4 للتحكم في قيمة pH وتقليل الرواسب الناشئة عن طريق مادة Calcium Carbonate (كربونات الكالسيوم) .

ج. نظام حقن كلوريد الحديد لعمل تخثر وتجميع وتكبير للعوالق الصلبة(Suspended Solids) والتي تتم إزالتها عن طريق المرشحات ثنائية الوسيط (Dual Media Filter).

د. نظام حقن مادة الصوديوم ميتا باي سلفايت (SBS) والتي تقوم بإزالة الكلورين قبل دخول مياه البحر المفلترة إلى وحدات التناضح العكسي (في حال استخدام الكلور في التعقيم) .

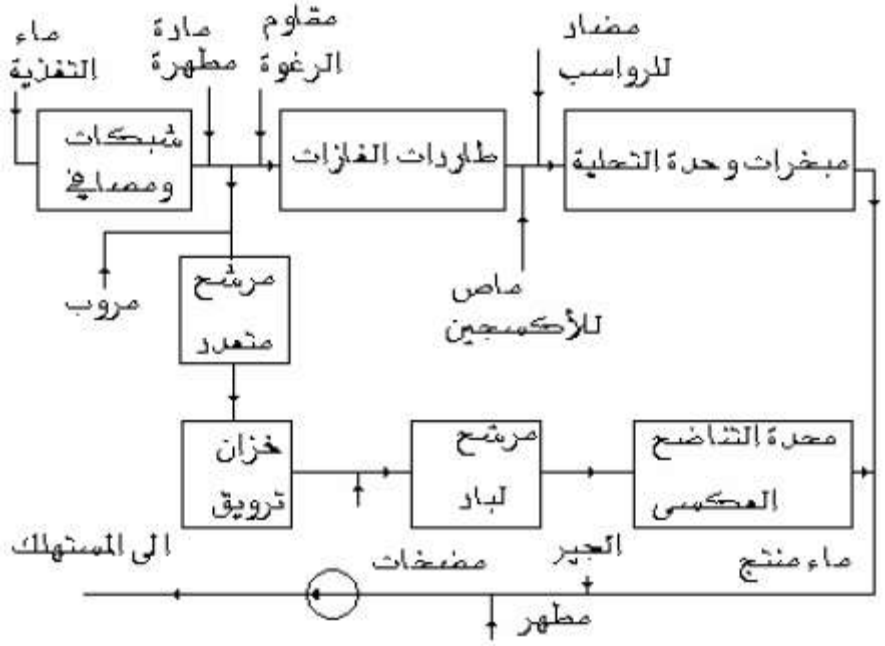
3. المرشحات ثنائية الوسيط وتتكون من ثلاث طبقات وهي طبقة فحم الأنثراسايت (Anthracite) وتحتها طبقة الرمل الناعم (Fine Sand) وهما الطبقتين التي يتم فصل العوالق بواسطتها أما الطبقة الثالثة وهي الحصى (Gravel) والغرض منها تثبيت الطبقتين السابقتين خلال عمل غسيل للخلية (Backwash) التي تحوي هذه الطبقات وللحصى ثلاث طبقات بأحجام مختلفة، وفي أسفل الخلية يوجد غرفة لتجميع المياه المفلترة.

4. نظام المياه المفلترة (Clear well Filtered Water) وهو عبارة عن خزان إسمنتي تخزن فيه المياه المفلترة الخارجة من خلايا المرشحات الوسيطية ومضخات تقوم بضخ المياه المفلترة إلى وحدات التناضح العكسي.

5. وحدة MCF (Micron Cartridge Filter) وهي عبارة عن فلاتر أسطوانية تقوم بفصل العوالق الصلبة الدقيقة التي لا تفصل في المرشحات الوسيطية.

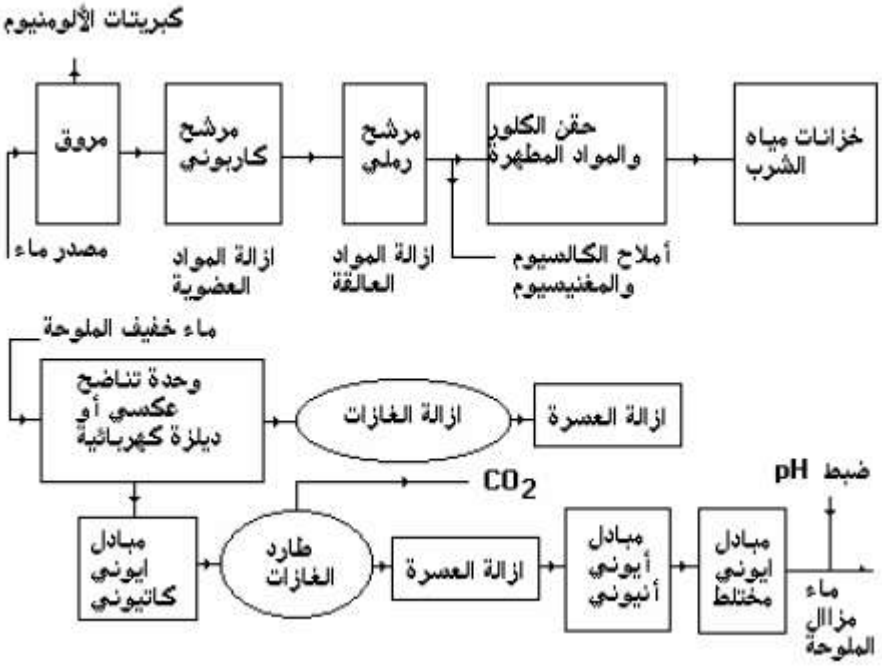
6. بعدما يتم ضخ المياه المفلترة عن طريق الفلاتر MCF تدخل إلى وحدات التناضح العكسي بالمواصفات القياسية للأغشية المستخدمة ويتم رفع الضغط عن طريق مضخات ضغط عالي (HP Pump) ومن ثم تتم عملية التناضح العكسي داخل الأغشية فيعود المحلول الملحي المركز إلى البحر أما الإنتاج فيذهب إلي خزان المياه المنتجة بعد ذلك تتم المعالجة النهائية بإضافة مادة الكالسيوم هيبو كلورايت (عن طريق نظام خاص للحقن) لتعقيم المياه المنتجة و نضيف الجير (عن طريق نظام خاص للحقن) لرفع قيمة الحمض الهيدروجيني pH بعد ذلك تضخ المياه للمدينة.

و الشكل التالي يبين المراحل الأساسية لهذه العملية :



شكل (1) المراحل الأساسية التي تمر بها عملية المعالجة بالتناضح العكسيلمياه البحار

و بالتالي يمكننا أن نعطي تصوراً عاماً لمحطة معالجة مياه البحر بالتناضح العكسي وفق الشكل (2)



شكل (2) تصور عام لمحطة معالجة نموذجية لمياه البحر

و لكن كما ذكرنا سابقاً يجب دائماً معرفة نوعية و درجة ملوحة مياه البحر لأنها تختلف من مكان لآخر

1-3- المواصفات القياسية لمحطات تحلية مياه البحر :

- **هيكل معالج بنفخ الرمل ومدهون بطبقه من الإيوكسي لمقاومة التآكل .**

- فلتر الشوائب الدقيقة الحاوية المكون من الصلب الذي لا يصدأ أو معجون البلاستيك المقوى بالزجاج والخراطيش ذات فلتر 5 ميكرون .
- خلاط كهربائي مصنوع من معجون البلاستيك المقوى بالزجاج.
- مضخات حقن الحامض ومنع الترسب .
- مضخة ذات ضغط عال مصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ مع موتور مبرد بواسطة مروحة (تبريد مؤقل كاملً) .
- أغشية تعمل بتقنية التناضح العكسي .
- لوحه المراقبة الكهربائية مكتملة قابلة للقفل .
- مواسير وتوصيلاتها للضغط العالي مصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ (Stainless Steel) .
- مواسير وتوصيلاتها للضغط المنخفض مصنوعة من بلاستيك (Upvc) .
- جهاز قياس كمية الماء المنتج .
- جهاز قياس كمية الماء الرجيع .
- أجهزة قياس الضغط الداخل والخارج إلى ومن مصفي الشوائب الدقيقة .
- جهاز قياس ضغط التشغيل مع مضخة الضغط العالي .
- سويتش ضغط ماء التغذية المنخفض .
- جهاز ضغط وتحكم الأس الهيدروجيني .
- جهاز قياس درجة الحرارة لماء التغذية .
- سويتش عال / منخفض لدرجة حرارة ماء التغذية .
- جهاز قياس كمية ماء التغذية .
- جهاز قياس ملوحة الماء (التوصيلية / مجموع الأملاح الذائبة) ثابت أو متنقل .
- جهاز قياس ضغط الماء الرجيع .
- صمام تحويل أوتوماتيكي للماء المنتج .
- جهاز لقياس ساعات التشغيل .
- وحده تجربة وقياس دليل كثافة الطمي (SDI) .
- مجموعه قياس الحديد .
- مجموعه قياس الكلور .
- جهاز قياس الأس الهيدروجيني (ثابتة / متنقلة) .
- جهاز ضغط عال متنقل .
- جهاز سمعي للإنذار والتوقيف .
- مجموعه تنظيف الأغشية .
- مقياس جهد كهربائي أو ذبذبة بديل .
- لوحة كهربائية .
- معدات إزالة الكلور .

1-4- محددات التصميم لمحطات تحلية مياه البحر :

- مجموع المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية .
- حرارة الماء عند التشغيل .
- ضغط الماء عند التشغيل .
- نسبه إزالة الأملاح .
- الاستعادة النسبية .

1-5- فوائد عملية تحلية ماء البحر باستخدام التناضح العكسي :

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

1- تدني استهلاك الطاقة بالمقارنة مع اغلب نظم التقطير، وذلك نظراً لعدم وجود تغيير في الصورة الفيزيائية للماء .

أما متطلبات طريقة التناصح العكسي من الطاقة، فهي تتراوح بين 6 – 8 كيلووات ساعة/ ألف غالون من الماء العذب المنتج من مياه قليلة الملوحة. وتتراوح هذه النسبة في حالة تحلية مياه البحر بين35 – 40 كيلووات ساعة/ ألف غالون من الماء العذب، ويمكن خفض مقدار الطاقة المستهلكة بتركيب جهاز لاسترجاع الطاقة المهدورة في ماء تدفق المحلول الملحي المركز الناتج عن التحلية، والذي يتراوح ضغطه ما بين 750 – 950 رطلاً على البوصة المربعة (**psi**) .

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

2- تدني المساحة التي يشغلها بالمقارنة بنظم التحلية الأخرى.

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

4- مدة انجاز مشاريع التناضح العكسي أقل مما هي الحال عليه بالنسبة لوحدات التقطير.

5- قلة تكلفة معظم مكونات النظام لكونها بلاستيكية الصنع.

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

1-6- مقارنة بين تقنية التناضح العكسي و التقنيات الأخرى :

يمكننا إجراء مقارنة بين تقنية التناضح العكسي و تقنيات التحلية الحرارية الثلاث المستخدمة في معالجة مياه البحر من خلال الجدولين (1 – 2)

جدول (1) مقارنة الميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

المميزات	*التكنولوجيا*
التبخير الوميضي متعدد المراحل (MSF)	١ -مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل m3 . ٢ -الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً من 5 – 25 جزء في المليون . ٣ -التكنولوجيا ناضجة و العملية مستقرة و الخبرة فيها للتشغيل و الصيانة عالية . ٤ -يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى 10^5 م3 / يوم . ٥ -التبخير بعيد عن سطح انتقال الحرارة . ٦ -التكنولوجيا بسيطة .
التبخير متعدد التأثيرات (ME)	١ -مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل m3 . ٢ -الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً 5 – 25 جزء في المليون . ٣ -التكنولوجيا ناضجة و العملية مستقرة و الخبرة فيها للتشغيل و الصيانة عالية . ٤ -انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى : – خفض نسب تكوين الرواسب و التآكل . – رفع قيمة الإتاحة و التواجدية . – استخدام مواد رخيصة الثمن .
ضغط البخار (VC)	١ -يحتاج فقط للطاقة الكهربائية (MVC) ٢ -الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً 5 – 25 جزء في المليون . ٣ -لا تحتاج إلى ماء تبريد لذا يمكن بناؤها بعيد عن مصدر كبير للماء . ٤ -من أبسط و أكفأ التكنولوجيات . ٥ -انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى : – خفض نسب تكوين الرواسب و التآكل . -رفع قيمة الإتاحة و التواجدية .

	– استخدام مواد رخيصة الثمن
التناضح العكسي (RO)	١ -لا يحتاج إلى تسخين لماء التغذية و هذا يقلل من التآكل و الترسبات . ٢ -ملوحة الماء المنتج من 300 – 500 جزء في المليون و هي مناسبة لماء الشرب . ٣ -مرونة سعة الوحدات (من 100 ليتر و حتى 5^10 م3 / يوم) حسب حجم و عدد الأغشية المستخدمة . ٤ -تحتاج فقط إلى طاقة كهربائية ، كما يمكن استعادة من 25 – 35 % من هذه الطاقة .

كما يمكننا المقارنة بين مواصفات الأداء الأساسية للتناضح العكسي مع باقي الوحدات كما في الجدول

جدول (2) مواصفات الأداء الأساسية لوحدات التحلية التجارية بالمقارنة مع التناضح العكسي

العنصر	التبخير الوميضي	متعدد التأثير	ضغط البخار	التناضح العكسي
أقصى سعة للوحدة (م 3 / يوم)	70000	24000	5000	10000
معدل استهلاك الكهرباء (منتج kwh / m3)	4	1.8	9–7	8
سعر الوحدة (دولار لكل م 3 / يوم)	2000–1000	2000–500	2000–1500	2400–800
سعر إنتاج المتر المكعب من الماء (دولار / م3)	1.5–0.5	0.5	1–0.5	1.25–0.75
نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من 4000 م3 في اليوم %	64	3.6	2	25.7
نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من 100 م3 في اليوم %	48.1	4	3.9	35.9

نلاحظ من الجدولين السابقين أن تقنية التناضح العكسي بدأت تفرض نفسها على طرق التحلية الأخرى فيما يتعلق بتحلية مياه البحار لكنها لم تصل إلى مستوى استخدام تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل .
و بناء على ما سبق أجريت دراسات عدة للتهجين بين طريقتي التناضح العكسي و التبخير الوميضي متعدد التأثير و بين تقنية التناضح العكسي و غيرها من الطرق المذكورة سابقاً .

- أنظمة التناضح المهجنة :

التهجين بين طرق التحلية قد يكون ذا فائدة اقتصادية في كثير من الحالات فهو وسيلة للجمع بين ميزات طريقتين أو أكثر من طرق التحلية وقد يؤدي إلى رفع مستوى أداء بعض الطرق عند دمجها مع طرق أخرى مقارنة بأدائها منفردة، إلى جانب أنه يجنب تكرار المعدات والمنشآت مما يقلل من التكلفة الرأسمالية والتشغيلية. وأوضح أمثلة لنظم التهجين هي تلك التي يتم الجمع فيها بين طريقتي التقطير الوميضي متعدد المراحل وطريقة التناضح العكسي، فيسمح بتغذية محطة التناضح العكسي بمياه التبريد المرجعة التي سبق تسخينها بمحطة التقطير الوميضي متعدد المراحل فيرتفع إنتاج محطة التناضح العكسي بنسبة قد تصل إلى 30% في حين يمكن الاستغناء عن منشآت مآخذ مياه البحر الخاصة بالتناضح العكسي وخفض حجم قناة ومعدات صرف مياه الترجيع من المحطتين معاً. كما أن خلط الماء المنتج من التقطير وهو ماء مقطر لا يزيد تركيز الأملاح الذائبة فيه عن 30 ميلليغرام/لتر مع الماء المنتج من محطة التناضح العكسي ذات أملاح ذائبة قد تصل إلى 500 ميلليغرام/لتر ينتج ماءً عذباً ذا محتوى ملائمة للشرب والاستخدام اليومي دون الحاجة إلى مياه آبار لمعالجة المياه المنتجة من المقطرات. وهناك توجه لإجراء المزيد من الدراسات والأبحاث للوصول إلى أفضل نظم التهجين بين طرق التحلية التي تقدم وصفها.

1-7- تحليل السيطرة على تلوث البيئة البحرية باستخدام التناضح العكسي بالمقارنة مع التقطير:

هناك العديد من التقنيات و التطبيقات البديلة التي يمكن استخدامها و ذلك بهدف التحكم بتلوث البيئة البحرية الناجم عن المحلول المركز المتخلف من عمليات التناضح العكسي و خاصة عند استخدام وحدات التناضح العكسي المحمولة على السفن كما يمكن تطوير نظام التحكم هذا بعدة وسائل و يمكن تعريف وسيلة التحكم بتلوث البيئة البحرية (MPCD) بأنه أي تجهيزة أو أداة يمكن مزاولتها من أجل تركيبها أو استخدامها في الوحدات الموجودة على السفن والمصممة لاستقبال ، احتجاز ، معالجة ، تحكم أو إزالة أي حدث طارئ يمكن أن يطلق نتيجة العمليات الطبيعية التي تتم على السفن .
المرحلة الأولى تتطلب العديد من العوامل التي ينبغي أن تحسب عند تحديد أي نوع من الانبعاثات التي يمكن أن تحدث و التي يجب التحكم بها بوساطة (MPCD) و هذه تتضمن التأثيرات التشغيلية الجاهزة و الممكن عملها و كذلك كلفة الأداة أو الوسيلة ، و أثناء المرحلة الأولى لاختبار الأداة البديلة التي يمكن اعتبارها و وضعها بشكل معقول و الممكنة عندما يظهر التحليل إمكانية اعتبارها و استخدامها من أجل عدد محدود من الأوعية أو صفوف من الأوعية أو فقط عند التركيب الحديث للأوعية و بناء على ذلك كل (MPCD) بديلة تكون غير محدودة و التقدير الأفضل للأداة يمكن إجراؤه خلال المرحلة الثانية عند تحديد متطلبات الأداء للوسيلة ، تحليل هذه المرحلة لا يمكن بوساطته وصف الوسيلة و ربما يقرر اعتبار الأداة وسيلة تحكم إضافية .

خيارات (MPCD) :

إن وحدات التناضح العكسي التي تولد الماء العذب من مياه البحر و التي تستخدم في العديد من الاستعمالات على السفن تتضمن ما يلي :

١ -إنتاج الماء الصالح للشرب .

٢ -خدمات الفنادق للسفن السياحية .

٣ -إنتاج مياه الاستحمام للسفن الشراعية .

٤ -إنتاج المياه لتغذية المراجل و الغلايات في السفن التي تعمل بالطاقة البخارية .

٥ -إنتاج مياه التغذية الاحتياطية للمراجل في أغلب أنواع السفن .

إن الانبعاثات من وحدات التناضح العكسي المعالجة للسوائل تتضمن مياه البحر النفوذة ، المواد الملوثة من عناصر النظام ، المواد الكيميائية المستخدمة في إزالة الترسبات و القشور .

إن أنظمة التناضح العكسي تفصل الماء النقي من ماء البحر باستخدام معالجة ابتدائية قبل الأغشية كمانع فيزيائي و السماح لجزء من مياه البحر باجتياز الأغشية كماء منقى من الأملاح (أو منخفض الأملاح) و منع مرور المواد المعلقة و المنحلة عبر الغشاء مما يؤدي إلى زيادة تركيز المحلول المتخلف عن عملية المعالجة و الذي يتم إعادته إلى البحر .

هناك خمسة خيارات ل (MPCD) و التي يمكن استخدامها للتحكم بهذه الانطلاقات و التي يتم اختيارها اعتماداً على حجز المواد و الوسيلة ، وسائل منع التلوث ، و التطبيق الممارس و هي مدرجة في القائمة التي في الأسفل مع وصف مختصر لكل منها :

الخيار الأول : تحديد عمليات تحلية الماء من الوحدات في المرفأ :

نقل أو تصغير وحدات التناضح العكسي ووضعها في الميناء ربما يتطلب مصادر بديلة من الماء اللازم للغلايات من أجل السفن التي تعمل بالطاقة البخارية .

الخيار الثاني : تركيب وحدات التناضح العكسي الغير ضرورية ووضع الماء العذب في الميناء :

وهذا يتطلب استخدام دعائم و ركائز على الشاطئ لتزويد الماء العذب و ذلك لإمكانية تمديد كل الوحدات على سفن الطاقة الغير بخارية و الوحدات الغير ضرورية على ألواح سفن الطاقة البخارية لتخفيض التآكل و الحت .

الخيار الثالث : الحاجة لأنظمة تناضح عكسي على سفن جديدة :

تحديد وحدات التناضح العكسي بدلاً من وحدات التقطير لسد الاحتياجات المتطلبة من الماء العذب (ماعدا إنتاج الماء المعد للغلايات) و ذلك للسفن المركبة حديثاً ، و الانبعاثات من وحدات التناضح العكسي من المتوقع أن تحوي على مواد ثقيلة أقل .

الخيار الرابع :

الحصول على الماء العذب مباشرة لتشغيل وحدات التقطير المحملة على السفن البخارية عند وصولها للمرفأ :

و هذا يتطلب ماء عذب من نقطة الاتصال بالشاطئ بدلاً من مياه البحر و ذلك للتزويد بالماء المنقى من أجل وحدات التقطير في السفن البخارية و هذا الخيار من الممكن أن يقلل من كتلة المواد المحمولة مع التيار المنبعث و ذلك بتخفيض مياه البحر المحرضة للتآكل .

الخيار الخامس : تغيير مواد تركيب وحدات التناضح العكسي و التقطير :

ينبغي تحديد نوعية مواد تركيب وحدات التحلية أو استبدالها بمواد ذات معدل ضرر أقل .

نتائج تحليل (MPCD) :

الجدول التالي يظهر نتائج التحليل المتعلقة باختيار الأداة البديلة ويحوي على معلومات عن الأمور التي يمكن عملها ، أثر هذه العمليات ، الكفاءة ، الكلفة ، التأثيرات البيئية ، و التصميم النهائي لكل خيار و المعتمد على نتائج البحث هذه : الخيار الثالث يتطلب أنظمة تناضح عكسي مركبة على سفن جديدة يعرض الشكل الأمثل لهذه العناصر و المحسوب بالاعتماد على تصور معقول و (MPCD) من الممكن عملها وفقاً لهذا التصور .

جدول (3) مقارنة خيارات السيطرة على تلوث البيئة البحرية

التصميم	التأثيرات البيئية	الكلفة	الأثر على كفاءة عمليات التشغيل	العملية	خيار (MPCD)
بالرغم من أن هذا الخيار يخفض من الانبعاثات من مراجل الدفع إلا أن السفن الغير بخارية ينبغي أن تتخذ إجراءات وقائية معززة له .	هذا الخيار فعال في تخفيض الانبعاثات من المحلول المالح الناتج عن وحدات التحلية في الميناء أو أي آثار حرارية مؤثرة و فعالية هذا الخيار مناسبة للعديد من الوحدات التي تكون محصورة ضمن منطقة محددة و المعتمدة على المصادر المتاحة من الغلاية أو /و البخار .	هذا الخيار ربما يتطلب كلفاً إضافية لجمع متطلبات الماء المنقى أو المقطر من مبادل و كذلك مصدر مساند و داعم ، الكلف تتضمن البنية التحتية للبناء على الشاطئ و كذلك تجهيزات إضافية داعمة ، الكلف المماثلة يمكن أن تكون بسبب البخار المزود على الشاطئ و المستخدم في مكان البخار من غلاية المرفأ ، و	تأثير هذا الخيار على كفاءة عمليات التشغيل يعتمد على كمية الماء المقطر المزود من الشاطئ للغلاية و التزويد بماء نقي غير كافي و يؤثر على قدرة السفن البخارية على التزويد المستمر من هذه المياه و سواء توفرت التجهيزات الكافية أم لم تتوفر للتزويد بالطاقة اللازمة و دعمها	ربما يؤثر أولياً على سطوح السفن البخارية و التي تدار بالمقطرات في الميناء لإنتاج الماء النقي من غلايات الدفع ، و الماء المنقى سيزود بشكل بديل من قبل الوسائل الموجودة على الشاطئ و من المستبعد أن تكون متطلبات تلك الوسائل موجودة على السفن في الميناء .	الخيار الأول

		هذا الخيار يخفض من عمليات تحلية المياه من قبل الوحدات الموجودة على متن السفن كما أنه يخفض من كلف الصيانة .			
هذا الخيار ربما لا يؤثر على السفينة من خلال تخفيض حمولة المواد و على الرغم من هذا التخفيض فإن تركيز هذه المواد ربما يستمر بالازدياد ليجاوز الحدود القياسية المسموحة للماء .	هذا الخيار يخفض الحمولة الكبيرة للمواد المحمولة ووحدات التنقية التي تبقى تعمل في الميناء قد تجاوز المعايير القياسية لنوعية الماء المنتج .	الكلف الإضافية لإنتاج الماء العذب تتضمن الماء العذب المزود من الشاطئ و بشكل تقريبي تقدر ب 1.00$/1000 galoon ، و كلف الهندسة و التركيب من أجل مد الأنابيب و تركيبها من خلال تركيب ركيزة أو جسر للتزويد بالماء العذب و الأثر النافع لهذا الخيار هو من خلال تخفيض التآكل و بالتالي تخفيض كلف الصيانة .	تكوين الماء العذب من وحدات التنقية الغير أساسية في المرفأ ينبغي عند التعامل معها إجراء تغيير بسيط و الذي لن يؤثر على كفاءة الأداء للسفن	السفن البخارية تعمل عادة على إنتاج الماء النقي من خلال وحدة واحدة في الميناء لإنتاج الماء من الغلايات لذا فإن هذا الخيار يناسب كل الوحدات في السفن الغير بخارية و الوحدات غير الأساسية في السفن البخارية و الماء العذب يميل لأن يكون أقل مؤاكلة من ماء البحر المحمل لتحسين الصيانة و إمكانية الاعتماد عليه وتخفيض المشاكل .	الخيار الثاني
يتطلب الأمر تركيب وحدات تناضح عكسي في جميع السفن الجديدة و سوف يكون معقولاً عند تنصيب هذه الوحدات على	هذا الخيار يخفض من حجم انبعاث المحلول الملحي و تخفيض تركيز الانبعاثات و بالمقارنة مع التقطير فإن وحدات التناضح العكسي	عموماً أنظمة التناضح العكسي تكلف أقل من وحدات التقطير مع الأخذ بعين الاعتبار كلف إعادة التركيب و الاستبدال والتجديد ، الهندسة	تتلف أغشية التناضح العكسي من قبل الزيوت و الملوثات الأخرى الشائعة و هذا الخيار ربما يخفض من التأثيرات الصوتية	هذا الخيار مناسب للسفن البخارية التي تتطلب غلايات دفع ذات مياه عالية نقاوة و التي لا يمكن أن تحقق من قبل أنظمة تناضح عكسي محمولة لذا تتطلب	الخيار الثالث

طول وحدات التقطير على السفن العاملة بالطاقة البخارية . كما أن عمليات التشغيل اللازمة تكون أقل . كلف أقل من وحدات التقطير . و يخفض التركيز المنبعث من المحلول الملحي .	تحوي على مصادر مواد ثقيلة أقل و لا تحتاج لعمليات تسخين من أجل التحلية و التي ينتج عنها آثار حرارية و لا تستخدم مواد كيماوية مضادة للترسبات بالمقارنة مع التقطير .	و التركيب ، الدعم ، التشغيل و الصيانة و وحدات RO لا تتطلب تغذية كيميائية أو أدوات للتنظيف لذا فإن كلف التنظيف و المواد الكيماوية لن تحسب هنا .	و الحرارية لوحدات التناضح التي تتطلب محركات و مضخات أقل و التي لا تتطلب تسخين المنتج .	هذه السفن جمع وحدات تقطير مع وحدات التناضح العكسي فوحدات التناضح العكسي تكون أصغر و تتطلب مساحة أصغر و فراغ أقل و مكان أصغر للمعدات و التجهيزات بالمقارنة مع وحدات التقطير	
هذا الخيار معقول عند تركيب بنى تحتية مناسبة و ترقيتها ، لا يؤثر على كفاءة السفن ، و يخفض من حمولة المواد المعدنية بالرغم من أن هذا التخفيض ربما يستمر ليتجاوز الحدود القياسية للماء .	هذا الخيار يخفض من انبعاثات المواد الثقيلة لكنه لا يزيلها مثل النحاس و النيكل الناتجة عن عناصر ووحدات التقطير .	هذا الخيار ربما يتطلب كلفاً إضافية بسبب : 1- الماء العذب المزود على دعائم و مساند **1.00$/1000 gal** 2- كلف التركيب و الهندسة لمد الدعائم و الآثار النافعة لتخفيض التآكل ستخفض من كلف الصيانة و بناء على ذلك التعويض بزيادة التنظيف و إزالة القشور .	هذا الخيار محصور بالعمليات في المرفأ من وحدات التقطير و الذي لن يؤثر على كفاءة عمليات التشغيل .	الماء المقطر الناتج عن الغلايات ربما يتطلب تزويد الماء النقي من خلال دعائم و هذه الوسائل ربما لا تكون مجهزة بالشكل الكافي لتزويد الحجم اللازم من الماء العذب و ربما يتطلب الأمر بنى تحتية كبيرة الحجم لتنفيذ هذا الخيار .	الخيار الرابع

تبديل أنابيب النظام و مواد تركيب الوصلات ستخفض من المعادن الثقيلة و الترسبات و الحمولة من المحلول الملحي ، استخدام المواد البديلة من أجل معدات تحلية الماء الطبيعي ذات معدل استخدام أقل و التي ربما تستلزم كلف أعلى ، وحدات تحلية المياه المركبة على السفن الحربية تصنع من مواد بديلة و لا تتوفر بسهولة	المواد البديلة تخفض من تركيز و حجم الانبعاثات للمحلول الملحي و مستويات التخفيض التأسيسية ستكون متناسبة مع أي مادة مستخدمة لتخفيض أو إزالة المعادن الثقيلة من النظام .	هذا الخيار يفرض البحث ، التطوير ، و كلف المواد و المواد البديلة (وبمعنى آخر : الستانلس ستيل ، التيتانيوم ، أو خلائط النيكل) و التي تكلف حوالي من 0.10$/lb – 456$/100 lb ، أما كلف البنى التحتية الشاطئية و كلف الإدارة فتزداد إذا كان الأمر يتطلب تغيير للمواد المستعملة أو تتطلب إجراءات خاصة للصيانة و التصليح .	هذا الخيار سوف لن يؤثر على عمليات تشغيل السفن شريطة أن يكون النظام محل ثقة و يمكن الاعتماد عليه أما التأثير الحراري فمن غير المتوقع أن يتغير .	هذا الخيار يقدم بشكل أولي وحدات تقطير لأن وحدات التناضح العكسي غير قادرة على استعمال حلزونات تسخين و هذا يمكن عمله بوساطة هذا الخيار	الخيار الخامس

2- تحلية المياه المسوس :

بينت التجارب و الخبرات أن استخدام التناضح العكسي لتحلية المياه الضاربة للملوحة هو الأكثر كفاءة من الناحية الاقتصادية و الأنفع بالمقارنة مع غيره من طرق التحلية (كالديلزة الكهربائية) حيثتستخدم أغشية التناضح العكسي بشكل واسع في معالجة المياه الجوفية لإزالة المستويات المرتفعة من الكبريتات و الأملاح المنحلة الكلية الذائبة (TDS) أما العمليات الأخرى المتوفرة مثل الديلزة الكهربائية و التبادل الأيوني فهي غير فعالة مثل التناضح العكسي في الوصول إلى نوعية عالية للماء المعالج و تحقيق الأهداف المطلوبة من التحلية و خاصة بالنسبة للماء المسوس .

مقارنة التناضح العكسي بطرق إزالة الأملاح الأخرى من الماء المسوس :

إن اختيار عملية المعالجة بالتناضح العكسي لإنتاج مياه صالحة للشرب انطلاقاً من المياه المسوس يعتبر أكثر كفاءة (بشكل عام) من الطرق الأخرى المتبعة لمعالجة الماء المسوس ، إذ أثبتت التجارب و

الدراسات صحة ذلك ومن الأمثلة نذكر تحلية مياه الآبار الجوفية جنوب غرب الأردن إذ أثبتت الدراسات أن استخدام التناضح العكسي أفضل من الطرق الأخرى حيث اتضح أن التناضح العكسي :

١ -فعال جداً في إزالة ال (TDS) المحتوية على الكبريتات .

٢ -أكثر كفاءة فيما يتعلق بكمية النفايات المتولدة و متطلبات التدوير بالمقارنة مع تقنيات التبادل الأيوني .

٣ -كلف بناء و تشغيل أقل من الطرق الأخرى .

و الجدول (4) يعطي مقارنة بين عمليتي التناضح العكسي و الديلزة الكهربائية التي تعتبر شائعة في تحلية المياه المسوس .

جدول (4) مقارنة بين التناضح العكسي و الديلزة الكهربائية

التناضح العكسي	الديلزة الكهربائية	عنصر المقارنة
طاقة كهربائية لتشغيل المضخة	طاقة كهربائية – تيار مستمر	فرق الجهد
تشغيل ذاتي ، صمامات معدة من قبل	تشغيل ذاتي لكن بدء التشغيل معقد لضرورة عمل اتزان في كمية المياه السارية	نظام التشغيل
فصل العوالق المتجمعة و المعلقة في المياه	فصل العوالق المتجمعة و المعلقة في المياه و المواد العضوية لأن جميع المواد غير المؤينة لا يمكن فصلها خلال الأغشية	متطلبات المعالجة الأولية
متساوية تقريباً	متساوية تقريباً	تكلفة التشغيل
خفيف و سهل التغيير كنماذج متكررة	صعب و يتطلب مهارة خاصة	تغيير الأغشية
مياه الابار حتى 1000 ppm	مياه الابار حتى 1000 ppm	ملوحة الماء المسوس

و كما ذكرنا ينبغي دائماً معرفة نوعية الماء المعالج بالتناضح العكسي و تحديد مكوناته بدقة خاصة بالنسبة للمياه المسوس لأن محتواها كما ذكرنا يتغير بشدة حسب المنطقة و الهطول المطري و غيرها (راجع الباب الرابع) .

3- *التطبيقات الصناعية (Industrial Applications) :*

في الماضي كانت تطبيقات التناضح العكسي من أجل عمليات الطلي محدودة بالمعالجة النهائية لمياه الصرف المجمعة ، مثل هذه التطبيقات تضمنت إطلاق النافذ و إعادة تدوير المحلول المركز لرأس نظام المعالجة لمياه الصرف المجمعة و بسبب نسب التدفقات العالية المرافقة لعمليات المعالجة لمياه الصرف المجمعة الكبيرة فإن وحدات التناضح العكسي الكبيرة كانت متطلبة لهذه الغاية و أكثر التطبيقات الحديثة لعمليات الانتهاء من المعادن باستخدام تقنية التناضح العكسي استخدمت وحدات تناضح عكسي ذات عمليات تشغيل خاصة و محددة و السماح بإعادة تدوير المحلول المركز (محلول كيماوي مسترد) لحوض الشطف و الغسيل و إعادة استعمال النافذ مرة ثانية (ماء الشطف المنقى) كماء شطف و غسيل نقي و ذلك بإغلاق الحلقة و بهذه الطريقة يمكن استعادة المواد الكيميائية الثمينة و تقليل كميات المياه النقية اللازمة.

تطبيقات التناضح العكسي المبرهنة :

١ -عمليات الطلي بالنحاس .
٢ -عمليات الطلي بالزنك .
٣ -عمليات الختم بخلات النيكل .
٤ -عمليات الطلي بالنيكل .
٥ -عمليات الصباغة السوداء .

إن ماء الشطف أو الغسيل الناتج من عمليات تصفيح النيكل يمكن أن يعالج بوساطة تقنيات التناضح العكسي مع استعادة لماء الشطف تزيد عن (90%) مع كمية مناسبة لإعادة الاستعمال ، حيث أن الوحدة الصناعية يمكن أن تسترد (5 m3) من الماء في الساعة من خلال وحدة تناضح عكسي تعمل بمقدار (1.3) سنوات في حالة كان تركيز النيكل في مياه التغذية (2000 mg/l) و يوجد على الأقل 150 نظام من التناضح العكسي التي تعمل بأنواع مختلفة من مخلفات مغاسل النيكل أكثرها يستخدم أغشية أسيتات السللوز (Cartwrigh 1984) و هناك على الأقل12 من أنظمة التناضح العكسي التي تعمل على مغاسل الشطف المتنوعة لكبريتات النحاس ، وهذه الأنظمة تستخدم كلاً من أغشية البوليميد المدعمة بالألياف الزجاجية المجوفة و كذلك أغشية أسيتات السيللوز ذات الطبقة الفيلمية الرقيقة الملفوفة حلزونياً وذات الأنواع المختلفة و يقدر عمر هذه الأغشية بحوالي (3-1) سنوات ، نظام التناضح العكسي الفعال الذي يستخدم في مغاسل الشطف بكبريتات الزنك يستعمل أغشية مركبة من طبقة فيلمية رقيقة ملفوفة حلزونياً بمعدل تغذية قدره (45 gal / hour) و باستعادة للمياه قدرها 88% حيث أن الغشاء يركز بشكل فعال على عملية تخفيض الحجم في المبخر و العودة للعملية (KINMAN 1985 , CARTWRIGHT 1984) . تقريباً هناك خمسة أنظمة من التناضح العكسي التي تعمل بأنواع مختلفة من مغاسل الشطف بسيانيد النحاس و يستخدم فيها كلاً من أغشية البوليميد وأغشية أسيتات السيللوز المجوفة و المدعمة بالألياف الزجاجية و التي سبق و ذكرناها في الباب الثالث .

نظام التناضح العكسي الذي يستخدم بعد عمليات الطلي بالتماس على ألواح التدوير المستخدمة في الطباعة يستخدم فيه عناصر أغشية مصنعة من البوليميد المجوفة و المدعمة بالألياف الزجاجية و يمكنه أن يعمل بمعدل 210 gal / hr و باستعادة قدرها % 90 حيث أن جزء من المحلول المجمع يتم تدويره لحوض الشطف و الآخر المتبقي تتم معالجته و بشكل عام كل الأغشية يمكن استعمالها لمياه الشطف .

أما بالنسبة لمياه مغاسل الشطف بالكادميوم و الكروم فيمكن معالجتها أيضاً بوساطة التناضح العكسي ولوحظ تلف للأغشية من جراء مياه الشطف لمغاسل الطلي بالكادميوم لكن ضرر أقل تم ملاحظته بالنسبة لمياه شطف مغاسل الطلي بالكروم ، و أظهرت النتائج الأولية أنه باستعادة 5 أمتار مكعبة بالساعة لمياه مغاسل الكادميوم و الكروم فإنه يمكن لوحدة التناضح العكسي أن تعمل لمدة3 و 7 سنوات على التوالي (طريقة SHOEMAN ET AL 1992) .

أما بالنسبة للصناعات الأخرى فإن التناضح العكسي يستخدم من أجل : إنتاج ماء صالح للشرب من ماء البحر و المياه الضاربة للملوحة و المحاليل الملحية ، استعادة المياه من مواقع دفن النفايات المنزلية ، و كذلك من أجل جمع مياه الصرف الصناعية و المحاليل الملحية وإعادة استخدام نواتجها . أحياناً يستخدم التناضح العكسي كمجمع أولي للمبخرات ذات احتياجات القدرة المنخفضة و زيادة كفاءة العملية ، كما يستخدم التناضح العكسي أيضاً في العديد من التطبيقات كصناعات الألبان و المواد الغذائية و هو يستخدم في الصناعات الغذائية لجمع عصائر التفاح وفي صناعة الألبان لجمع مصل الجبنة .

و بالتالي يمكن أن نذكر أهم التطبيقات الصناعية للتناضح العكسي كما يلي :

1- معالجة ماء غسيل الطلي بالمعادن .

2- تركيز الأطعمة .

3- تركيز العصائر .

4- عمليات صرف المواد الصيدلانية .

5- تنقية المياه من عمليات الغسيل الناتجة عن الصباغة .

6- تنقية المياه الناتجة عن صناعة أنصاف النواقل .

7- تنقية الماء لإنتاج الماء النقي المعبأ بالقناني .

8- معالجة المياه للصناعات الآلية .

9- معالجة المياه لماء تغذية الغلايات أو المراجل .

و غيرها الكثير من التطبيقات الأخرى و سنهتم بتطبيقات التناضح العكسي التي تستعمل في عمليات الطلي بالمعادن .

3-1- مواصفات الأجهزة الصناعية للتناضح العكسي :

عند وجود نسب عالية من الأملاح المنحلة في الماء فإن هذا الماء يصبح غير صالح للاستخدامات الصناعية وإن كل صناعة تحتاج إلى نوعية ماء معينة فمنها ما يحتاج إلى ماء مقطر خالي تماماً من الأملاح ومنها ما يحتاج إلى ماء منخفض الأملاح ومنها ما يحتاج إلى ماء متوسط الأملاح... وهكذا.

وغالب الصناعات تحتاج إلى ماء منخفض الأملاح سواء كانت الصناعة تستخدم الماء بشكل مباشر مثل (الصناعات الغذائية، المشروبات الغازية، الكيميائية، الطبية...الخ) أو بشكل غير مباشر مثل أكثر الصناعات التي تستخدم المراجل وأجهزة توليد البخار وأبراج التبريد وغيرها..

3-1-1- المواصفات الفنية للأجهزة الاقتصادية الصغيرة RO-ECO :

تتراوح استطاعة هذه الأجهزة من 120 لتر / ساعة وحتى 450 لتر / ساعة.

أجهزة موديل ECO تعني Economical الأجهزة الاقتصادية والتي تتميز بما يلي:

- أجهزة صغيرة ذات سعر اقتصادي مقبول.
- كلفة تشغيلية منخفضة فهي تستخدم مضخات الضغط العالي الصغيرة و التي توفر في استهلاك الكهرباء.
- يمكن تركيبها في المنشآت الصغيرة التي لا يوجد فيها تري فاز، فالتغذية الكهربائية لهذه الأجهزة 230 فولت، مونوفاز أحادي الطور.
- لوحة التحكم الكهربائية للجهاز سهلة الاستخدام.

وفيما يلي الجدول المبين لهذه الأجهزة :

جدول (5) مواصفات الأجهزة الصناعية الصغيرة ECO

Model	Production*		Feed Water*	Power	Recovery*
	Ltr/Hour	Ltr/Day	Liter / Hour	KW / V / γ	
RO-ECO 252	120	2880	160 – 240	0.37/230-50/1	50 – 75%
RO-ECO 401	250	6000	350 – 500	0.55/230-50/1	50 – 75%
RO-ECO 402	450	10,800	600 – 900	1.1/230-50/1	50 – 75%

3-1-2- المواصفات الفنية للأجهزة النوعية العالية الصغيرة RO-HD :

تتراوح استطاعة هذه الأجهزة من 250 لتر / ساعة وحتى 1400 لتر / ساعة.

أجهزة موديل HD تعني Heavy Duty أي أجهزة صناعية ذات نوعية عالية وكفاءة ممتازة و هي نادراً ما تحتاج إلى صيانة.

وفيما يلي الجدول المبين لهذه الأجهزة:

جدول (6) مواصفات الأجهزة الصناعية ذات النوعية العالية HD

Model	Production*		Feed Water*	Power	Recovery*
	Ltr/Hour	Ltr/Day	Liter / Hour	KW / V / γ	
RO-HD 401	250	6000	350 – 500	1.5/400-50/3	50 - 75%
RO-HD 402	450	10,800	600 – 900	1.5/400-50/3	50 - 75%
RO-HD 403	625	15,000	835 – 1,250	2.2/400-50/3	50 - 75%
RO-HD 404	900	21,600	1,200 - 1,800	2.2/400-50/3	50 - 75%
RO-HD 406	1,400	33.600	1,870 – 2,800	3/400-50/3	50 - 75%

3-1-3- المواصفات الفنية للأجهزة المتوسطة الحجم RO-Med :

تتراوح استطاعة هذه الأجهزة من 30 م3 / يوم وحتى 72م3 / يوم وتتميز بأنها أجهزة صناعية ذات نوعية عالية وكفاءة ممتازة، وفيما يلي الجدول المبين لهذه الأجهزة:

جدول (7) مواصفات الأجهزة الصناعية المتوسطة الحجم

Model	Production*		Feed Water*	Power	Recovery*
	Ltr/Hour	Ltr/Day	Liter / Hour	KW / V / γ	
RO-Med 406	1,400	33.600	1,870 – 2,800	3/400-50/3	50 - 75%
RO-Med 408	1,700	40,800	2,275 - 3,400	3/400-50/3	50 - 75%
RO-Med 412	2,500	60,000	3,350 - 5,000	4/400-50/3	50 - 75%
RO-Med 414	3,000	72.000	4,000 - 6000	4/400-50/3	50 - 75%

3-1-4- مواصفات الأجهزة والمحطات الكبيرة :

هي عبارة عن محطات تحلية متكاملة تبدأ باستطاعة 100 م3/يوم وحتى آلاف الأمتار المكعبة في اليوم و تستخدم في الصناعات الثقيلة ذات التدفقات الكبيرة من المياه مثل الصناعات الدوائية ، صناعات الطلي المعدني ، الصناعات الغلفانية ، صناعات الصباغة وغيرها و الأجهزة الحديثة منها تتضمن المكونات التالية مع العلم أن هذه المكونات تمثل المكونات النموذجية لمثل هذه الأجهزة أو الوحدات الصناعية و هي كالتالي بالترتيب :

- مبادل أيوني و نظام تخفيف التيارات و الارتدادات
(Ion exchange , backwash softening system) .
- نظام تليين ذو حبيبات من الكربون (Multimedia carbon backwash system) .
- فلتر ترسيب (Sediment filter) قادر على استيعاب تدفقات كبيرة من المياه حوالي (80) غالون في اليوم .
- مضخة ذات ضغط عالي (High flow booster pump) .
- أغشية (Filmtec) من نوع TFC (Thin Film Composite) .
- مولد للأوزون (CD10 / AD) مع مجفف هوائي .
(Ozone generator with built – in air dryer)
- مضخة تدوير الأوزون مع حاقن (Ozone circulation pump with injector)
- خزان الأوزون (Ozone contact tank) .
- حساسات لقياس الأوزون (Ozone sensor) .
- مضخات (Grundfos) صغيرة لتوزيع السائل .
- فلتر ثاني من الكربون المنشط (Coconut shell carbon post filter) .
- مصباح تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية مصنع من الستانلس ستيل (SS)
(Stainless steel ultra violet disinfection lamp) .
- معالج آلي ذو تدفق أتوماتيكي مع مفاتيح تأخير للتشغيل و الإغلاق
(Auto logic processor with auto flush and on-off start delay) .
- شاشات لمراقبة درجات الحرارة و آلية التوصيل مع مقياس لل (TDS)
(Twin TDS, conductivity and temperature monitor) .
- 6 مقاييس ضغط مملوءة بسائل لكل المراحل
(Six liguid filled pressure gauges for every other step) .
- قدرة تدوير مياه الصرف (Waste water recycle capability) .
- عدادات لقياس التدفق المعاد تدويره ، النفايات ، و الماء المنتج
(Product , waste and circulation flow meters) .
- لوحة كاملة ذات تحكم سهل (Complete panel for easy control) .
- 4 مؤشرات بسيطة لكل 3 مضخات ومولد أوزون
(Four light indicators for all 3 pumps and ozone generator) .
- حساسات للتدفق (Flow sensor) .
- مفاتيح للضغط العالي و المنخفض (Low and high pressure switches) .

و الشكل التالي يبين بعض أنواع هذه الأجهزة و هو ذو سعة 80000 gpd

شكل (3) و حدة تناضح عكسي صناعية بسعة 8000 غالون في اليوم

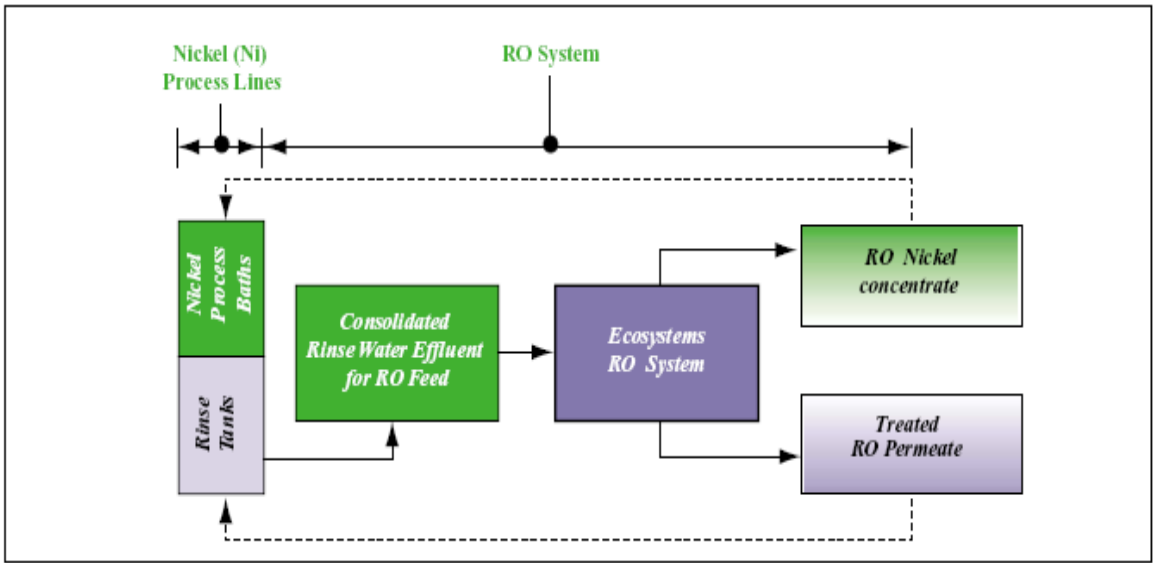
و الشكل التالي يوضح بعض أنواع ألواح التحكم بهذه الأنظمة و ذلك حسب النظام المستخدم ومكوناته :

شكل (4) مكونات لوحة التحكم الرئيسية بمقياسين للتدفق و 6 مقاييس للضغط و مقياس TDS

3-2- استرجاع المياه من مغاسل الشطف و الطلي بالمعادن :

3-2-1- استرجاع النيكل :

يمكن استرجاع النيكل من أحواض الغسيل و الشطف وفق المخطط التالي :



شكل (5) نظام تناضح عكسي لاسترجاع النيكل من مغاسل الشطف بالنيكل

و مواصفات نظام التناضح العكسي الذي يعمل على استرجاع النيكل هي كالتالي :

جدول (8) مواصفات نظام التناضح لاسترجاع النيكل

الأبعاد	المساحة المشغولة 27 ft2 الطول 6 ft
الطاقة	20 حصان بخاري ، 230 فولت ، 27 amps
معدل التدفق	12 غالون
ضغط التشغيل	500 psi
معدل PH	من 4 إلى 8
درجة الحرارة العظمى	110 درجة فهرنهايت

3-2-2- تقنيات جديدة لمعالجة مياه فضلات صناعات الطلي بوجود وحدة تناضح عكسي:

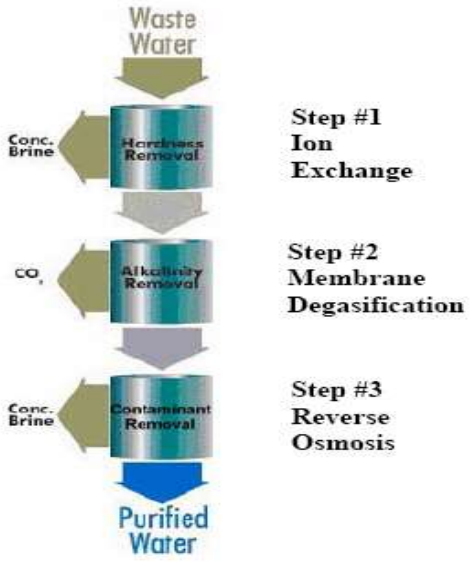
قدمت شركة (HERO) بالتعاون مع وكالة حماية البيئة الأمريكية براءة اختراع و ذلك لمعالجة مياه الفضلات بعد عمليات الانتهاء من الطلي بالمعادن و حازت على العديد من الجوائز و ذلك بهدف تحويل تلك المياه إلى مياه قابلة للاستعمال مرة ثانية و الشكل التالي يوضح تكنولوجية هذه العملية .

في الخطوة أو المرحلة الأولى لعملية (HERO) المبادلات الأيونية تزيل الأيونات من مياه الشطف ، إزالة العسارة لتلك المياه من مياه الغسيل أو الشطف تنتج في النفاية نتيجة كونها مولدة من المحلول المركز الحاوي على الأيونات أو الأملاح .

الخطوة أو المرحلة الثانية هي عملية تفريغ الغازات من الأغشية و التي تزيل أثر غاز ثاني أوكسيد الكربون بهدف تخفيض كمية المحلول الكاوي اللازم إضافته في الخطوة النهائية للعملية . إن غاز (Co2) ناتج فقط عن الخطوة الثانية حيث تتم إزالة قلوية المياه .

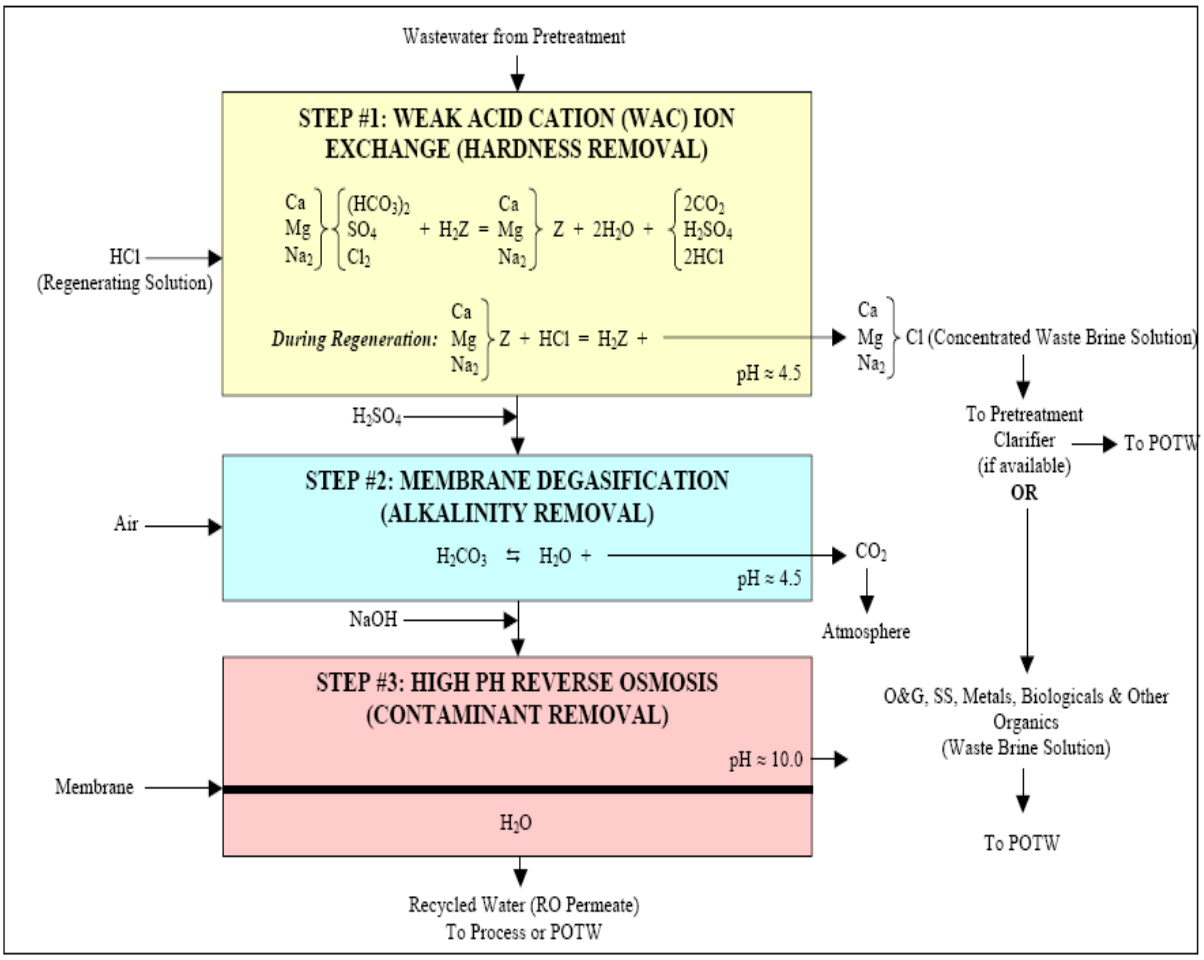
أما الخطوة الأخيرة في هذه العملية فهي عملية التناضح العكسي ، ال PH العالي لمياه الصرف الصناعية التي تدخل هذه المرحلة تحافظ على الأغشية من التلف و التلوث ، المحلول المركز لمياه الصرف يولد من هذه المرحلة بشكل جيد . ووفقاً ل (HYDROMETRICS) المحلول الملحي المركز و المجمع من هذه العملية ككل يمثل تياراً وحيداً من النفايات ، عموماً أقل من (5 %) من تيار التغذية و عادة يكون مناسباً لعملية الإطلاق المباشر له أو دفعه مباشرة ل (POTW) أي لأحواض الطلي ، و بصورة أخرى تيار النفاية أو الصرف يمكن تبخيره لأجسام صلبة جافة ، و نظراً لذلك فإن حجم المياه يمكن تخفيضه بشكل أكبر مقارنة بتيارات النفايات المتولدة في أنظمة التناضح العكسي التقليدية . وإن عملية تبخير تيار النفايات أو الصرف ربما يساعد في جعل معدل الإطلاق للسائل معدوماً بهذه العملية .

إن شركة Hydrometrics تدعي بأن هذه العملية يمكن أن تزيل كمية أكبر من المواد الصلبة المعلقة (TSS) ، الزيوت و الشحوم (OIL AND GREASE) ، الكلور المتبقي ، و كذلك النشاط البيولوجي أكثر من الأنظمة التقليدية للتنا ضح العكسي و قامت هذه الشركة بتركيب وحدات قادرة على معالجة تشكيلة واسعة من تدفقات مياه الصرف مع أملاح ذائبة كلية (TDS) بمعدل أكبر من 30000 (mg /l) .



شكل (6) : شكل مبسط لعملية HERO

و يمكننا أن نوضح تفاصيل هذه العملية بالمخطط التالي :



شكل (7) تفاعلات نظام (HERO) الكيماوية كمثال

قدم هذا النظام لأول مرة في الأسواق عام 1996 من قبل **Deb Mukhopadhyay** و ذلك بهدف تزويد صناعات الالكترونيات الدقيقة بماء ذو معدل نقاوة عالي جداً حيث أمكن استخدامه في عدة أنواع من هذه الصناعات مثل **Intel and Micron** ، و في عام 1998 تمت الموافقة على استخدام هذه العملية لمعالجة مياه الصرف الصناعية و أخذت براءة الاختراع عام 1999 و طبقت حوالي 10 تطبيقات لهذه العملية في معالجة مياه الصرف الصناعية من الصناعات الآتية : الصهر ، التعدين ، تكرير النفط ، الماء المتولد من عمليات حفر آبار النفط و الغاز الطبيعي ، عمليات توليد الطاقة الغازية الطبيعية ، و عمليات انتهاء الطلي المعدني ، و في الأخيرة استخدمت هذه التقنية بكثرة إذ أثبتت جودتها في معالجة المياه الناتجة عن مغاسل شطف القطع المعدنية المطلية ، أحواض الطباعة ، أحواض الطلي المعدني ، تصنيع ألواح الدارات و العمليات المتعلقة بها ... و هذا النظام بشكل خاص مناسب لإنتاج كميات كبيرة من الماء النقي ، أو مياه عذبة قليلة ، أو في حالة وجود معايير بيئية صارمة كما أن هذا النظام بشكل غير مباشر مفيد جداً في حال فشل أنظمة التناضح العكسي التقليدية أو الكلفة العالية لتشغيلها و هذه الأنظمة تطبق الآن بشكل كبير في العديد من البلدان الآسيوية ، الأوروبية ، وفي أمريكا الجنوبية بمعدلات تدفق متنوعة.

وهذه العملية تعتبر آمنة من الناحية البيئية و تخفض من إصدار الملوثات السامة إلى البيئة و تسمح بإعادة الاستفادة من المركبات أو النفايات الناتجة و إعادة تدويرها و الاستفادة منها و بالتالي تقلل من كلف المواد الكيميائية اللازم إضافتها ومن متطلبات الطاقة .

المعدات و التجهيزات اللازمة :

التقنيات و المعدات المتوفرة والمستعملة تعتمد على التطبيقات و التدفقات و أماكن الوضع أو التركيب و كذلك على إمكانية التوسعة البسيطة ومتطلبات القدرة الكهربائية حوالي(480 v) ، (50) أمبير ، (60 hz) و تتصف بكونها بسيطة نتيجة الكلف المنخفضة للتشغيل و الصيانة و هذه الأنظمة يمكن أن تعمل بشكل مستمر أو على دفعات ووجبات .

في هذه العملية الأيون الكاتيوني الحمضي الضعيف (WAC) يستخدم لإزالة الصوديوم و العسارة المرافقة للقلوية أما الكاتيونات الأخرى (مثل النحاس ، الباريوم ، الحديد ، المنغنيز ، و الزنك) فيمكن إزالتها أيضاً و الماء المعالج يكون حامضي قليلاً ، قلوية البيكربونات في الماء تحول إلى (Co2) بالإضافة إلى ذلك يمكن إضافة الحموض لتحويل القلوية المتبقية إلى (Co2) و بعد تفريغ الغاز من المرحلة التالية فإن ال (TDS) تخفض وفقاً لهذه العملية و يتم تجديد أو إعادة تنشيط المبادل الأيوني الحمضي الضعيف دورياً باستخدام حمض الكبريت أو الهيدروكلوريت . بعد معالجة المبادل الأيوني الحمضي الضعيف يعبر الماء من خلال طارد غازي مركزي لإزالة ثاني أوكسيد الكربون المتولد نتيجة عمليات التبادل الأيوني و هذه العملية تزيل الصدمات المائية المتوقعة وبالتالي هذا يقلل من إضافة المواد الكاوية في الخطوة التالية ، في مرحلة التناضح العكسي ذات القلوية العالية تستخدم كميات قليلة من المحلول اللاذع و ذلك بهدف خفض قيمة ال PH للمعالجة و عمليات التشغيل في قيم PH عالية لها العديد من الفوائد منها :

1- مستحلبات الزيوت و الدهون : هذه المواد تبقى في المحلول و ترفض بدلاً من التوضع على سطح الغشاء .

2- التخلص من الطمي : الأغشية المستعملة في الأنظمة العادية للتناضح العكسي تتلف نتيجة وجود الطمي و الطين ، النمو البيولوجي ، و المواد العضوية و عندما يحدث هذا يتم تنظيف الأغشية بماء مخفف لقيمة (PH=10) و النظام هذا يعمل بشكل مستمر عندما يكون الماء ذو قيمة PH=10 و يتم تنظيف الطمي و المواد العضوية بشكل مستمر من سطح الغشاء كما تتم إزالة النمو البيولوجي .

3- زيادة قابلية الذوبان للسيليكا : تزداد قابلية الذوبان للسيليكا عند القيم العالية لل (PH) والتي تمنع تشكل القشور على سطح الأغشية حيث تعتبر السيليكا غالباً هي العامل المحدد لحدود الاستعادة في أنظمة التناضح العكسي .

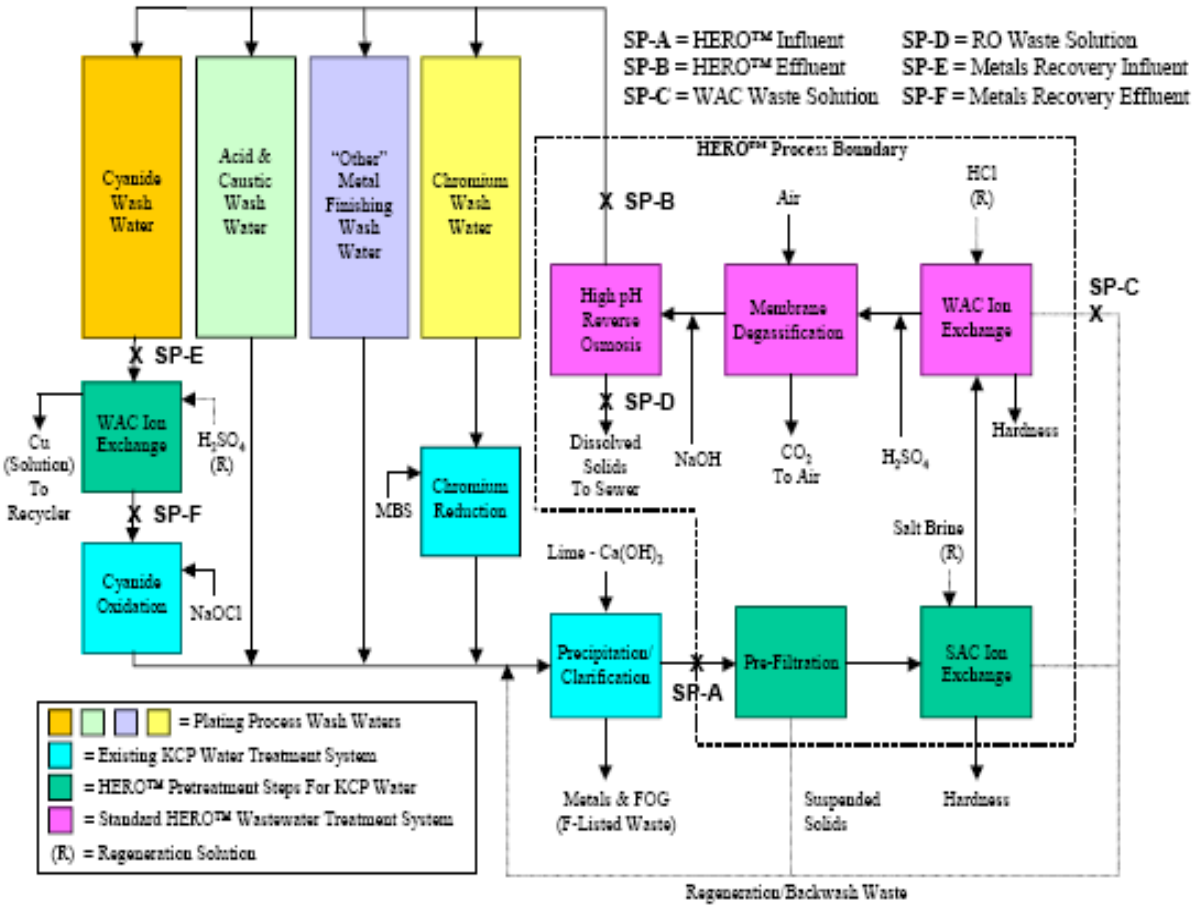
4- الأحماض العضوية الضعيفة المتأينة : التجمعات المنخفضة لهذه الأحماض من الممكن أن تسبب تلف الأغشية مالم تتحول إلى أيونات أو شوارد و يمكن أن يتم تحويلها إلى أيونات عند القيم العالية لل PH و بالتالي ترفض الأغشية هذه الأحماض .

تختلف نوعية المياه الصناعية حسب الموقع و بناء على ذلك تصمم الأنظمة المعالجة لمياه الصرف الصناعية حسب نوعية كل صناعة و من أجل تطبيقات معينة و على سبيل المثال الماء ذو القساوة العالية و التي تعمل فيه العسرة الكلية الكبيرة على زيادة قيمة القلوية الكلية ،ال TSS العالية ، أو الزيوت و الدهون العالية فإن هذا ربما يتطلب مراحل معالجة ابتدائية إضافية للنظام السابق (HERO) هذه

المعالجة الأولية ربما تتضمن فلاتر ، مبادلات كاتيونية حمضية قوية (SAC) أو تصفية ووفقاً لذلك فإن هذه الأنظمة تصمم وفقاً لنوعية المياه الصناعية المعالجة و ذلك لتسهيل عمليات الجمع و التحكم .

3-2-3- الأكسدة بالسيانيد و استعادة النحاس :

يمكن استعادة النحاس من مياه الصرف الصناعية الناتجة عن أحواض شطف القطع النحاسية المطلية بالسيانيد بمبادلات كاتيونية حمضية ضعيفة (WAC) منفصلة ، مياه غسيل السيانيد و النحاس تتولد عند السحب من أحواض غسيل القطع النحاسية المطلية بالسيانيد الذي يعتبر شديد السمية و هذه المبادلات المنفصلة يمكن أن تزيح النحاس الممزوج مع السيانيد و عادة تتم استعادة المواد من خلال وحدات تبادل كاتيوني حمضي ضعيف و هذه العملية تعتبر متممة للمراحل الثلاث المذكورة سابقاً ، و بشكل عام عند الأكسدة بالسيانيد تكون كمية النحاس الناتجة و الممكن إزالتها أفضل قبل عملية الأكسدة ، ووحدات التبادل الأيوني المنفصلة الكاملة يمكن إعادة تنشيطها بحمض الكبريت و بشكل عام ليست هناك حاجة لأي عملية تنشيط عند اختبار التجربة . كمية النحاس المستعادة يمكن حسابها بخلق توازن كتلي للنحاس النافذ و المتدفق من المبادلات الشرجبية الحمضية الضعيفة و الماء المعالج بعد ذلك يمر على عمليات الأكسدة بالسيانيد و هذا يعتبر ضروري لمنع المشاكل الصحية المرافقة لانبعاث غاز السيانيد فيما بعد في نظام المعالجة ، و المخطط التالي يوضح مبدأ المعالجة لمياه الفضلات المعدنية :



شكل (8) : تفصيل مخطط نظام معالجة مياه الفضلات HERO

- فوائد عملية طرد الغازات :

بعد عملية التبادل الأيوني تذهب مياه الصرف إلى طارد الغازات لإزالة (Co2) و هذه الخطوة الرخيصة تزيل طاقة الصدم للمياه ، و تخفض كلف تعديل ال (PH) و إضافة الأحماض لطارد الغازات يمكن أن تكون ضرورية لتخفيض قيمة ال (PH) إلى القيمة (4.5) لإتمام عملية التحويل لثاني أكسيد الكربون .

تعديل قيمة ال (PH) و مرحلة التناضح العكسي :

الخطوة النهائية لعملية (HERO) هي تعديل قيمة ال (PH) كما ذكرنا للقيمة 10 و المعالجة بالتناضح العكسي ، و تشغيل نظام التناضح العكسي عند قيمPH عالية يمنع كما ذكرنا التلوث البيولوجي و تشكل قشور من السيليكات و يعزز من رفض الطين و الطمي حيث أن المياه المعالجة تتم إعادتها لنظام الشطف بالمياه بمعدل تدفق حوالي (15 gpm) أما الأجسام الصلبة المنحلة فيتم صرفها لخط الصرف .

- قراءة البيانات :

الجدول التالي يبين البيانات الجاهزة المتعلقة بعملية استخدام التناضح العكسي في صناعات الطلي المعدنية هذه البيانات المعطاة قيست من 6 أشهر قبل و بعد تركيب الوحدة (أثناء العمل الكامل لها عند تشغيلها)

جدول (9) بيانات عملية

التوفير الشهري			
التوفير	بعد	قبل	
1.939$	200 gal	200 gal	إضافة كيماويات
345$	20000gal	200000gal	استخدام الماء
50$	0	200000gal	التوفير في الانبعاثات
2334$ / month		التوفير الكلي	
541$ / month		كلف التشغيل و الصيانة الأقل	
1792$/month		التوفير الصافي	
العوائد البسيطة (simple payback) : تقريباً سنتين			

و العديد من وحدات التناضح العكسي مجمعة أو لها مكان خاص بها وعلى سبيل المثال الوحدة التي تعمل بتدفق (3 gpm) تتطلب فقط (6) قدم مربع كمساحة ، أما الوحدة التي تعمل بمعدل (12 gpm) فهي تتطلب مساحة قدرها (27 ft2) من المكان الذي ستوضع فيه .

كلف التشغيل و الصيانة لوحدات التناضح العكسي تكون منخفضة نسبياً لأن الوحدات تشغل آلياً و تتطلب انتباه أقل من قبل المشغل و بناءً على ذلك فإن كلف العمال تكون منخفضة (أقل من3 ساعات شهرياً) و كلف الصيانة يمكن إدراجها ككلف استبدال للأغشية و تنظيفها و التي يتم فرضها أو حسابها بالخصائص المؤثرة و تأثيرات ما قبل المعالجة .

لمنع تلف الأغشية يمكن تبديل الفلاتر مرة في الأسبوع و تنظيف الأغشية مرة في الشهر .
و الاستعمالات الحالية للتناضح العكسي يمكن أن تتضمن كلفاً إضافية بوجود خزانات احتياطية ، و خطوط إضافية للماء و المواد الكيميائية أو تعديلات أخرى لخلق مساحات إضافية بغية توسعة الوحدات أو تعديل جريانات مياه الشطف .

- *اعتبارات الكلفة :*

إن كلف التركيب و كلف رأس المال لوحدات التناضح العكسي إلى حد كبير تعتمد على تطبيقاتها و مجال استعمالها ووحدات التناضح العكسي المستعملة في تطبيقات الطلي المتعددة الطرق بمعدلات تدفق من (10 – 15) غالون يمكن أن تكلف بشكل تقريبي حوالي ($ 50000) ، أما بالنسبة للوحدات الصغيرة التي تعمل بتدفقات من (5 – 3 gpm) يمكن أن تكلف ما بين ($ 20000 – 10000) و تشمل الكلف الأساسية المصفاة ، مضخة الضغط ، الفلاتر ، مجمعات الأغشية ، أنابيب المياه ، و التركيب حيث تزداد كلف رأس المال لأنظمة التناضح العكسي بالحاجة إلى معالجة ابتدائية و تتوقف هذه الكلفة على درجة المعالجة المطلوبة

جدول (10) كلف الصيانة لوحدات التناضح لاسترجاع المياه من مغاسل الشطف

كلف رأس المال و التركيب	45000$
كلف التشغيل والصيانة الشهرية	
الطاقة	276$
الفلاتر الخرطوسية	10$
صيانة المضخات	41$
تنظيف وحدة RO	114$
العامل (كل ساعتين)	50$
استبدال الأغشية	50$
الكلف الكلية	541$

كما أن كلف التركيب و رأس المال تتضمن الدعم الهندسي أثناء التركيب و الإقلاع و كلف التشغيل و الصيانة تتضمن :

١ -كلفة الطاقة .
٢ -استبدال الفلتر
٣ -صيانة النظام (مضخات ، وصلات ....)
٤ -تنظيف الأغشية

و على سبيل المثال كلاً من مضخات التدفق النافذ و المركز ينبغي أن تكون ذات تدفقات منتظمة للتأكد من أن مياه الشطف وتركيز المواد الكيميائية المستعادة لا تسبب أية مشاكل أو تلوث ، وكما ذكرنا ينبغي استبدال الفلاتر كل أسبوع وهي تكلف ($ 10.20) في الشهر و ربما تكون إجراءات الصيانة الأكثر أهمية تنظيف الأغشية حيث يمكن التنظيف بالماء الحاوي على أيونات أو محلول حمض الكبريت عند قيمةph لا تقل عن 2 ، يضاف حمض الكبريت عند ثبات ال PH على قيمة 2 باستخدام غالون واحد ليس أكثر من

حمض الكبريت (أو ليس أكثر من غالون واحد عند تلك القيمة) عندئذ فإن العمليات المشابهة تعاد باستخدام المحلول الكاوي وبالحفاظ على قيمة PH=11 ، بشكل عام تنظيف أغشية التناضح العكسي يكلف ($ 114) شهرياً (متضمنة ماء متأين و مواد كيماوية) و تأخذ عملية التنظيف ساعتان لتكتمل ، عند الاختيار الملائم للأغشية و الصيانة المستمرة لها يمكن للأغشية أن تعمل حتى (3-5) سنوات و كلفة استبدال الأغشية لهذه العمليات حوالي ($ 1800) .

- *الفوائد المجنية من استخدام التناضح العكسي لهذه العملية :*

إن نظام التناضح العكسي المصمم بإتقان له العديد من الفوائد البيئية و الاقتصادية منها :

1- بإعادة استعمال المحلول المركز من مغاسل الشطف و الطلي تنخفض احتياجات عمليات الطلي الكاملة الشهرية من إضافات النيكل مثلاً بأكثر من (% 80) و بالتالي توفير قدره ($ 1939) شهرياً .

2- إعادة استعمال ماء الغسيل لخطوط النيكل ينخفض من (200000) غالون إلى (2000) غالون فقط في الشهر و بالتالي توفير قدره ($ 345) شهرياً .

- *نصائح تقنية :*

بعد 6 أشهر من عملية الطلي الكامل ينبغي استخدام العديد من التقنيات لتحسين الأداء و الصيانة و منها :

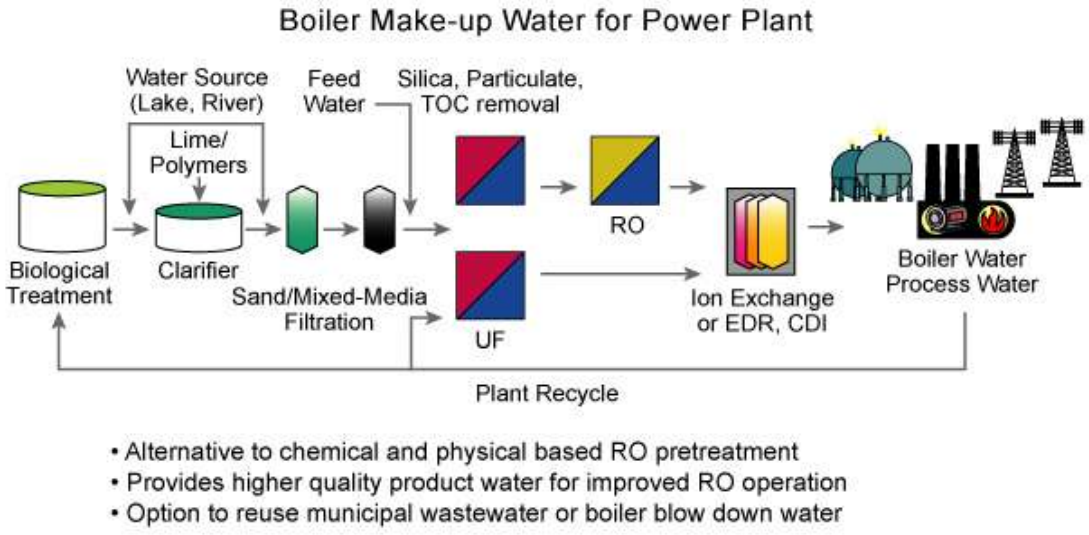
١ -إضافة صمام تحويلة للفلتر و ذلك بهدف إمكانية استبدال الفلتر بدون توقف عمل الوحدة .

٢ -استعمال صمام تحويلة لوحدة الفلتر عند تنظيف الأغشية لمنع المواد المزالة من أغشية التناضح من الاستقرار في الفلتر خلال التدفق الخلفي و التي يمكن أن تؤدي في تلك الحالة إلى تفكك و إتلاف الأغشية حالما يتم وضع الوحدة في الخلف أثناء القيام بالعملية .

٣ -استعمال حمض الكبريت و محلول التنظيف الكاوي لتحسين تنظيف الأغشية و مدة عملية التنظيف.

3-3- تأمين المياه للمراجل و الغلايات لمحطات توليد الطاقة الكهربائية :

الشكل (9) يوضح مراحل معالجة المياه لتأمين مياه الغلايات لمحطة طاقة حرارية حيث يستخدم هنا التناضح العكسي كمرحلة قبل أخيرة و قبل عملية التبادل الأيوني بهدف خفض كلف استخدام منشطات المبادلات الأيونية و رفع نوعية المياه المعالجة .



شكل (9) استخدام التناضح العكسي كمرحلة في عملية تامين مياه المراجل لمحطات الطاقة الحرارية

4- التطبيقات التجارية (Commercial Applications) :

كما تستخدم تقنية التناضح العكسي من أجل الحصول على الماء العذب في العديد من الأعمال الحرفية و التجارية و التي تتضمن (المطاعم – متاجر القهوة – محلات الوجبات السريعة – مصانع البيرة الصغيرة – السوبر ماركت – أنظمة الترطيب – عمليات تحضير الأطعمة .....) و العديد من الأعمال التجارية الأخرى و التي يجب أن تحصل على مياه ذات نوعية عالية ثابتة من أجل أعمالها اليومية و فيما يلي بعض مواصفات الأجهزة المستعملة للأغراض التجارية وهي كالتالي :

- هيكل مصنوع من الألمنيوم مغطى بمسحوق للحماية (Powder Coated Aluminum Frame)
- أوعية ضغط من الستانلس ستيل (Stainless Steel Pressure Vessels) .
- أغشية مركبة ذات طبقة فيلمية رقيقة(Thin Film Composite Membranes) (بوليميرية أو أسيتات السللوز) .
- مجمع أغشية مضاعف هيدروليكي (Integral Hydraulic Manifold Assembly) .
- لوحة أوتوماتيكية سريعة لقياس التدفق (Automatic Flush Fast Flush Control) .
- مفتاح إغلاق ضغط التغذية المنخفض (Low Feed Pressure Cutout Switch) .
- مفتاح التحكم بضغط الخزان (Tank Pressure Control Switch) .
- صمام لمدخل التغذية (Feed Inlet solenoid valve) .
- ضابط ضغط للصمام ذو صنارة من الستانلس ستيل (SS Needle valve pressure control)
- لوحة كاملة ذات تحكم سهل (Complete panel for easy control) .
- فلتر ترسيب أولي بأقطار 5 ميكرون (5 Mic sediment pre filter) .
- فلتر كربوني أولي (Carbon Pre-Filter) .
- مقياس ضغط للفلتر الأولي مملوء بسائل (Liquid Filled Pre-Filter Pressure Gauge).

- مقياس ضغط للفلتر التالي مملوء بسائل (Liquid Filled Post-Filter Pressure Gauge).
- مقياس ضغط مضخة الماء النافذ مملوء بسائل .

(Liquid Filled Booster Pump Pressure Gauge) .

- عداد لقياس التدفق النافذ الناتج (Product (Permeate) Flow Meter) .
- عداد لقياس تدفق المحلول المركز للنفاية (Waste (Concentrate) Flow Meter) .
- و صلات للضغط سريعة (Quick Disconnect Pressure Fittings) .

و هناك مكونات إضافية يمكن أن تستخدم في هذه الأجهزة و ذلك حسب الرغبة أو الحاجة و حسب الاستخدامات اللازمة للمياه ونوعية المياه المطلوبة فيمكن أن يصنع الهيكل من الستانلس ستيل بدل الألمنيوم و يمكن إضافة مصباح تعقيم بالأشعة الفوق بنفسجية لقتل الجراثيم و البكتريا كما يمكن أن تضاف مضخات إضافية لزيادة الضغط و مبادل أيوني أو نظام تغذية بالمواد الكيماوية و مضخة حقن و خزانات لتجميع المياه المنتجة مضغوطة أو تحت الضغط الجوي حسب الحالة كما ذكرنا و حسب درجة المعالجة المطلوبة .

الأشكال التالية تبين بعض أنواع هذه الأجهزة :

(10 – a)

(10 – b)

(10 – c)

شكل (10) أجهزة تناضح عكسي متنوعة للاستعمالات التجارية و الحرفية

5- التطبيقات المنزلية أو السكنية :

يستخدم التناضح العكسي هذه الأيام بكثرة لمعالجة مياه المجالي و المطابخ و الحمامات لجعلها صالحة للشرب و بالتالي توفير و تخزين المياه خاصة في المنازل التي تعاني من الانقطاعات الكثيرة للمياه وقد أثبتت تقنية التناضح العكسي أنها التقنية الأرخص و الأكثر جدوى للحصول على مياه صالحة للاستعمالات المنزلية أما تقنيات الفلترة الأخرى بغير مبدأ التناضح العكسي (**R.O**) فهي أقل فاعلية حيث أن حجم المسامات لهذه الطرق الأخرى أكبر بكثير (بشكل عام 10-0.5 ميكرون) ولذلك فهي تستطيع فقط ترشيح المياه من الجزيئات الخشنة والترسبات العناصر الأخرى المتناسبة مع معدل حجم مساحاتها بالميكرون أما العناصر الأكثر دقة والمواد الثانية فلا يمكنها ترشيحها وبالتالي فإن الماء الناتج من هذه الوحدات يكون اقل نظافة وأماناً بالمقارنة مع الماء الناتج من الوحدات المنزلية المستخدمة لتقنية التناضح العكسي.

المواصفات القياسية للأجهزة :

١ -فلتر دقيق .

٢ -وحدة غشاء التناضح العكسي .

٣ -وعاء تخزين مضغوط للماء المعالج .

٤ -فلتر كربوني .

٥ -حنفية .

1- الفلتر الأولي (الابتدائي) (**Prefilter**) :

يدعى فلتر الترسيب وهو يقوم بإزالة الجسيمات المعلقة الصغيرة الحجم و ذلك للمحافظة على الغشاء حيث أن بعض أنواع الأغشية تتضرر من الكلور والنمو البكتيري و في حالة وجود الكلور في المياه يوصى بفلتر كربوني عادة قبل الغشاء .

2- غشاء التناضح العكسي (**RO Membrane**) :

هناك العديد من الأغشية المتوفرة و كما ذكرنا أغلب الأغشية مصنعة من أسيتات السيللوز والبوليميرات (الراتنجات) كما أن خلائط هذه المواد تستخدم .

الخزان (**Storage Tank**) :

أغلب وحدات التناضح العكسي المنزلية ذات معدلات منخفضة جداً من الماء المعالج إذ تتراوح كمية المياه المنتجة منها من (5-2) غالون في اليوم لذا الخزان يجب أن يتم اختياره لاستيعاب هذه الكميات و يتم تطبيق ضغط على الماء داخل الخزان و ذلك لإنتاج تدفق كافي للمياه من الصنبور عندما يكون مفتوحاً الخزان الذي يركب أسفل المغسلة يتطلب ضغط أدنى لإعطاء الماء أما عند تركيبه في مواقع أخرى فإن الأمر ربما يتطلب ضغط أكبر و بالتالي من الممكن أن يؤدي ذلك إلى تخفيض فعالية و أداء الغشاء أي أفضل موقع للخزان هو أسفل المغسلة أو المجلى و ذلك للحفاظ على أداء الغشاء .

3- الفلتر الكربوني التالي (**Post-Filter**) :

إن الهدف من هذا الفلتر هو إزالة أي طعم غير مرغوب و أي مواد عضوية متبقية في الماء المعالج و عادة يستعمل فلتر كربوني لأجل هذا الغرض وعندما يتم وضع الفلتر الكربوني في عملية الترشيح الأولي يتم عادة الاستغناء عن هذا النوع من الفلترة .

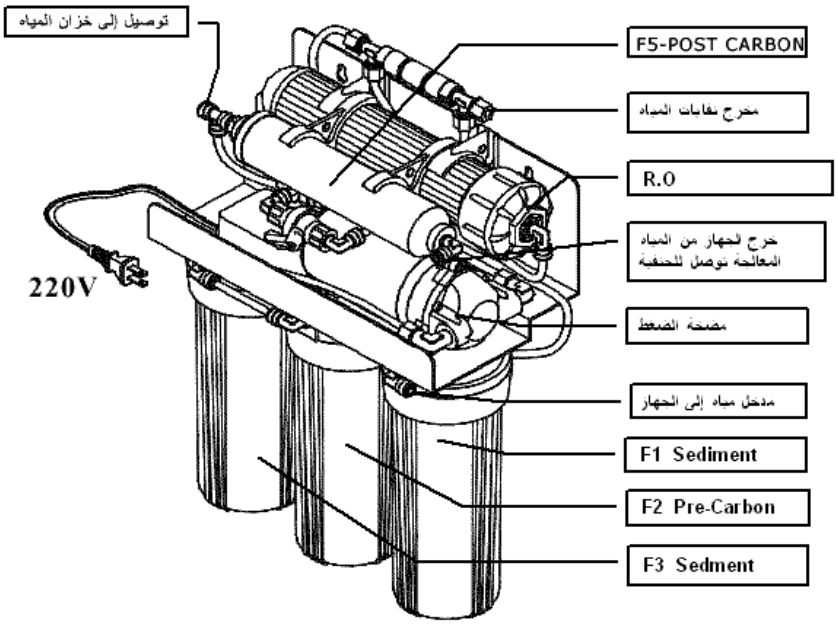
4- صنبور أو حنفية التوزيع (Delivery Tap) :

يتم استخدام صنبور توزيع منفصل من أجل الحصول على الماء المعالج أو العذب .

5- مكونات أخرى (Other) :

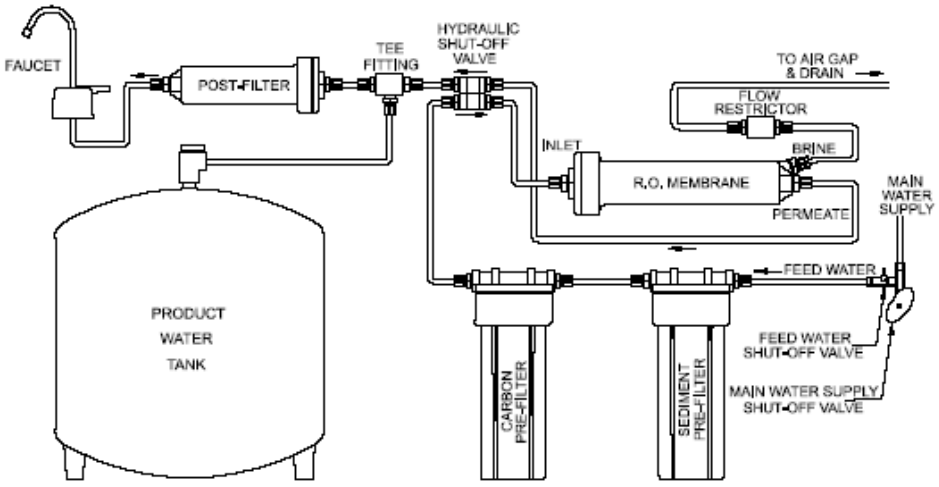
ليس هناك أنظمة تحكم خاصة لهذه الأنظمة حيث أمكن تزويدها بمفاتيح ضغط حساسة ، صمامات مراقبة ، أو مثانات مرنة . إن صمامات الإغلاق مهمة وذلك لحفظ الماء أثناء فترات الاستعمال المنخفضة ، كما أن مقاييس المراقبة أو المصابيح المساعدة تصبح شائعة بكثرة و تساعد كثيراً في معرفة فيما إذا كان النظام يعمل أم معطل .

الشكل التالي يوضح أجزاء بعض أنواع أنظمة التناضح العكسي المستخدمة للاستعمالات المنزلية :



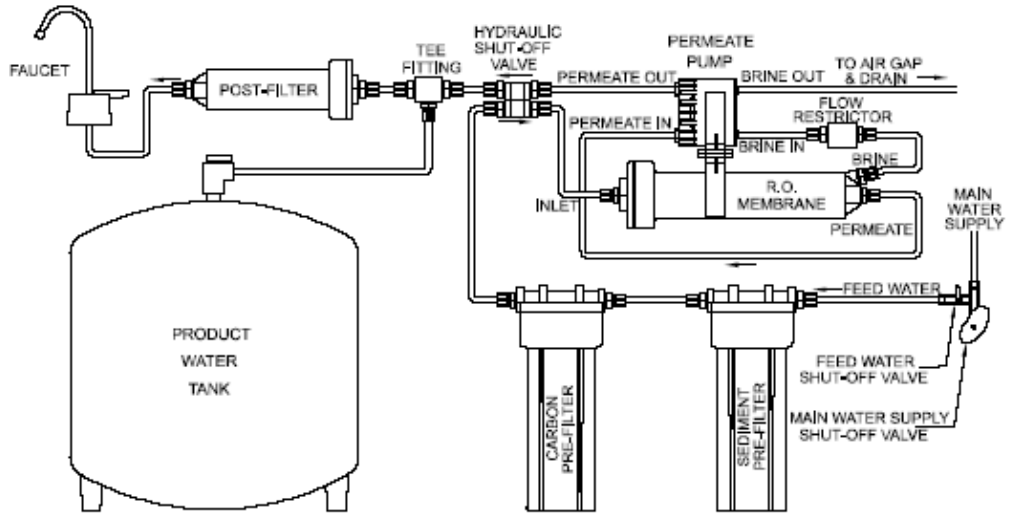
شكل (11) مكونات جهاز التناضح المنزلي

الشكل التالي يوضح سير العملية قبل تركيب المضخة :



شكل (12 – a)

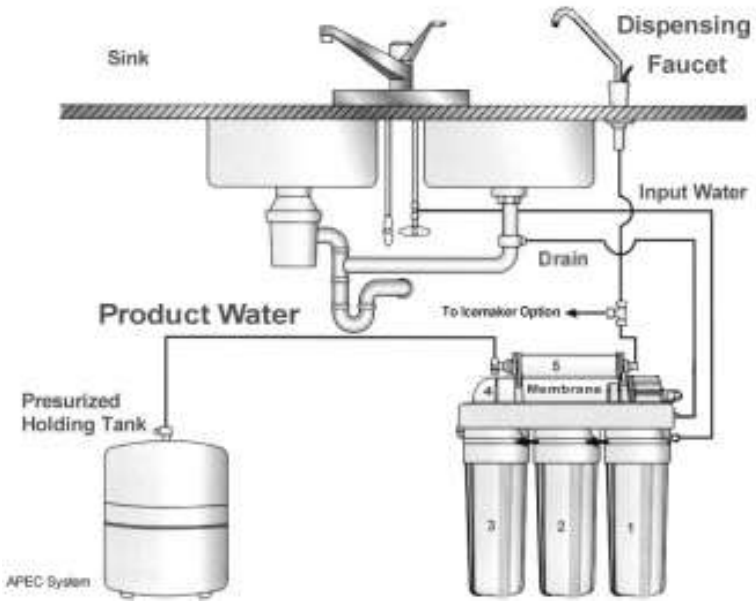
و الشكل التالي يوضح سير العملية بعد تركيب المضخة و صمامات الإغلاق الهيدروليكية :



شكل (12 – b)

شكل (12) سير العملية قبل تركيب المضخة و بعد التركيب مع صمامات الإغلاق الهيدروليكية

و الشكل التالي يوضح كيفية التوصيل أسفل خط المجلى :



شكل (13) توصيل جهاز التناضح العكسي أسفل خط المجلى

و هناك أنظمة أخرى تستخدم التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية للماء كإجراء وقائي و لكنها ذات كلفة أعلى حيث تساعد الأشعة فوق البنفسجية على قتل جميع أنواع البكتريا و الجراثيم التي يمكن أن تكون موجودة بالمياه و لا تسبب ضرراً للأغشية حيث تقوم هذه الأشعة بقتل البكتيريا الفيروسات والكائنات المجهرية

عن طريق تداخلها مع الحمض النووي الريبوني RNA منقوص الأوكسجين DNA لهذه الكائنات في و بالتالي إحداث الخلل في تركيب خلاياها ولمعرفة فيما إذا كانت هناك الحاجة لهذه التقنية في التعقيم أم لا نقول بشكل عام أنه في حال استخدام المياه البلدية (مياه مكلورة) فلن تكون بحاجة لاستخدام أشعة U.V وستكون أنظمة التناضح العكسي R.O النموذجية (بدون التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية) كافية بالغرض أما إذا في حال استخدام مياه الآبار أو الشك في صلاحية المياه التي تستخدم للشرب فيمكن إضافة أشعة U.V للتأكد من صلاحية الماء الذي يستخدم للشرب.

و هناك أنواع متعددة من الأجهزة و التي تحوي عدد أكبر مراحل فلترة منها نوع يعمل بست مراحل كالتالي:

المرحلة الأولى: فلتر 5 ميكرون لفصل الشوائب و الرمال.

المرحلة الثانية: فلتر حبيبات كربون لامتصاص الروائح و الكلور.

المرحلة الثالثة: فلتر كربوني مسمط لإزالة الغازات الذائبة في المياه.

المرحلة الرابعة:غشاء تحلية لفصل الأملاح الذائبة و البكتيريا.

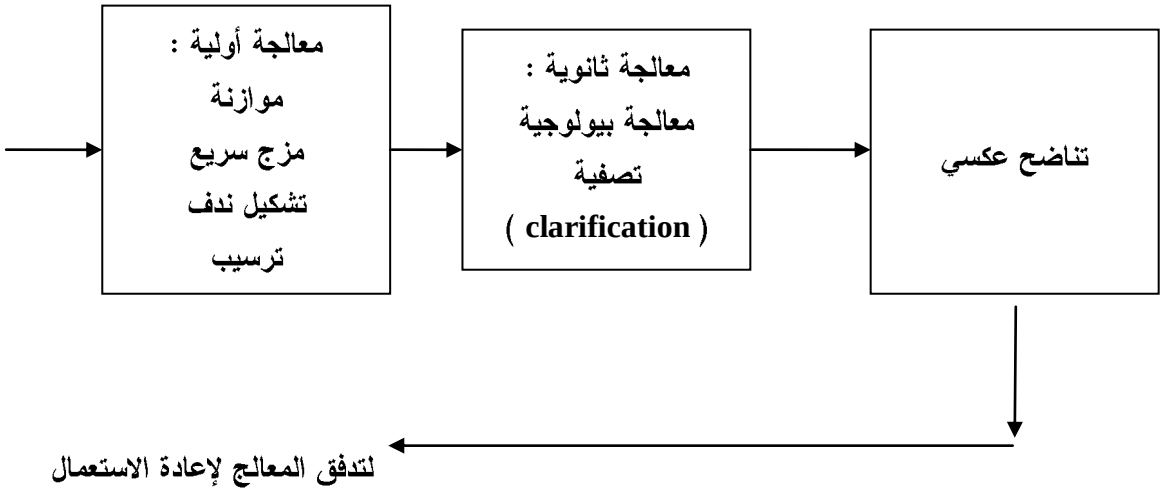
المرحلة الخامسة: فلتر كربوني لإعادة معالجة المياه بعد خروجها من الخزان.

المرحلة السادسة : فلتر بكتيري للتأكد من خلو المياه من أي خلايا بكتيري نتيجة تخزينها في خزان الجهاز

وقد تجهز مثل هذه الأنواع بوحدة تعقيم مياه بالأشعة الفوق بنفسجية UV لتعقيم المياه وتدمير البكتريا.

6- استخدام التناضح العكسي كمرحلة في معالجة مياه الصرف :

يبين الشكل (14) سلسلة المعالجة لمياه الصرف باستخدام مرحلة المعالجة الثالثية بالتناضح العكسي بدون استخدام عمليات (Solar Detoxification)



شكل (14) المعالجة الثالثية بالتناضح العكسي بدون Solar Detoxification

و الجدول (11) يوضح نتائج المعالجة بالتناضح العكسي كمرحلة معالجة ثالثية لمياه الصرف بدون Solar Detoxification

جدول (11)

1 – البارامترات الثابتة :

تدفق النافذ = 100 (ليتر / ساعة)	**تدفق التغذية = 500 (ليتر / ساعة)**
عامل التلوث (fouling factor) = 0.85	**تدفق إعادة التدوير = 400 (ليتر / ساعة)**
الأغشية المستعملة : Nos 2 × 2450– TW30	**PH التغذية = 7**
عمر الغشاء 1.5 سنة	**التنظيف الكيماوي لكل 20 يوم**
تدفق النظام الوسطي : 19.22 (ليتر / م2 ساعة)	**معدل الاستعادة : 20 %**

2– البارامترات المتغيرة :

الأشهر	الماء	TSS mg/l	TDS mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	درجة الحرارة مئوية	الضغط بار
تموز2002	الغير معالج المعالج	45 00	1500 28	20 00	101 05	30.9	6.82
آب 2002	الغير معالج المعالج	50 00	1500 26	15 00	68 3	29.30	7.05
أيلول 2002	الغير معالج المعالج	40 00	1500 25.5	10 00	36 00	28.5	7.16
تشربن الأول 2002	الغير معالج المعالج	45 00	1500 24	7 00	36 10	25.77	7.59
تشرين الثاني 2002	الغير معالج المعالج	48 00	1500 20	5 00	31 05	19.80	8.84
كانون الأول 2002	الغير معالج المعالج	45 00	1500 17	10 00	40 12	14.50	10.27
كانون الثاني	الغير معالج المعالج	55 00	1500 16	10 00	40 12	13.68	10.52
شباط 2003	الغير معالج	48	1500	15	74	17.6	9.39

		10	00	18	00	المعالج	
8.18	22.70	61 05	10 00	1500 22	50 00	الغير معالج المعالج	آذار 2003
7.09	29.00	68 00	15 00	1500 26	52 00	الغير معالج المعالج	نيسان 2003
6.58	32.75	91 05	20 00	1500 29	45 00	الغير معالج المعالج	أيار 2003
6.4	34.20	111 05	28 00	1500 30	55 00	الغير معالج المعالج	حزيران 2003

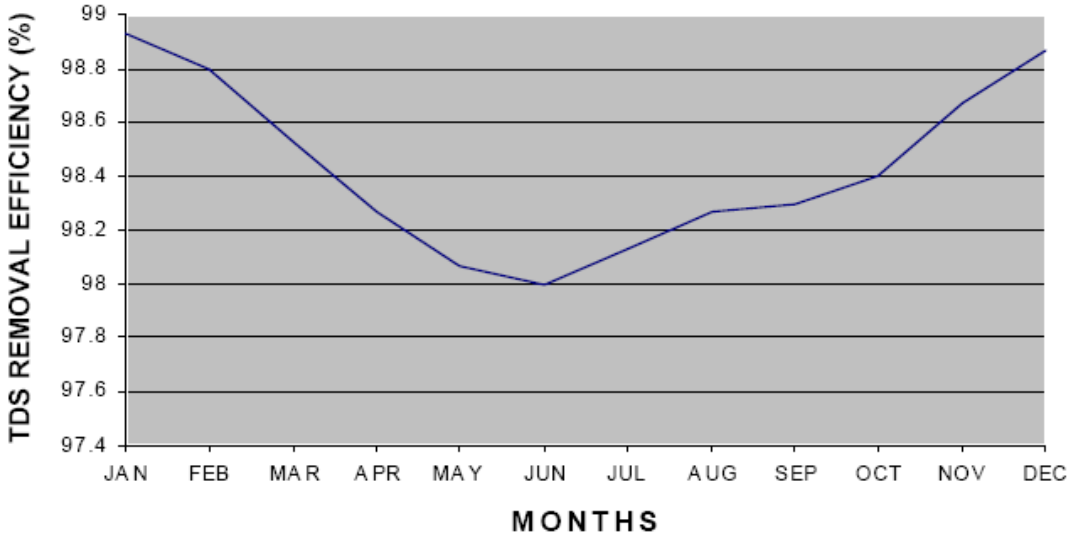
- كفاءة إزالة ال (TDS) :

إن كفاءة إزالة الأملاح الكلية الذائبة من خلال وحدة التناضح العكسي لمياه الصرف المعالجة بهذه الطريقة مجدولة في الجدول (12)

جدول (12) كفاءة إزالة TDS الوسطية الشهرية لوحدات التناضح العكسي المستخدمة كمرحلة معالجة ثالثية لمياه الصرف

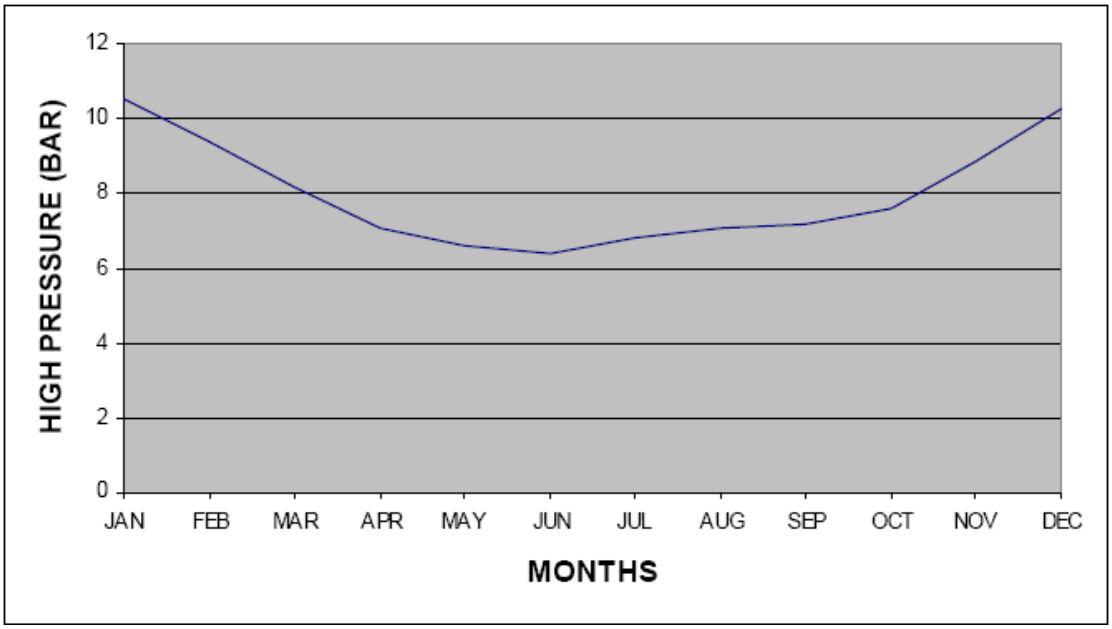
الشهر	درجة الحرارة الوسطية (مئوية)	كفاءة إزالة TDS %
كانون الثاني	13.68	98.93
شباط	17.60	98.80
آذار	22.70	98.53
نيسان	29.00	98.26
أيار	32.75	98.07
حزيران	34.20	98.00
تموز	30.90	98.13
آب	29.30	98.27
أيلول	28.50	98.30
تشرين الأول	25.77	98.40
تشرين الثاني	19.80	98.67
كانون الأول	14.50	98.87

و المخطط (1) يبين تأثير درجة الحرارة على كفاءة إزالة TDS و المعتمدة على الجدول السابق



مخطط (1)

و المخطط (2) يبين تأثير درجة الحرارة على الضغط العالي المتطلب لوحدة التناضح العكسي

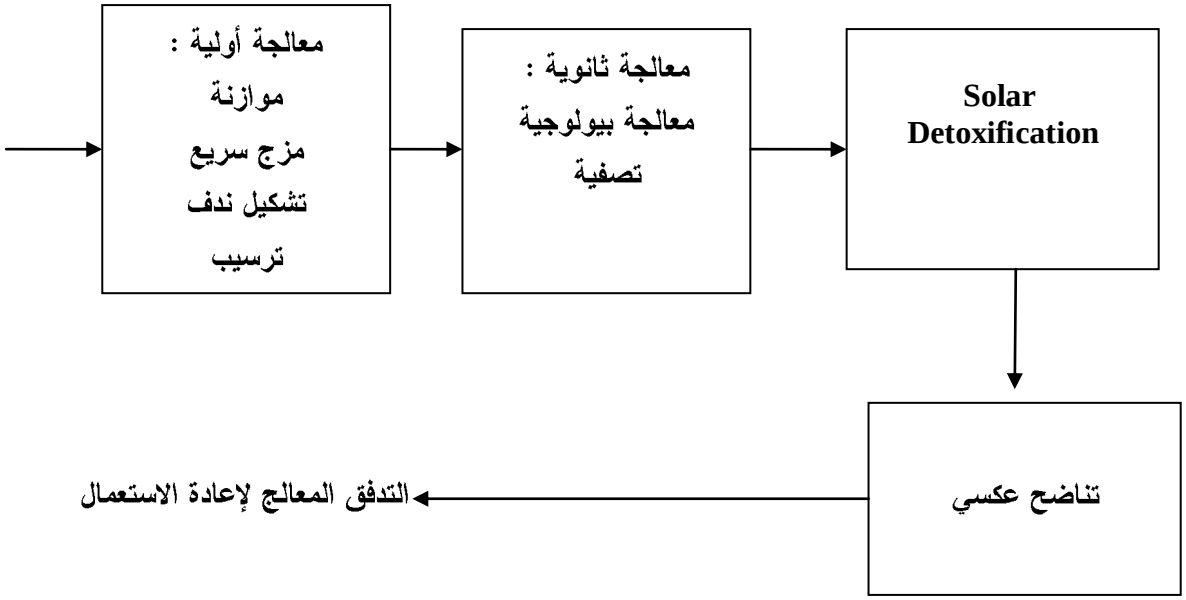


مخطط (2)

- كفاءة إزالة (TSS , BOD , COD) :

من الجدول (11) نلاحظ أن كفاءة إزالة البارامترات السابقة في وحدات التناضح العكسي المستعملة كمرحلة ثالثية لمعالجة مياه الصرف بالنسبة لل (TSS و BOD) قد تصل بهذه الطريقة إلى 100% أما بالنسبة لل (COD) فإنها تقريباً ٌل من 100 % .

أما بالنسبة لوحدات التناضح العكسي المستخدمة لمرحلة ثالثية في معالجة مياه الصرف مع عمليات (Solar Detoxification) فيمكن أن نوضحها بالمخطط التالي :



شكل (15) المعالجة الثالثية بالتناضح العكسي مع Solar Detoxification

و الجدول (13) يوضح نتائج المعالجة بالتناضح العكسي كمرحلة معالجة ثالثية لمياه الصرف مع Solar Detoxification

جدول (13)

1- البارامترات الثابتة :

تدفق النافذ = 100 (ليتر / ساعة)	تدفق التغذية = 330 (ليتر / ساعة)
عامل التلوث (fouling factor) = 0.85	تدفق إعادة التدوير = 200 (ليتر / ساعة)
الأغشية المستعملة : TW30 –2450 × 1 No	PH التغذية = 7
عمر الغشاء 1.5 سنة	التنظيف الكيماوي لكل 20 يوم
تدفق النظام الوسطي : 19.22 (ليتر / م2 ساعة)	معدل الاستعادة : 20 %

2- البارامترات المتغيرة :

الأشهر	الماء	TSS mg/l	TDS mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	درجة الحرارة مئوية	الضغط بار
ايلول2003	الغير معالج المعالج	10 00	1500 17	00 00	00 00	28.50	12.84
تشرين الأول 2003	الغير معالج المعالج	08 00	1500 16	00 00	05 00	25.77	13.80
تشرين الثاني 2003	الغير معالج المعالج	05 00	1500 13	00 00	07 00	19.80	16.59

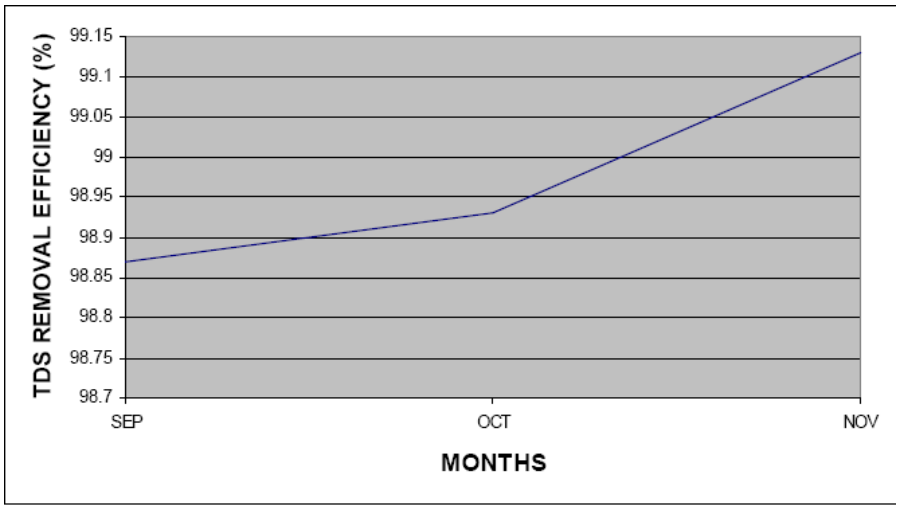
- كفاءة إزالة TDS :

إن كفاءة إزالة الأملاح الكلية الذائبة من خلال وحدة التناضح العكسي لمياه الصرف المعالجة بهذه الطريقة مجدولة في الجدول (14)

جدول (14)

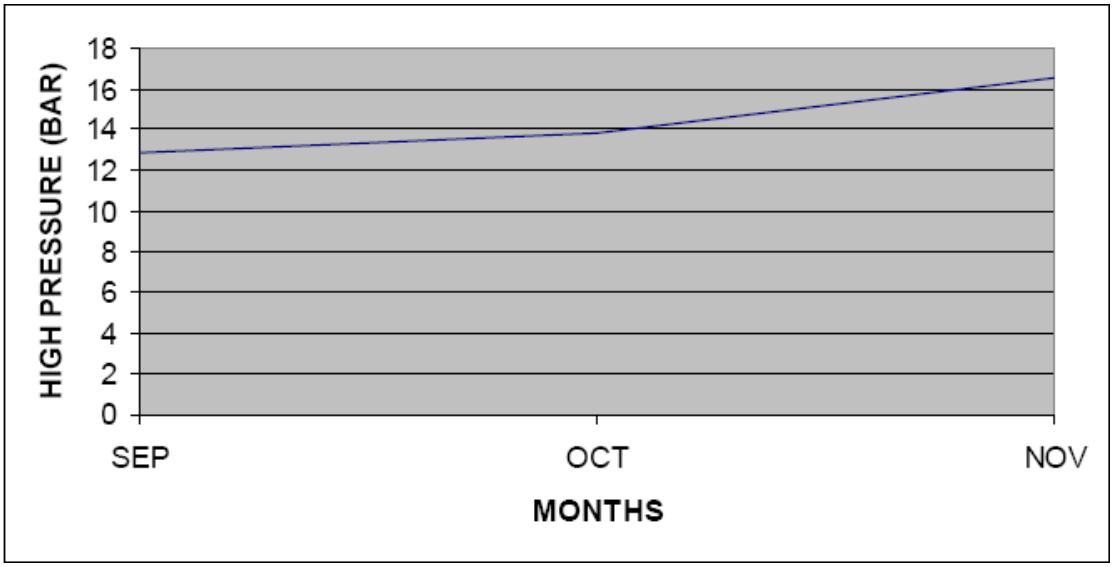
الشهر	درجة الحرارة الوسطية (مئوية)	كفاءة إزالة TDS %
أيلول	28.50	98.87
تشرين الأول	25.77	98.93
تشرين الثاني	19.80	99.13

و المخطط (3) يبين تأثير درجة الحرارة على كفاءة إزالة TDS و المعتمدة على الجدول السابق



مخطط (3)

و المخطط (4) يبين تأثير درجة الحرارة على الضغط العالي المتطلب لوحدة التناضح العكسي



مخطط (4)

- كفاءة إزالة (TSS , BOD , COD) :

كما هو ملاحظ من الجدول (13) فإن كفاءة إزالة كل من (TSS , BOD , COD) لوحدة التناضح العكسي المستخدمة كمعالجة ثالثية لمياه الصرف مع Solar detoxification تساوي 100 % .

- مقارنة بين العمليتين السابقتين :

يمكن المقارنة بين العمليتين السابقتين بالجدول التالي :

جدول (15) مقارنة بين وحدات التناضح العكسي المستخدمة لمعالجة مياه الصرف

البارامترات	نتائج التناضح العكسي بدون عملية Solar Detoxification	نتائج التناضح العكسي مع عملية Solar Detoxification
معدل الاستعادة	% 20	%30
عدد الأغشية	Nos 2 × 2450– TW30	No 1 × 2450– TW30
عمر الأغشية	1.5 سنة	3 سنوات
تكرار عمليات التنظيف الكيميائي	20 يوم	90 يوم
تدفق النظام الوسطي	19.22 (ليتر / م2 – ساعة)	38.44 (ليتر / م2 – ساعة)
كفاءة إزالة TDS	% 98.43	% 98.98

و بالتالي يمكن أن نلخص الفوائد المجنية من وضع عملية Solar Detoxification بين مرحلة المعالجة الثانوية و مرحلة التناضح العكسي بمايلي :

1- معدل الاستعادة لمرحلة التناضح العكسي تزداد بمقدار 10% .

2- عدد الأغشية المتطلب ينخفض إلى 50 % أي إلى النصف .

3- عمر الأغشية يزداد بمقدار مرتين .

4-فعالية التنظيف الكيميائي تزداد بمقدار 4.5 مرة .

5- تدفق النظام الوسطي يزداد بمقدار الضعف .

6- كفاءة إزالة TDS تزداد بمقدار 0.5 % .

7- إن زيادة فعالية التنظيف الكيميائي بمقدار 4.5 مرة يشير إلى أن التلوث البيولوجي ممنوع بمقدار 4.5 مرة .

بعد أن اطلعنا على أهم استخدامات التناضح العكسي المختلفة سنبدأ بالتعرف على كيفية تشغيل الأنظمة المختلفة و ماهي المشاكل الممكن حدوثها و سبل التخلص منها أو تفاديها .