الباب السادس

تشغيل و صيانة أنظمة التناضح العكسي

Operation And Maintenance Of RO Systems

مقدمة :

تعرفنا في الأبواب السابقة على العديد من المعلومات المتعلقة بنظم التناضح العكسي و تطبيقاته و الآن سنعرض ماهي أهم المشاكل التي يمكن أن تتعرض لها الأغشية و إجراءات التنظيف النموذجية لها و طرق الربط الصحيح لعناصر الأغشية مع بعضها البعض داخل أوعية الضغط و مع الوعاء الموجودة ضمنه كذلك كيفية تشغيل النظام و ماهي الأمور اللازم عملها لضمان العمل و التشغيل الصحيح للنظام و ما هي سبل حفظ الأغشية ، و كيف يتم تشغيل النظام الأولي و ماهي الأمور الواجب عملها لضمان الإغلاق الصحيح للنظام بدون حدوث أية مشاكل ، كما سنتعرف على العديد من المشاكل التي يمكن أن تحدث و ما سبل الوقاية منها أو تفاديها .

1- عمليات تشغيل نظام التناضح العكسي :

إن عمليات تشغيل وحدات التناضح العكسي تتضمن تعديل المضخات و الصمامات و التحكم بالضغوط و معدلات الجريان لمحلول التغذية و المحلول المركز.

إجراءات الصيانة الأكثر أهمية بالنسبة لوحدات التناضح العكسي هي :

١ -عمليات تنظيف الأغشية .

٢ -عمليات استبدال الأغشية نتيجة تلفها .

ينتج تلف الأغشية من مواصفات محلول التغذية السيئة و التي ينبغي التحكم بها أو تعديلها كما ذكرنا سابقاً وعندما يتم منع أو تقليل الضرر الذي يمكن أن يصيب الأغشية فإن متطلبات صيانة وحدات التناضح العكسي سوف تقل و على سبيل المثال : الصيانة الدورية للفلاتر الخرطوشية قد تكون ضرورية أو قد تكون هناك حاجة لاستبدالها .

وهنالك العديد من الأسئلة البسيطة التي يتم طرحها باستمرار و لكنها غاية في الأهمية و الإجابة عليها تشكل مدخلاً هاماً لمعرفة كيفية التشغيل الأمثل لنظام التناضح العكسي.

1-1- أسئلة و أجوبة (Questions And Answers) :

1-هل يلزم معالجة أولية قبل التحلية بالتناضح العكسي؟

يوجد عدة أنواع للمعالجة المبدئية و التي تسبق تحلية المياه بالتناضح العكسي و اختيارها يعتمد في الأساس على الإمكانيات، الخبرة و القدرات الفنية لطاقم العمل حيث يمكن التأكيد أنه كلما ازدادت جدارة تطبيقات الصيانة الوقائية يمكن الحصول على معالجة مبدئية كيميائية سليمة، فيما عمليات الفلترة الرملية أو إزالة العسرة تتطلب قدر أقل من الصيانة اليومية.

مياه التغذية يجب أن تحتوي على قدر قليل من الشوائب الصلبة Solids و الطمي Silt و ذلك حفاظاً على الأغشية من الانسداد و هذا يمكن إنجازه بإزالة هذه الشوائب أو تعليقهم و التقاطهم خلال مرورهم بأحد مراحل المعالجة الأولية مثل التنقية الرملية أو بخراطيش الترسيب Sediment Cartridge مما يحمي الأغشية و يساهم في حسن أدائها لفترة زمنية طويلة.

عندما تمر المياه خلال أغشية التناضح العكسي،ترتفع نسبة الايونات في مكونات الدفق المنبوذ Reject Flow و هذا يؤدي حتماً إلى ارتفاع نسبة الأملاح الذائبة TDS و لا سيما الكالسيوم و المغنيزيوم و ترسيب جزء منها داخل الأغشية، و على الرغم من إمكانية إزالة الكالسيوم و المغنيزيومأو بإضافة مادة كيميائية لإبقائهما مسيلين إلا أن الكثير من خبراء معالجة المياه ينصح بضرورة استعمال وحدة إزالة عسرة Softener في خط المياه قبل دخولها الأغشية و استبدال ايوناتها بايونات صوديوم.

أيضاً الكلور يلزم إزالته كلياً عند استعمال أغشية Thin Film أو تخفيض نسبته مع أغشية CTA ، و يتم ذلك باستعمال وحدة فلترة كربون و هذا ما يشجع عليه خبراء معالجة المياه، أما ضخ مادة صوديوم ميتابايسولفايت فهي فعالة و لكنها تساهم في نمو البكتيريا التي تسدالأغشية أيضاً و تقلل من أدائها.

2- هل يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني PH قبل وصول المياه إلى الأغشية ؟

المحطات الكبيرة مجهزة بشكل إلزامي بلوازم تعديل PH ما بين 5.5 و 6.5 و هذا يساعد في نظافة الأغشية و منع انسدادها .

3- ما هو المطلوب لتركيب و استعمال منظومة تناضح عكسي ؟

منظومة التناضح العكسي سهلة و بسيطة و تتألف من مجموعة أنابيب تتحمل ضغوط عالية و تحتوي في داخلها على أغشية التناضح العكسي و التي تقوم بعملية فصل أيونات المياه نتيجة ضغط المياه بواسطة مضخة.

ينتج عن العملية تدفقين للمياه ، الأول و هو المياه المنتجة ذات الأملاح المنخفضة و التي لا تتجاوز4% من أملاح مياه التغذية.

أما التدفق الثاني فهو ذات التركيز الملحي العالي و الذي يتم رميه عموماً و أحياناً يعاد إدخاله إلى أول المنظومة و للمرور في مرحلة ثانية من الأغشية مما يسمح برفع كفاءة المنظومة و قدرتها على الإنتاج.

4- *ما هو الضغط المطلوب لتحقيق عملية التحلية* ؟

يعتمد الضغط المطلوب لعملية التحلية على نسبة التركيز الملحي للمياه في خط النبذConcentrate و للتوضيح زيادة فان ملوحة على خط النبذ قدرها1100 ppm تتطلب ضغطاً أكبر من 200 psi .

أما مياه البحر ذات الملوحة العالية 33000 و أكثر (42000 ppm في البحر الأحمر خلال الصيف و تنخفض إلى 38000 ppm شتاء) تتطلب ضغطاً أكبر من 800psi .

وحدات التحلية المنزلية المعروفة باسم Under Sink R.O و التي يتراوح إنتاجها اليومي بين 30 ليتراً و 300 ليتراً فلا يزيد ضغطها على 70 psi .

5- كم ستكون المياه المنتجة نقية و صافية ؟

نقاء المياه المنتجة يحدده أمران أساسيان و هما :

الأول: و هو نسبة النبذ في الغشاء المستعمل Reject Ratio و الذي يتراوح بين 92 و 99.5 بالمائة.

الثاني: نسبة الأملاح في مياه التغذية.

إذا قلنا أن نسبة النبذ في غشاء هو 95 % فهذا يعني أن تسرباً للأملاح و قدره 5 % سيعبر مع المياه المنتجة و بالأرقام يصبح لدينا التالي:

مياه التغذية مع 200 ppm سينتج عنها مياه نقية مع أملاح 10 ppm .

أما إذا استعملنا أغشية مع نسبة نبذ 99 % فسوف نحصل على مياه منتجة مع أملاح تقارب 2 ppm

نشير إلى أن عمر الأغشية يلعب دوراً في ازدياد أملاح المياه المنتجة و بالتالي غسيل الأغشية يؤدي إلى تغيرات واضحة في مواصفات الأغشية و تهبط نسبة النبذ إلى 90 % .

6- كيف نمنع انسداد الأغشية ؟

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

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

أما الطريقة الثانية فهي بإزالة عسرة المياه في المعالجة الأولية. (راجع الفصل الثاني) .

7- كيف يتم غسيل الأغشية ؟

مبدأ العملية سهل جداً رغم أنها تتطلب بعض اللّوازم مثل مضخة و خزان و خراطيم مياه إضافة إلى مواد كيميائية معينة أو استبدالها بالأسيد لغسيل الرقم الهيدروجيني المنخفض حوالي4 أو إضافة كوستيك صودا لغسيل الرقم الهيدروجيني العالي 12 .

و تتم العملية عبر تدوير السائل المطلوب إلى داخل أنبوب الأغشية و منها إلى الخزان و لمدة لا تقل عن ساعة، يتم بعدها غسيل الأغشية بمياه نظيفة و إعادة التوصيلات و تشغيل المحطة مجددا.

8- كم تحتاج المحطة من أعمال صيانة يومية ؟

هذا الموضوع مرتبط مبدئياً بحجم المحطة و طاقتها و لكن نورد مجموعة من الأعمال الضرورية مثل:

غسيل الفلاتر الرملية، فلاتر الكربون، ملء خزانات المواد الكيماوية في حال نقصها و بالكميات المحددة

تسجيل قراءات أجهزة القياس و العدادات و ساعات الضغط و حفظها من أجل مراقبة أدائها.

9- ما هو العمر للافتراضي للأغشية بعد التشغيل؟

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

10- هل تنمو البكتيريا في المياه المنتجة إثناء التخزين ؟

نعم ، يمكن للبكتيريا أن تنمو في المياه المخزنة و هنا تبدو أهمية ضخ مادة الكلور في المياه المنتجة لتحصينها و منع نمو أية جراثيم فيها.

كما ينصح بطلاء جدران الخزانات بألوان كامدة مثل الأسود و غيره و ذلك لمنع ظهور الطحالب عليها.

11- هل معدل التدوير للمحلول المرفوض (مع نسبة أملاح قدرها 1000 ppm) لماء التغذية(ذو TDS=400 ppm) مستحسن ؟ على الرغم من كون معدل الإنتاج 3.3 gpm منتج و 2.5 gpm مرفوض ... ؟

إن إعادة التدوير لماء الصرف غير مستحسنة لأن ذلك سيؤدي إلى إنتاج أقل للماء العذب ، و نسبة أملاح أكبر في الناتج و كذلك إمكانية إفساد الأغشية ....

12- عند تصميم وحدات تناضح عكسي بإنتاجية 75 gpm لمعالجة الماء الجيد المواصفات (well water) من مشاكل البكتريا فأين من الممكن تركيب مصباح الأشعة فوق البنفسجية ... هل يتم تركيبه قبل الغشاء لمنع تلوث الغشاء أم بعده ؟؟

إن نظام أو مصباح الأشعة فوق البنفسجية ينبغي أن يكون المرحلة الأولى التي يتم من خلالها تدفق الماء و ربما تكون هناك حاجة لمصباح (UV) ثاني قبل الصنبور .

13 - فيما يتعلق بدرجة الحرارة للماء و عند تسخينه مقدماً هل يمكن أن يتأثر النظام بهذا التسخين ؟

إن تسخين المياه بشكل مجاني سيؤدي إلى ضغط تشغيل أخفض لنظام التناضح العكسي و بناء عليه كلف التشغيل ستكون أخفض و لكن يوصى بشكل عام الحفاظ على درجة الحرارة أقل من 80 درجة فهرنهايت .

بعد أن طرحنا بعض الأسئلة و جاوبنا عليها مبدئياً يجب أن نكرسها بمعرفة خطوات التشغيل المفصلة لأنظمة RO .

1-2- تشغيل نظام التناضح العكسي (الإقلاع الابتدائي) :

إن بدء التشغيل الملائم لنظام التناضح العكسي المستخدم لمعالجة المياه يعتبر أساسياً لتحضير الأغشية للتشغيل و لمنع تضررها نتيجة الضغط المفرط / الصدمات الهيدروليكية أو صدمات الجريان و التدفق وترتيب عمليات التشغيل المتتالية تساعد على ضمان أن بارامترات تشغيل النظام متوافقة مع شروط التصميم الهادفة لتحقيق أهداف نوعية ماء جيدة و إنتاجية معينة له و التي من الممكن أن تتحقق بضمان التشغيل الصحيح للنظام و القياسات الداخلية لأداء النظام جزء هام جداً من عمليات الإقلاع .

و المعلومات التالية من الممكن أن تساعد مشغلي الأنظمة من أجل ضمان الأداء المستمر لعمليات التشغيل و التي من الممكن قياسها .

فيما يلي تتالي نظام التشغيل لوحدات التناضح العكسي الموصى به :

سلسة التشغيل النموذجية لنظام التناضح العكسي :

1- قبل البدء بالتشغيل المتتالي للنظام ينصح بغسيل وشطف قسم المعالجة الأولية أو الابتدائية كلياً من أجل التخلص من الحطام و الملوثات الأخرى بدون السماح لماء التغذية بالدخول لعناصر الأغشية ، بعدها يجب ضبط و فحص عملية البدء بمرحلة المعالجة الأولية .

2- تدقيق كل الصمامات للتأكد من وضعها الصحيح كما يجب أن تكون صمامات التحكم بالتغذية و المحلول المرفوض مفتوحة بالكامل .

3- استخدام ماء ذو ضغط منخفض عند معدل تدفق منخفض و ذلك لدفع الهواء خارج العناصر و أوعية الضغط . الدفع يكون بضغط قياسي من psi (60 - 30) أي من MPa (0.4 – 0.2) و كل التدفقات النافذة و المرفوضة ينبغي أن توجه إلى بالوعة أو مخرج نفايات ملائم أثناء دفعها .

الهواء المتبقي في العناصر و / أو أوعية الضغط ربما يؤدي لقوى زائدة على العنصر باتجاه الجريان أو بالاتجاه القطري و يسبب تصدع هيكل الألياف الزجاجية . و إذا ارتفع ضغط التغذية بشكل سريع جداً فإن ذلك يؤدي إلى هبوط عالي في الضغط .

4- أثناء عمليات الدفع ينبغي فحص كل وصلات الأنابيب و الصمامات لمراقبة التسربات إن وجدت و الوصلات المشدودة بإحكام تكون ضرورية .

5- بعد عملية الدفع خارج النظام لمدة 30 دقيقة أغلق صمامات التحكم بضغط التغذية .

6- تأكد من أن صمام التحكم بالمحلول المركز المرفوض (concentrate) مفتوح ، حيث أن البدء مع صمام تحكم بالمحلول المرفوض مغلق أو مغلق تقريباً سيتسبب بازدياد الاستعادة عن الحدود المطلوبة أو المنصوح بها و التي يمكن أن تؤدي بدورها لتكوين القشور .

7- افتح صمام التحكم بضغط التغذية ببطء (ضغط التغذية ينبغي أن يكون أقل من 0.4 MPa / 60 psi).

8- شغل مضخة الضغط العالي .

9- افتح صمام التحكم بضغط التغذية ببطء ، زد ضغط التغذية و معدل تدفق التغذية لعناصر الأغشية حتى يصبح تدفق المحلول المرفوض وفقاً لما هو مصمم عليه . ضغط التغذية المزداد إلى العناصر ينبغي أن يكون أقل من 10 psi (0.07 MPa) في الثانية و ذلك بهدف إنجاز تشغيل سلس و مريح للنظام .

واصل إرسال كل من تدفقات النافذ و المرفوض إلى بالوعة أو مجمع النفايات المعد .

إذا كان ضغط التغذية و/أو معدل تدفق التغذية مرتفعاً بسرعة فإن مجمع الأغشية ربما يخرب من قبل القوى الزائدة المطبقة و ذلك باتجاه الجريان و / أو في الاتجاه القطري خصوصاً إذا تم حمل هواء النظام إلى المقراب (telescoping) و / أو إلى شبكة الألياف الزجاجية (fiberglass shell cracking) .

10- أغلق ببطء صمام التحكم بالمحلول المرفوض حتى يقترب معدل التدفق النافذ من معدل التدفق المرفوض لكن بحيث لاتتجاوز المعدل المصمم (الاستعادة) . استمر بفحص ضغط النظام للتأكد من أنه لا يتجاوز حدود التصميم الأعظمية .

11- أعد الخطوتين (9 و 10) حتى تحصل على تدفقات للنافذو المرفوض المصمم على أساسها .

12- احسب استعادة النظام و قارنه بالقيم التصميمية للنظام .

13- دقق إضافة المواد الكيميائية المستخدمة قبل المعالجة (أحماض ، موانع تشكل الترسبات ، و كبريتات الصوديوم في حال استخدامها) و قس PH ماء التغذية .

14 - دقق دليل الإشباع (LSI) أو دليل توازن (Davis و Stiff) للمرفوض بقياس ال PH ، الناقلية ، القساوة الكالسيومية ، و حدود القلوية و بعدها قم بعمل الحسابات الضرورية .

15- دع النظام يعمل لمدة ساعة واحدة .

16- خذ القراءات الأولى لكل بارامترات التشغيل .

17- افحص ناقلية النافذ من كل وعاء ضغط للتحقق من أن أوعية الضغط مطابقة لتوقعات الأداء (على سبيل المثال أوعية الضغط مع حلقات منع التسرب الدائرية أو أجزاء أخرى من الممكن أن تراقب لمعرفة الإجراء التصحيحي اللازم للنظام) .

18- بعد 24 إلى 48 ساعة من التشغيل راجع كل بيانات تشغيل الوحدة المسجلة مثل ضغط التغذية ، الاختلاف و التفاوت في الضغوط ، التدفقات ، الاستعادة ، و قراءات الناقلية وفي نفس الوقت اسحب عينات من مياه التغذية و المحلول المرفوض و النافذ من أجل تحليلها .

19- قارن أداء النظام بقيم التصميم .

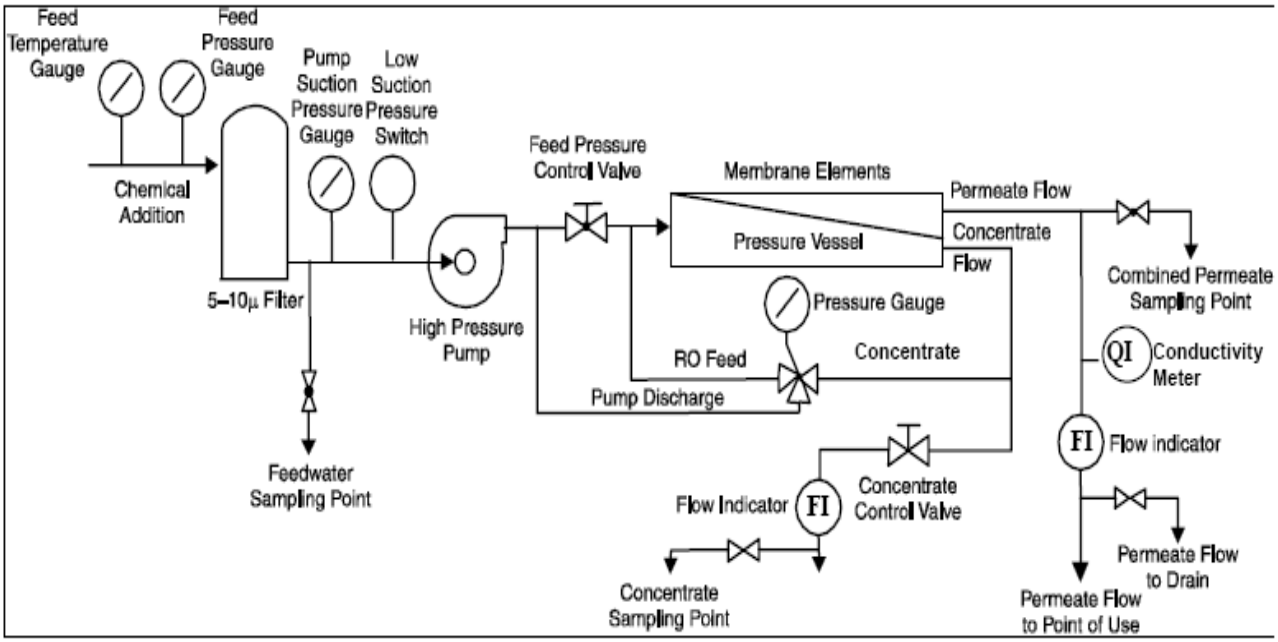
20- تأكد من التشغيل الملائم لوسائل الحماية الميكانيكية و الوسائل ذات الدور الفعال .

21- غير تدفق النافذ من البالوعة إلى موزع الخدمة الصحيح .

22- قم بقفل النظام إلى التشغيل الميكانيكي .

23- استعمل معلومات أداء النظام الأولية التي حصلت عليها في الخطوات (16 إلى 18) من أجل مراجعة و تقدير أداء النظام في المستقبل . قس أداء النظام بانتظام خلال الأسبوع الأول للتشغيل للتأكد من الأداء الملائم أثناء هذه المرحلة الأولية الحاسمة .

الشكل التالي يوضح نظام RO/NF النموذجي



شكل (1) المكونات النموذجية لنظام التناضح العكسي مع الصمامات و الأجزاء كافة

هذا و يجب كتابة تقرير عن الأداء الأولي لنظام التناضح العكسي من قبل المشغل للحصول على البيانات اللازمة لمقارنة أداء نظام التناضح العكسي المستقبلي مع البيانات الأولية للتشغيل الابتدائي و التي تم الحصول عليها لتلافي الأخطاء و المشاكل .

3-1- اختبار النظام :

بعد توفر البيانات اللازمة لعمليات تشغيل النظام و معلومات الأداء ينبغي أن يتم فحص النظام بشكل أكثر تفصيلاً حيث يجب القيام بالإجراءات التفتيشية التالية :

1- التفتيش البصري (Visual Inspection) :

- متى يجب أن ننظف النظام ؟

المواد المتعفنة و النمو الحيوي في الخزانات و الأنابيب دليل على مشاكل التلوث البيولوجي ، تسرب أوعية الضغط ربما يمتص الهواء عندما يتم إغلاق النظام و يؤدي إلى صدمات هيدروليكية عند الإقلاع و تلوث النافذ خصوصاً في تطبيقات مياه البحر .

- افتح أوعية الضغط من جانب التغذية و تأكد من التالي : هل هناك أي تلوث موجود على سطح العنصر الأساسي ؟ الطبقة الرقيقة الفيلمية على السطح الرطب تبدو لزجة أو قابلة للانزلاق . هل هناك أي رائحة ؟ هل العناصر مملوءة بشكل صحيح ؟ ....
- افتح وعاء الضغط في جانب المحلول الملحي المركز و تأكد من التالي : الترسبات الملحوظة شبيهة بطبقة رقيقة من الرمل و يمكن معرفتها باللمس .
- أزل العناصر من واحد أو عدة أوعية للضغط و دقق الوصلات الممزقة ، لاحظ وجود أي تضرر أو تلف أو خطأ في وضع أو توصيل الحلقات الدائرية ، إذا دعت الحاجة استبدل الحلقات الدائرية .
- فتش عن تلوث العناصر ، الترسبات و التلف الميكانيكي : راقب على الأقل عنصر رئيسي واحد و عنصر خلفي واحد .

2- نوع التلوث و التنظيف الأكثر فاعلية :

- ما هو ميل النظام على إجراء التنظيف و التعقيم المتبع و قارنه مع عمليات تنظيف مختلفة ، إن كفاءة التنظيف المعين و المحدد يشير إلى وجود ملوث معين .
- كيف يبدو محلول التنظيف عند خروجه من النظام ؟ الخروج الأولي لمحلول التنظيف من نظام الأغشية قد يحوي على كميات عالية من الملوثات المزالة ، حلل مادة التنظيف الكيماوية المستهلكة للمعادن و TOC و قارنها مع المحلول النظيف . نوع الملوث يمكن أن يقدر من مقارنة الاختلافات بين المحلول المستعمل و المحلول النظيف .

3- تمركز مرور المحلول العالي :

3-1- التشخيص :

إذا كان النظام يعرض مرور عالي للمحلول فواحدة من أولى الخطوات في حل هذه المشكلة هو توقيع المصدر و معرفة مكان تمركزه الأساسي ، الخسارة في رفض المحلول يمكن أن تكون موحدة في كافة أرجاء النظام أو من الممكن أن تكون محدودة في المحور الأمامي أو النهاية الخلفية للنظام ، يمكن أن يكون فشل الوحدة عام أو محدوداً بواحد أو عدد من أوعية الضغط الفردية . يوصى أولاً عند ملاحظة مواضع المرور العالي للمحلول في النظام كتابة لمحة عن النظام ، كل أوعية الضغط الفردية و قيمTDS و أو الناقلية أو القيم الأخرى ذات العلاقة و المفحوصة من قبل المشغل . النظام المصمم بشكل جيد يحوي على نقطة خروج بسيطة للاختبار مستقرة على تيار النافذ من كل وعاء ، يجب أن يتم أخذ العناية اللازمة أثناء أخذ العينات لتجنب مزج النافذ المختبر مع النافذ من أوعية ضغط أخرى و يتم اختبار كل عينات النافذ من حيث تركيزها من TDS أو الناقلية من خلال عداد .

3-2- السبر :

إذا أظهر وعاء ضغط واحد تركيز واضح جداً للنافذ بالمقارنة مع النافذ من أوعية ضغط أخرى في نفس المرحلة عندها ينبغي سبر و تقصي هذا الوعاء و هذا الإجراء يسمح بتحديد مكان المشكلة ضمن وعاء الضغط و بدون الحاجة لتفريغ العناصر ، يتضمن التحري إدخال أنبوب بلاستيكي (تقريباًmm 6 بالقطر) في الطول المشبع لقناة النافذ و ذلك لقياس ناقلية النافذ في مواقع مختلفة داخل وعاء الضغط ، هذا يمكن أن ينجز بعزل الوعاء عن قناة النافذ الحاوي عليها و استخدام قناة نافذ مفتوحة أو بإزالة سدادة النافذ على الغطاء الطرفي المقابلة له ، و عند الإبقاء على تفرعات النافذ في المكان فينبغي التأكد أنه لا يوجد نافذ من أوعية أخرى و الذي يمكن أن يؤثر على السبر . إذا عمل النظام بضغط خلفي للنافذ فإن الوعاء المسبور ينبغي ألا يكون متصلاً مع النافذ من النظام و إلا فإن النافذ من الأوعية الأخرى سيدخل إلى الوعاء المسبور إن استعمال أنبوب معدل ملائم كما في الشكل (3) يزيل تسرب الماء في رأس المدخل ، هذه الأداة يمكن أن تستعمل في النهاية المعاكسة لأوعية النافذ من الأنابيب الرأسية للمنتج ، يتم وصل صمام كروي بقطر 0.5 inch إلى فتحة النافذ و مجهز بأنبوب بلاستيكي (Parker) بقطر 0.25 inch و الذي يعدل عن طريق ثقب الجسم للسماح ل 0.25 inch من أنبوب السبر البلاستيكي باجتياز الوصلة بشكل كامل ، بالإضافة إلى ذلك يجهز المسبار بقطعة صغيرة من أنبوب مطاطي لين جداً بقطر (5 cm) من المطاط الرفيع و الذي يثبت بشكل جيد فوق نهاية أنبوب السبر البلاستيكي و يبرز بحوالي0.5 inch لمنع التدلي إلى وصلات أنبوب المنتج و أدوات ربط أنبوب النافذ .

في حالة التشغيل الطبيعية للغشاء فإن الماء المحول من تيار النافذ لوعاء الضغط هو اقتراح ، يجب أن يسمح بشطف نهاية الوعاء لبضع دقائق و كذلك السماح بموازنة نظام الغشاء . من أجل نظام التناضح العكسي فإن الناقلية أو TDS لعينة من النافذ من الوعاء يمكن أن تقاس بوساطة عداد محمول يدوياً و مسجل بيانات و القياسات المأخوذة تعكس TDS النافذ .

للقيام بالاختبار يتم سحب الأنبوب للخارج بمقدار (15cm) من نهاية وعاء الضغط و يتم أخذ عينة من الماء النافذ لقياس الناقلية في السطح المشترك للعناصر المرتبطة ، بعدها يتم نزع حوالي20 cm من الأنابيب و يتم قياس عينة أخرى من النافذ ، بعدها يتم سحب الأنابيب للدعم الإضافي للحصول على لمحة عن الناقلية كما في الشكل (2) . مواقع أخذ العينات يجب أن تكون كل (20 cm) لتحديد قياسات متعددة لكل نقطة اتصال بين كل عنصرين و هذا يسمح بتدقيق القياسات المتعددة لكل عنصر زائد مفحوص من جميع الوصلات / أدوات الربط الدائرية .

أخذ قراءات الناقلية بفاصل قدره 8 انش لكل عنصر يسمح بالفحص الدقيق من أجل تعيين مواضع التسرب في موانع التسرب للحلقات الدائرية ، و بشكل مماثل فإن السبر يجب أن يتم بمسافة بعيدة عن نهاية الوصلة لفحص سلامة مانع التسرب الحلقي الدائري في النهاية الرأسية لمجمع الأغشية ووعاء الضغط (سدادة النهاية) . الشكل (2) يوضح كيف يتم السبر لتدقيق التسربات في مانع التسرب الحلقي في وصلات أنبوب النافذ في محور النافذ للسدادة الطرفية (النهاية) ، هذا المخطط يوضح السبر في موقع البداية لكل 8 عناصر من الأغشية حيث تستخدم فوهة نافذ مسدودة عادة لربط أدوات السبر و إدخال أنبوب السبر . القياس سيختلف بالاعتماد على تصنيع النموذج و أوعية الضغط الفعلية المستعملة ، عادةً يوصّى بفتح واحد من أوعية الضغط لتحديد القياس الصحيح بدقة من أجل تنظيم ووضع أنبوب السبر في الموقع

الصحيح . بعد عمل ذلك ينبغي عمل جدول لتحديد الأبعاد و المواقع المتطلبة أثناء سحب أنبوب السبر لتسجيل قياسات الناقلية .

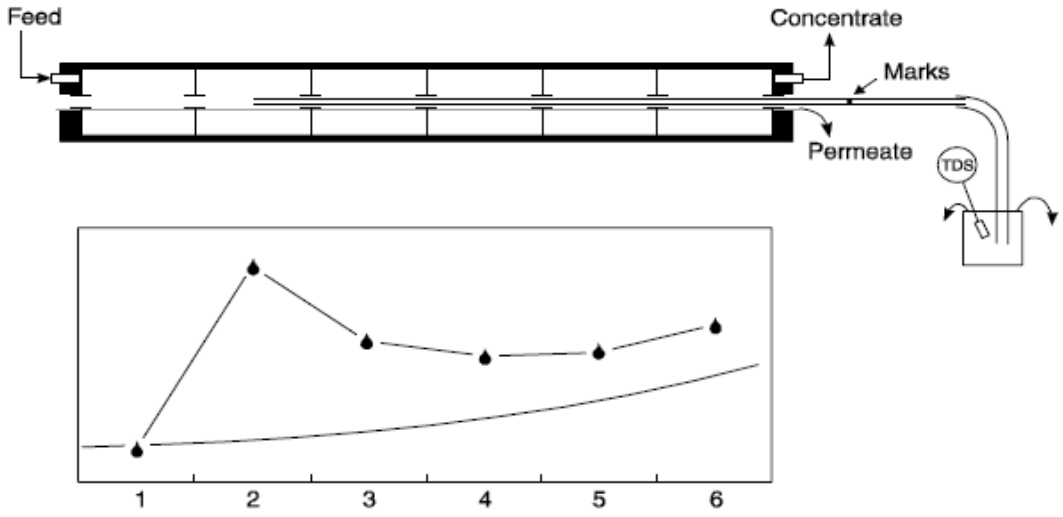
الوضع الدقيق للمسبار من أجل هذه البيانات يمكن أن يحقق باستخدام حلقة دائرية إضافية (قياس108 لكل 0.25 inch من قطر الأنبوب) كمؤشر ملائم خارج الأنبوب ، للسبر يتم إدخال الأنبوب بشكل كامل إلى موضع البداية ، و مؤشر الحلقة الدائرية يتم وضعه في الوجه الخارجي لوصلة الأنبوب ، و القياسات التالية من أجل الموقع المحدد سابقاً يمكن أن تتم بشكل دقيق بشريط قياس حيث أن الحلقة الدائرية ستتحرك على طول الواجهة مع أنبوب السبر المسحوب ، بعدها يتم حفظ السبر بمرور الحلقة الدائرية إلى الخلف لوصلة الأنبوب للإعداد لقياسات الانسحاب التالي ، و هذا العمل البسيط يبرهن بشكل دقيق موضع السبر لحوالي 7 عناصر في السلسلة .

بيانات الناقلية العادية تظهر زيادة مستقرة للمنتج النافذ من جانب التغذية لوعاء الضغط بالمقارنة مع نهاية المحلول المركز للوعاء . الانحرافات الكبيرة الغير عادية من هذه القراءات و العملية تحدد مصدر مشكلة اجتياز الأملاح العالي .

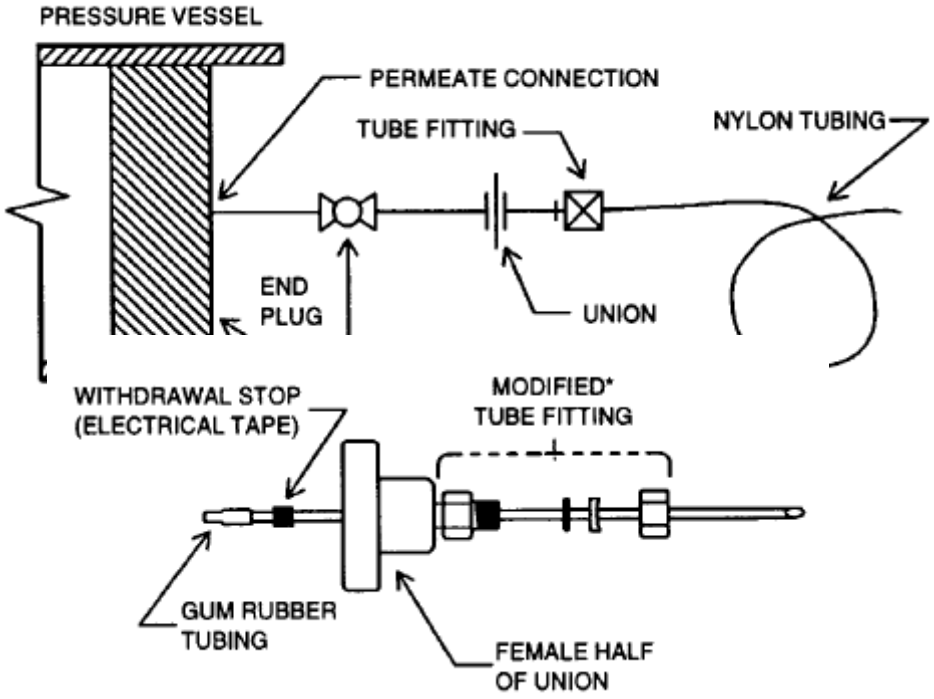
مشاكل الحلقات الدائرية عموماً تحدد بوساطة مرحلة التحوّل في بيانات و قراءات الناقلية في مواضع الوصلات و أدوات الربط ، بينما الزيادة المحددة خارج هذه المنطقة تشير إلى تسرب من العنصر و مثال على ذلك بسبب تخريب الضغط الخلفي .

الوضع الطبيعي (إشارة) بيانات الناقلية تعتمد أيضاً على موضع مدخل أنبوب السبر و اتجاه الجريان للنافذ الخارج من الوعاء المسبور ، الشكل (2) يبين الترتيبات بالسبر من نهاية المحلول المركّز للوعاء مع اتجاه جريان النافذ إلى جهة المركّز ، العينة الأولى من نهاية جانب التغذية للوعاء تمثل النافذ المنتج بالضبط في ذلك الموضع . عندما يسحب الأنبوب من الوعاء إلى الخارج بشكل تدريجي فإن العينة تمثل النافذ المجتمع الذي ينتج في أعلى موضع العينة . العينة الأخيرة تمثل النافذ في الوعاء الكلي .

إذا تم ربط أوعية الضغط إلى تفريعات النافذ و / أو أنبوب السبر المدخل من جانب التغذية للوعاء فإن الناقلية تتغير وفقاً لذلك . ضبط الوسيلة يكون أفضل عندما تكون العينة متأثرة أقل ما يمكن بالنافذ من الأغشية العلوية و هذا يجب أخذه بعين الحسبان عند تقييم النتائج .



شكل (2) تجربة و قياسات الناقلية للنافذ

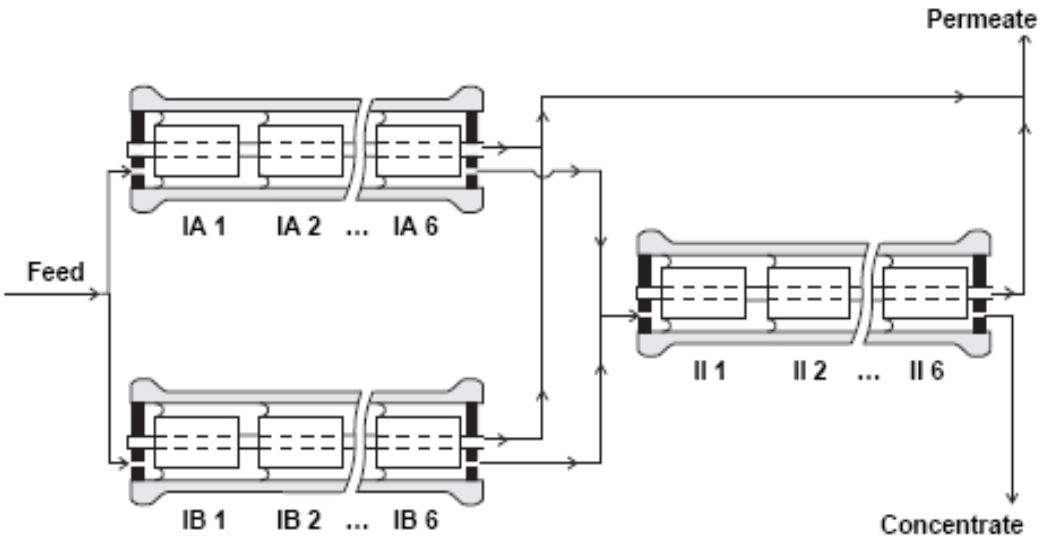


شكل (3) تجهيزات و معدات سبر النافذ للأغشية الملفوفة حلزونياً

1-4- تقييم أداء النظام :

قبل تقدير أداء النظام و جعله يبدأ بالعمل، يجب أن تكون نظم التشغيل مألوفة بالنسبة للمشغل و ذلك من خلال إدراك خصائص التشغيل لهذا النظام لضمان التشغيل السليم له .

و هذا سيوضح باستعمال مثال نموذجي معين ، الشكل التالي يوضح نظام ذي مرحلتين بثلاث عناصر أغشية لكل وعاء من الأوعية الثلاثة و المستخدمة وفق التشكيلة (2:1) .



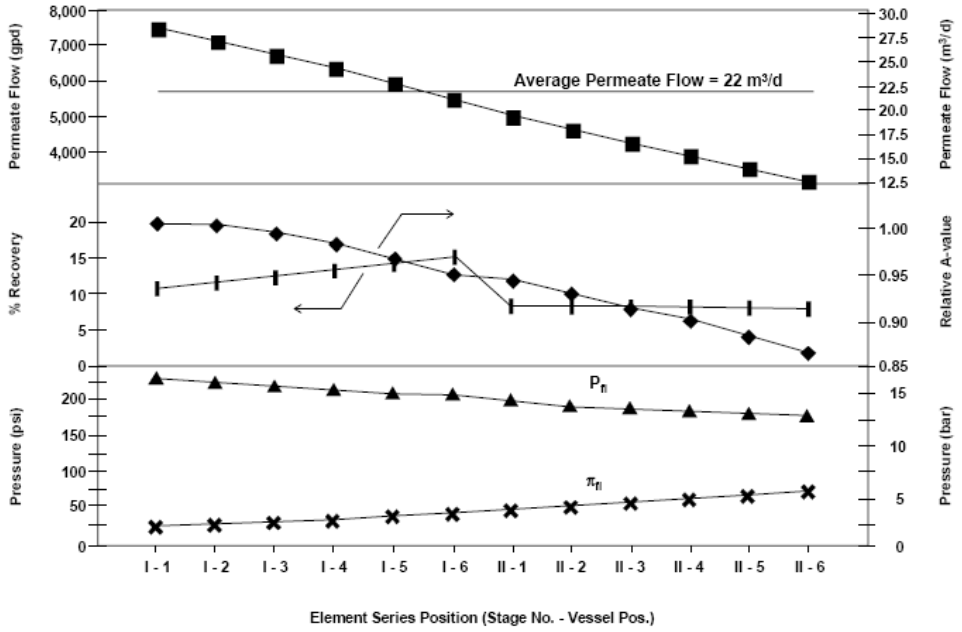
شكل (4) تشكيلة ذات مرحلتين نموذجيتين لعناصر RO/NF ذات الشكل الحلزوني

أنظمة التناضح العكسي ذات المرحلتين عموماً يمكن تشغيلها بشكل عام بمعدل استعادة من (% 55-75) لذا فإن الأنظمة ذات نسبة الاستعادة الفردية المتوسطة لكل عنصر ستتفاوت من (% 7-12) لتشغيل النظام ذو المرحلتين بشكل عام باستعادة أعلى من (% 75) ستجعل العنصر الواحد يعمل باستعادة تزيد عن الحدود القصوى المسموح بها و المذكورة في دليل التشغيل لكل غشاء حسب الشركة المصنعة، و عند حدوث هذا الأمر فإنه ينبغي استعمال مرحلة ثالثة وبوضع (18) عنصر في السلسلة و ذلك يؤدي إلى تغيير نسبة الاستعادة الوسطية للعنصر لقيمة أدنى من (% 7-12) .

و إذا تم تشغيل الأنظمة ذات المرحلتين باستعادة منخفضة جداً (و مثال على ذلك :55>) فإن معدلات تدفق ماء التغذية لأوعية المرحلة الأولى يمكن أن تكون ذات قيم عالية جداً و التي بدورها ستسبب هبوط ضغط جانبي للمحلول المركز و ماء التغذية بشكل مفرط و من المحتمل أن يتسبب ذلك بتلف الأغشية المستعملة . على سبيل المثال : بشكل خاص عناصر الأغشية ذات القطر (8 inches) و التي تملك معدل تدفق تغذية أعظمي من (50-70 gpm) أي (11-16 m3/d) و التي تتوقف على مصدر ماء التغذية و ذلك حسب تعليمات تصميم كل غشاء . و كنتيجة لذلك ، الأنظمة ذات الاستعادة الأقل من (50%) بشكل نموذجي تعمل بتشكيلة ذات مرحلة واحدة فقط و اعتبارات التدفق الأعظمي يمكن أن تحدد أيضاً نسبة المراحل و من غير المحتمل أن نجد أنظمة بنسب مراحل أكبر من النسبة (3:1) عند تشغيل عنصر غشاء تناضح عكسي وحيد و متطلبات التشغيل يمكن أن تقاس بسهولة و الأداء يمكن أن يتم تحديده بسهولة عندها . و عند استخدام نظام يحوي عدد كبير من الأغشية أو العناصر و يعمل بتشكيلة بمراحل متعددة (و بمعنى آخر مجموعة العناصر تعمل على التسلسل) و فقط عند معرفة المتغيرات في التشغيل المدخلة ، فإن التنبؤ بأداء النظام هنا يصبح أكثر تعقيداً .

إن ضغوط التشغيل و تركيز الأملاح لكل عنصر في السلسلة تتغير ولا يعتمد معدل أو مدى هذه التغيرات فقط على حالة المدخل و الاستعادة العامة بل أيضاً على تشكيلة المرحلة أو بمعنى آخر على (نسبة المراحل الموجودة) .

المخطط (1) يوضح الطبيعة الديناميكية للتنبؤ بأداء النظام المعتمد على مجموع أداءات العناصر الفردية ضمن النظام و يظهر خمسة اختلافات في بارامترات العناصر المختلفة و التي تتغير و تختلف في كافة أنحاء مواقع السلاسل الإحدى عشرة وذات النسبة (1: 2) و ذلك لأوعية الضغط ذات الست عناصر من الأغشية حيث أن النظام يمكن تشغيله باستعادة بمقدار % 75 و بدرجة حرارة (25) درجة مئوية بضغط اسموزي لماء التغذية قدره (20 psi ، 1.4 bar) والذي يتطابق تقريباً مع أملاح بمقدار(2000 mg/l) ، ضغط التغذية الداخل تم تعديله لينتج العنصر (BW) 7500 gpm (28.4 m3 /d) و التدفق النافذ المفضل الأعظمي لهذا العنصر بالذات يعتمد على نظام ماء جيد بتغذية(SDI < 3) يظهر الثلث الأعلى للمخطط التالي تناقص التدفق النافذ الفردي للعنصر بشكل موحد في كافة أنحاء تشكيلة السلسلة من (7500 gpm) (28.4 m3 /d) في عنصر المقدمة للمرحلة الأولى للقيمة (3300 gpm) أي (12.5 m 3/d) في العنصر الأخير للمرحلة الثانية ، و معدل التدفق الوسطي للعنصر هو(5800 gpm) أي(22 m3 /d) أو 77% من الحد الأعظمي المسموح به .



مخطط (1) أداء العنصر الفردي في النظام ذو التشكيلة 2:1 من عناصر الأغشية BW30 كمثال توضيحي

يتناقص التدفق النافذ لأن الضغط الدافع الصافي $\Delta P - \Delta \pi$ يهبط بشكل موحد حيث أن :

ΔP : فرق الضغط بين جانب ماء التغذية المالح وجانب الماء النافذ عبر الغشاء و يسمى (ضغط

التشغيل) .

$\Delta\pi$: فرق الضغط الإسموزي (التناضحي) بين الجانبين (النافذ عبر الغشاء و ماء التغذية المالح)

$\Delta P - \Delta\pi$: الضغط الفعال (اللازم لتحقيق التحلية المطلوبة)

و هذا واضح بالنظر إلى المنحنيين في الثلث السفلي للشكل السابق ، المنحني العلوي يظهر كيف أن ضغط التغذية الداخل لكل عنصر (Pfi) يتناقص بسبب الخسائر في الضغط من جانب المحلول المركز عبر كل عنصر .
المنحني السفلي يظهر كيف أن ضغط التغذية الإسموزي الداخل (π_{fi}) يزيد و ذلك لكل عنصر بينما

النافذ في الغالب يزال بشكل ندريجي من خلال كل عنصر موجود ضد المجرى و يترك وراءه المحلول المركز ليزداد تركيزه تدريجياً مع استمرار زيادة تدفق النافذ عبر كل عنصر . إن الاختلاف بين منحنيي الضغط هذين يكون مكافئاً تقريباً للقوة الدافعة النافذة الصافية (الضغط الصافي المطبق أو الضغط اللازم للتشغيل) .
القسم المتوسط للشكل السابق يعرض تأثيرين غير ملحوظين لكنهما هامين بنفس الوقت ، المقياس الأيسر يعرض كيف تتغير الاستعادة الخاصة للعنصر من خلال سلسلة متعاقبة ذات (12) عنصر غشاء ، حيث تحدث فترة الراحة بين المرحلتين الأولى و الثانية ، عموماً جانب الاستعادة الخاصة للعنصر ستزداد في كلتا المرحلتين لكن بشكل نموذجي ستزداد أكثر في المرحلة الأولى ، و المصمم للنظام ينبغي أن يتأكد بأن العنصر الأخير في المرحلة الأولى لا يتجاوز الحد الملائم للاستعادة المطلوبة . لذا عند تجاوز مقدار الاستعادة المخصصة لعنصر ما فإن الضغط الإسموزي المؤثر على الغشاء أو العنصر سيكون أعلى في هذه الحالة بسبب استقطاب التركيز و هذا سيؤدي إلى إنقاص التدفق النافذ عبر الغشاء و يمكن أن يسمح بتكوين الترسبات على الغشاء و زيادة القابلية لتلفه .
المنحني الآخر في الجزء الأوسط للمخطط السابق (المقياس الأيمن) يوضح ظاهرة مثيرة حيث يظهر معامل النفاذية للماء عبر الغشاء و هو يؤدي مهمة قابلة للعكس حسب تركيز الأملاح (إنقاص الملوحة العالية وزيادة الملوحة المنخفضة) تهبط نفاذية الماء تقريباً بحوالي (% 15) في هذا المثال من خلال سلسلة ذات (11) عنصر و هذا يجب أخذه بعين الاعتبار من أجل الحصول على تصميم دقيق لمعدل التدفق النافذ للنظام .
و بما أن أداء نظام الأغشية غير مرض ، فإن الخطوة الأولى هي لتقدير أداء و تشغيل النظام الكلي . وهذه تتم بالاعتماد على بيانات كل وحدة تناضح عكسي فعند تشغيل وحدة التناضح العكسي طبيعياً تتم مقارنة أداء هذه الوحدة مع أداء التشغيل الأولي لها و بهذه الطريقة من الممكن التعرف على أي اختلاف أو تدهور في أداء الوحدة عندما يكون هذا الاختلاف ذو معنى .

و في الحالة التي يكون فيها أداء النظام الأولي في مرحلة التشغيل الأولي له غير مقنع يمكن إجراء مقارنة أداء النظام الفعلي مع أداء نظام آخر مصور ببرنامج (ROSA) و ذلك تحت الشروط الواقعية الموجودة وهذا ربما يساعدنا كثيراً في التخلص من المشاكل ومعرفة كيفية الحل لها .

وبرنامج (ROSA) هو وسيلة تستخدم لتقدير الأداء المتوازن لنظام التناضح العكسي أو الترشيح النانومتري المصمم وفقاً للشروط الفعلية ، هذا الأداء المتوقع يعتمد على مواصفات الأداء الاسمية لكل عنصر من عناصر الأغشية المستعملة في هذا النظام ، عامل الفساد المساوي للقيمة (1) في هذا البرنامج يستخدم لحساب أداء العناصر الجديدة ذات معدل الجريان الاسمي المتعلق بها ، أما عامل الفساد الأصغر من الواحد فيجب أن يطبق من أجل عملية التصميم الطويل المدى .

في النظام الحقيقي العناصر ربما تختلف في أدائها للتدفق بمقدار (15 -/+) عن القيمة أو التدفق الاسمي المعطى لها أو غيره من الاختلافات الخاصة حسب نوع العنصر المستعمل ، أيضاً رفض الأملاح الخاص بكل عنصر ربما يصبح أعلى أو أخفض من رفض الأملاح الاسمي المعطى له (لكن ليس أدنى من رفض الأملاح الأصغري المعطى عادة) لذا فإن الأداء المستقر المدروس من غير المحتمل لأن يكون مساوياً بالضبط للأداء المتوقع للنظام . لكن الأنظمة التي تحوي أكثر من 36 عنصر جديد فإنها تقترب كثيراً من القيمة المتوقعة .

إن عامل الفساد الواقعي لثبات نظام التناضح العكسي الجديد الذي يحوي على الأقل 36 عنصر ينبغي أن يتراوح بين (1.05- 0.95) و الأملاح الكلية المنحلة الحقيقية المقاسة من التدفق النافذ ينبغي ألا تكون أكبر من (1.5) مرة من الأملاح الكلية المنحلة المحسوبة بالبرنامج .

من أجل الأنظمة التي تحوي عنصراً واحداً أو عناصر قليلة فإن الانحراف عن الأداء الفعلي المدروس عن الأداء المتوقع قد يصبح كبيراً كاختلاف أداء عنصر محدد .

إذا كان تدهور الأداء الفعلي كبيراً مع الأداء الأولي للوحدة أو كان الأداء الفعلي المقاس لا يجاري الأداء المتوقع بما فيه الكفاية فإنه ينبغي فحص و ضبط الأمور التالية :

هل كل العدادات ومقاييس الضغط و الحساسات معايرة بالشكل الصحيح ؟

حل المشاكل البسيطة :

1- استعمل معادلات توازن الكتلة البسيطة للتأكد بشكل دقيق من أدوات التوصيل و مقاييس التدفق . نظام RO ينبغي أن يتم تشغيله بمعدلات الاستعادة و التدفق المصمم على أساسها للتأكد من خلو عمليات التشغيل من أي مشاكل . تخريب عناصر الأغشية من الممكن أن يحدث نتيجة التشغيل عند معدلات تدفق مرتفعة ، و التلوث يمكن أن ينتج من معدلات التدفق التي تكون منخفضة جداً لمنع ترسيب الجزيئات و المواد المختلفة على سطح الأغشية ، الترسبات و الملوثات يمكن أن تحدث في أنظمة التناضح العكسي عندما يتم تشغيلها فوق معدلات الاستعادة المصممة .

المعادلتان 1 و 2 تعطيان طريقة بسيطة لفحص و تدقيق عدادات قياس الناقلية و التدفق وهاتان المعادلتان يمكن استخدامهما كمؤشر ولا يقصد منها تغير التعيير الدوري لأدوات القياس . إذا كان الانحراف من الوحدة مراقب من المعادلة 2 فإن ضبط واحد من العدادات من الممكن تسويته و ينبغي إجراء عملية التعيير له .

معادلة 1 تدفق التغذية = تدفق النافذ + تدفق المحلول المرفوض

معادلة 2

(تدفق التغذية × ناقلية التغذية) / [(تدفق النافذ) × (ناقلية النافذ) +(تدفق المرفوض) × (ناقلية المرفوض)]= 1 (+ / −) 0.05

لكي تكون المعادلة 2 صحيحة فإن قياسات الناقلية يجب أن تؤخذ بعد كل إضافة للمواد الكيميائية و الوصف الدقيق لماء التغذية .

السؤال : هل النظام مستقر وثابت ؟

الجواب : ينبغي أن يتم أخذ القراءات أثناء العملية المستمرة من أجل 24 إلى 72 ساعة، و الأنظمة التي تعمل لفترة طويلة يجب أن يتم التحقق منها بتطوير بيانات النظام الطبيعية وهذا يمكن عمله ببرنامج محدد مساعد .

السؤال : هل يجب أن يؤخذ الضغط النافذ بالحسبان ؟

الجواب : تجاهل ضغط النافذ يؤدي إلى ضغط تغذية أعلى من الخطط له .

السؤال : هل هناك أي ضياعات هامة للضغط من التغذية إلى المرفوض ؟

الجواب : برنامج ROSA يتوقع فقدان ضغط في الأنابيب و التوصيلات حوالي (5 psi) أي 0.3 bar لكل مرحلة بالإضافة إلى خسارات و ضياعات الضغوط في عناصر أغشية FilmTec . و القيود في التغذية و المرفوض ربما تؤدي إلى ضياعات أكبر في الضغوط عن تلك المخططة . افحص مسافة حساسات قياس الضغط من جانب التغذية وجانب المرفوض لأوعية الضغط . اتجاهات حساسات قياس الضغط ينبغي أن تكون قريبة ما أمكن من أوعية الضغط وعلى مسافة فعالة من الصمامات أو الأجزاء الأخرى التي يمكن أن تضطرب بشكل عالي .

2- دقق و افحص مخطط الآلات المستخدمة و العمليات التابعة للنظام

السؤال : هل هناك إجراءات احتياطية من الممكن عملها لتجنب ظروف التشغيل غير الملائمة ؟

الجواب : راقب مفاتيح الإغلاق .

السؤال : هل الصمامات المركبة مستقرة ؟

الجواب : افحص وراقب الصمامات .

السؤال : هل إجراءات التنظيف الفعالة و سلامة المواد الكيميائية المستخدمة تضر بالأغشية ؟

الجواب : لا تضر بالأغشية في حال تم الاستخدام الصحيح لها كما هو موصى به ووفق تتالي منظم لعمليات التنظيف .

السؤال : ماهي الإجراءات التي يمكن عملها لتجنب السحب في أوعية الضغط أثناء إغلاق النظام ؟

الجواب : يجب التأكد من الإغلاق الصحيح للنظام .

السؤال : كم من الممكن تكرار عملية التنظيف للنظام ؟

الجواب : تكرار عمليات التنظيف بكثرة (أكثر من مرة لكل 4 – 6 أسابيع) ربما يشير إلى أداء فقير لمرحلة ما قبل المعالجة أي مرحلة المعالجة الأولية أو عمليات تشغيل لنظام RO في خارج المجالات المحددة للتصميم . و التنظيف بالمواد الكيميائية يعتبر جيداً من سنة لثلاثة بينما من4 إلى ست تنظيفات

في السنة يمكن اعتبارها مقبولة أما بالنسبة لعمليات التنظيف الأعلى و المتكررة بكثرة وغير المبررة طبيعياً فإنه من الأفضل اقتصادياً تحسين نظام المعالجة الابتدائية بدلاً من تكرار عمليات التنظيف .

السؤال : هل ينبغي تحليل الماء ؟

الجواب : الناقلية وحدها ليست كافية لحساب رفض ال (TDS) فبشكل خاص إن غاز ثاني أوكسيد الكربون CO2 في ماء التغذية سيصل إلى النافذ و يؤدي لتشكيل حمض الكربون و بالتالي يؤدي هذا إلى زيادة ناقلية النافذ .

3- افحص ودقق تطبيقات الكلور و المواد الكيميائية المؤكسدة الأخرى و هذا يمكن أن يدل على وجود مشكلة كامنة .

4- اضبط معدل الاستبدال للفلاتر الأولية : فمعدل الاستبدال العالي يمكن أن يشير إلى مشكلة التلوث أما معدل الاستبدال المنخفض جداً و مثال على ذلك(المرشحات الخرطوشية) من الممكن أيضاً أن يتسبب بخطر (انهيار مفاجئ ...) .

5- دقق سجلات دليل كثافة الطمي (SDI) : قيمة SDI للتغذية ينبغي أن تكون بانتظام (5 >) أو (3 >) اعتماداً على تصميم النظام .

6- دقق حسابات القياس و تأكد من معدلات جرعات المواد الكيميائية المعطاة مثل موانع تشكل القشور .

1-5- إغلاق النظام :

1-5-1- معلومات هامة :

إن نظام (RO / NF) مصمم للعمل بشكل مستمر ، في الواقع أنظمة الأغشية ستبدأ العمل و تغلق بشكل متكرر، عند إغلاق نظام الأغشية النظام يجب أن يتم تدفيقه (Flushing) و الأفضل باستعمال الماء النافذ أو بشكل بديل ماء تغذية لكن ذو نوعية عالية و ذلك بهدف إزالة تركيز الأملاح العالي من أوعية الضغط حتى تصل ناقلية المحلول المركز إلى ناقلية ماء التغذية، الدفق أو الدفع من النظام (Flushing) يتم عمله في ضغط منخفض (حوالي40 psi / 3 bar) ، معدل التدفق العالي لماء التغذية أحياناً يكون نافعاً أكثر في تأثير عمليات التنظيف ، على أية حال فإن هبوط الضغط الأعظمي لكل عنصر غشاء و لكل أوعية ضغط متعددة الأغشية لا يجب أن تتجاوز المعلومات التصميمية الموصى بها من قبل المصنع لكل عنصر من عناصر الأغشية (مثلاً معلومات تصميم أغشية FilmTec) .

خلال دفع التدفق المنخفض ، عادة تكون أوعية الضغط للمرحلة الأخيرة من نظام المراحل مكشوفة لمعدلات تدفق مياه التغذية الأعظمية و بناء عليه فإنها تظهر هبوطاً أعظمياً في الضغط .

إن الماء المستعمل من أجل دفع المياه من النظام يجب ألا يحوي على أية مواد كيماوية من تلك التي استعملت في مرحلة المعالجة الابتدائية للنظام ، و بشكل خاص المواد المانعة أو المثبطة لتكوين القشور ، و بناء على ذلك فإن حقن أي مواد كيماوية (في حال استخدامها) يتم إيقافه قبل عملية الدفع من النظام .

بعد دفع المياه من النظام يتم إغلاق صمامات التغذية بشكل كامل ، و إذا انتهى خط المحلول المركز إلى بالوعة أو مجمع تحت مستوى أوعية الضغط عندها يجب وضع صمام راحة هوائي على خط المحلول المركز في موضع أعلى من أوعية الضغط العلوية . و إلا فإن الأوعية لربما تفرغ بوساطة تأثير السيفون .

عندما تكون مضخة الضغط العالي مطفأة و جانب (التغذية / المركز) لا يتم دفقه للخارج بماء نافذ فإن ذلك ربما يؤدي إلى حدوث تدفق عكسي نافذ بشكل مؤقت من خلال التناضح الطبيعي .

إذا كان خط النافذ (مجرى النافذ) ذو ضغط داخلي أثناء عملية التشغيل و تم إغلاق النظام فإن الأغشية ربما تتعرض لضغط خلفي نافذ ستاتيكي ، لتجنب تلف الأغشية من الضغط الخلفي المتولد ينبغي– كما ذكرنا – ألا يتجاوز الضغط الخلفي الستاتيكي للنافذ القيمة **5 psi** أي (0.3 بار) في أي وقت كان .

فحص الصمامات أو صمامات الصرف المتعرضة للضغط الجوي في خط النافذ يمكن أن يتم عمله و ذلك بهدف حماية الأغشية من التلف و التخريب ، كما يجب أيضاً حماية الصمامات خصوصاً في حالة الإغلاقات غير المحددة للنظام أو المفاجئة له و مثال على هذه الحالات المفاجئة : الفشل الكهربائي أو الإغلاق في حالات الطوارئ .

عندما يجب إغلاق النظام لمدة أكبر من 48 ساعة اهتم بمايلي :

١ -العناصر لا يجب أن تجف من الخارج لأن العناصر الجافة ستفقد الجريان لدرجة تعذر إلغاؤه .

٢ -يجب أن تتم حماية النظام بشكل ملائم ضد النمو الحيوي و الميكروبيولوجي أو يجب تطبيق تدفق من خلال النظام بشكل منتظم و تنفيذه كل 24 ساعة .

٣ -عند التطبيق الملائم للأمور السابقة فإن النظام يصان من درجات الحرارة الشديدة .

ملاحظة : وحدة الأغشية من الممكن أن تتوقف ل 24 ساعة بدون حفظ أو أخذ الاحتياطات اللازمة لمنع التلوث الجرثومي . إذا لم يتوفر ماء التغذية من أجل عملية الدفع من خلال النظام كل24 ساعة فإن الحماية عن طريق المواد الكيميائية ضروري للتوقفات الأطول من48 ساعة .

1-5-2- سبل حفظ الأغشية :

إن عناصر الأغشية يجب أن تتم المحافظة عليها من أجل أي وقت عند إغلاق النظام لفترة أكثر من القيمة الأعظمية 48 ساعة و ذلك لمنع النمو البيولوجي و بالاعتماد على عمليات التشغيل التي تم تأريخها بشكل سابق للوحدة فإنه يكون من الضروري في أغلب الحالات تنظيف الأغشية و ذلك قبل عملية الإغلاق وهذا يتم تطبيقه في الحالات التي تكون فيها الأغشية معروفة أو من المفترض أن تتعرض للتلوث و الفساد .

بعد التنظيف فإن حفظ النظام يجب أن يتبع خلال ال 10 ساعات التالية كما هو مذكور :

1- تغمر العناصر الموجودة في أوعية الضغط كلياً في محلول الحفظ بتركيز من1 إلى 1.5 % و يتم تنفيس الهواء خارج أوعية الضغط ، استعمل تقنية الفيض : أي وزع المحلول بطريقة معينة بحيث أن الهواء المتبقي في النظام يتم تقليله بعد إكمال عملية إعادة التدوير ، و بعد امتلاء أوعية الضغط يجب أن يسمح للمحلول بأن يفيض من خلال الفتح المحدود بشكل أكبر من النهاية العلوية لوعاء الضغط الأعلى ليتم ملؤها .

2- افصل محلول الحفظ من مخرج الهواء و ذلك بإغلاق جميع الصمامات لأن أي تماس مع الأوكسجين سيؤكسد محلول الحفظ المستعمل .

3- دقق قيمة الأس الهيدروجيني مرة كل أسبوع ، عندما تصبح قيمة الأس الهيدروجيني 3 أو أقل غير محلول الحفظ المستعمل .

4- غير محلول الحفظ على الأقل مرة كل الشهر .

5- أثناء فترة الإغلاق يجب أن يتم حفظ و حماية الوحدة من الصقيع و درجة الحرارة يجب ألا تزيد عن 45 درجة مئوية أي 113 درجة فهرنهايت و يفضل أن تبقى درجة الحرارة منخفضة .

1-6- تحليل المشاكل المختلفة :

المشاكل التي يمكن أن تظهر في عمليات التناضح العكسي التي يمكن أن تلاحظ أو تنتج عند معالجة المياه الناتجة عن صناعات الاسترجاع المعدني أو غيرها موضحة في الأسفل ، و نوع الخطأ من المحتمل أن يكون (عالي ، متوسط ، خفيف) و حسب معرفتنا لا توجد بيانات كافية أو منشورة التي يمكن أن تدعم القياس أو الاحتمال الذي يمكن وضعه أو مدى تكرار هذه المشاكل و مدى تواترها ، وفيما يلي نعرض بعض المشاكل المحتمل حدوثها :

1- الاحتمالات العالية :

- صمامات الراحة : (سائل) :

صمامات الراحة للسائل المستخدمة في نظام التناضح العكسي (و العمليات الأخرى) وظيفتها حماية شبكة الأنابيب من الضغط العالي . الضغط العالي أو الزيادة في الضغط تحدث بصورة مستمرة خلال الإقلاع ، القفل ، و العكس . كما أن هذا الضغط العالي يمكن أن ينتج من سوء عمل صمامات التحكم و الاختيار غير الملائم لها ، أو عدم وضعها بالشكل السوي أو عدم وضعها في أماكنها الأصلية و سوء التنفيذ أو التصميم لها ، كما يمكن أن تكون نتيجة انسداد هذه الصمامات ، أو انسداد الأنابيب ، أو نموذج الأغشية المختار بشكل غير ملائم . في النماذج ذات الصفيحة و الإطار و النماذج الأنبوبية ليست عرضة للانسداد مقارنة بالنماذج ذات الألياف المجوفة و الألواح الحلزونية الملفوفة .

- موانع التسرب :

حالات فشل موانع التسرب أو حلقات الكتامة قد تحدث في مضخة تغذية الأغشية ، مضخة التغذية بالمواد الكيميائية ، أو في ضاغط الهواء الذي يزود التجهيزات وصمامات التحكم بالهواء . الأسباب المحتملة لفشل موانع التسرب يتضمن الحرارة أو التسخين الزائد و الإجهاد الميكانيكي . الفحص عن طريق النظر يمكن أن يثبت أو يؤكد التسرب أو اختراق وتسرب مياه الصرف في المضخات أو الضاغط .

- وصلات الأنابيب و الصمامات :

حالات الفشل هذه هي الأكثر شيوعاً في الوحدات الأقدم عنها في الوحدات الجديدة .

الأسباب المحتملة : تتضمن الإجهاد الميكانيكي ، إجراءات الصيانة الغير ملائمة ، و التجمد أثناء الطقس البارد .

الحلول الممكنة : المراقبة المنتظمة يمكن أن تؤكد تسرب وارتشاح مياه الصرف أو المواد الكيميائية من عنق الصمامات و الوصلات .

- تنوع الانسكاب خلال عمليات التشغيل اليومية :

انسكاب المواد الكيميائية أو مياه الصرف المتكررة تحدث عند إعادة ملء الخزانات أو عند إغلاق النظام للقيام بعمليات الصيانة ، في أنظمة التناضح العكسي من الممكن أن يتضمن انسكاب المواد الكيميائية الأحماض ، الأسس ، الفوسفات ، والكلورايد .

- صمامات الراحة (الغازية) :

خزانات التخزين و الإمداد تجهز بصمامات راحة تعمل بضغط الغاز أو البخار و ذلك بهدف الحفاظ على ضغط ثابت ، هذه الصمامات تصدر أبخرة ملوثة للغلاف الجوي و ذلك عندما تزداد مستويات الخزانات و ضغوطها و تكون هذه الانبعاثات صغيرة لكنها يمكن أن تحدث بشكل متكرر .

2- الاحتمالات المعتدلة أو المتوسطة :

- فيضانات الخزانات :

يمكن أن تنتج الفيضانات من الخزانات عن الانبعاثات ذات الأهمية لمياه الصرف أو المواد الكيميائية للمحيط البيئي . و هذا يحدث غالباً أثناء عمليات الإقلاع للنظام ، الإغلاق ، و عكس الوحدة من أجل التنظيف للأغشية .

- حالات فشل أو تلف الأغشية :

يمكن أن تظهر ثقوب في مواد الأغشية والتي تسمح لمياه الصرف بالنفاذ أو الوصول إلى طبقة الماء المنقى أو النظيف النافذ و تلويثه ، كما أن المواد الملحقة أو التي تربط مواد الأغشية بالوعاء الحامل لها من الممكن أن تتعرض للتلف و ينتج عنها أيضاً تلويث الماء النافذ النظيف أو المنقى ، عند فشل فلاتر التصفية للتيار المار فإن الأجسام الصلبة المحمولة أو الواصلة للنظام كنتيجة لسوء عمليات التصفية الأولية قبل الأغشية يمكنها الوصول إلى الأغشية و تخريبها . كما يمكن أن يصيب الغشاء الاعتلال أو العجز عن أداء مهمته وذلك نتيجة الاختيار الخاطئ له من المنفذ أو المصمم ، أو نتيجة سوء التصنيع له ، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تتعرض بعض أنواع الأغشية لهجوم المواد الكيميائية المؤاكلة مثل الكلور، هناك أغشية مصنعة من مواد أكثر متانة من المواد الأخرى ، و كتوضيح لعمليات فشل وتلف الأغشية هو التخفيض المفاجئ في هبوط الضغط عبر الأغشية .

3- الاحتمالات الضعيفة :

- تمزق أو تلف الخزانات و الأحواض :

يمكن أن يتعرض الخزان للتلف وذلك بسبب الفشل الميكانيكي أو نتيجة التخريب بالصقيع أو التجمد ومع ذلك فإن هذا النوع من التلف أو الضرر يكون نادراً ، حيث يمكن أن ينتج الضرر أيضاً نتيجة انبعاث أو إطلاق كميات كبير أو ضخمة من مياه الصرف والمواد الكيميائية للبيئة .

- تمزق أو تلف الأنابيب :

الأنابيب غالباً تكون قوية ومن غير المحتمل أن تتمزق أو تتعرض للتلف ، الأسباب المحتملة لهذا التلف تتضمن الإجهادات الميكانيكية ، التجمد ، و إجراءات الصيانة الغير لائقة . و التسربات الكبيرة ممكنة الحدوث في هذا النوع من المشاكل .

خلاصة هذه الأنواع من الأضرار التي من الممكن أن تحدث و الأسئلة المساعدة لتطوير البيانات الحديثة موجودة في الجدول التالي :

جدول (1) بعض المشاكل المتوقعة لأنظمة RO

الاحتمالات العالية (HIGH PROBABILITY)		
الأسئلة	**الأسباب**	**الفشل**

- ما هي الكمية المحتملة للتسرب من خلال صمامات الراحة السائلة (غالون) ؟ - ما هو ميل هذه التسربات (و بمعنى آخر هل تميل إلى كوزنها نظام أسير الموقع ، يمكن رميها في المجاري ، أو هل تذهب هذه التسربات مباشرة إلى الوسط البيئي المحيط ؟	- الضغط العالي أثناء الإقلاع ، القلب ، و الإقفال أو الإغلاق . -عيب أو خلل ما في صمامات التحكم الرئيسية نتيجة التركيب الخاطئ . -انسداد الصمامات ، الأنابيب ، و نماذج الأغشية بسبب وجود الأجسام الصلبة ، نماذج الأغشية الحلزونية و الألياف المجوفة هي الأكثر عرضة للضرر و التلف .	صمامات الراحة (سائل)
- ما هي الكمية المحتملة للتسرب من خلال هذه الموانع (غالون) ؟ - ماهو ميل هذه التسربات ؟	- زيادة التسخين - إجهاد ميكانيكي - رداء قاسي	موانع التسرب
- ما هي الكمية المحتملة للتسرب من خلال وصلات الأنابيب و الصمامات (غالون) ؟ - ماهو ميل هذه التسربات ؟	- إجهاد ميكانيكي - عمليات الصيانة غير اللائقة - التجمد	وصلات الصمامات و الأنابيب
- ما هي الكمية المتوقعة للانسكاب من موانع التسرب (غالون) ؟ (بالاعتماد على عمليات اختبار الوحدة و بيانات التشغيل) - ما ميل هذه التسربات ؟	- الانسكاب أثناء إعادة ملء الخزانات بسبب عيب في الغازات و التجهيزات و أخطاء في التشغيل و انسكاب من الممكن أن يتضمن انسكاب مواد كيميائية مثل أحماض ، أسس ، فوسفات - عمليات الصيانة الغير لائقة	تنوع الانسكاب خلال عمليات التشغيل اليومية
- ما هي الكمية المتوقعة للانسكاب من هذه الصمامات (قدم مكعب / ساعة) - ما ميل أو مواصفات هذه التسربات ؟	- زيادة منسوب الخزانات - تغيرات درجة حرارة الجو المحيط	صمامات الراحة (الغازية)

الاحتمالات المتوسطة (MODERATE PROBABILITY)		
-ما هي الكمية المتوقعة للفيضان من هذه الخزانات (غالون) ؟ (الاعتماد على التجارب المطبقة على الوحدة وبيانات التشغيل) - ما هو ميل هذه الفيضانات ؟	-تحدث في الغالب نتيجة الظروف الغير مستقرة (أثناء الإقلاع و الإغلاق) و يمكن أن تتضمن مواد كيميائية ما قبل المعالجة (كالأحماض – القلويات – الفوسفات)	فيضان الخزانات
- ما هي الكمية المتوقعة للتسربات من خلال نماذج الأغشية المستعملة (غالون) ؟ - ما ميل أو مواصفات هذه التسربات ؟	- خلل أو عيب ما في الغشاء - خلل أو عيب ما في مواد جمع أو ربط الأغشية - مرور مواد كيميائية مؤاكلة - مرور أجسام صلبة	تلف و فشل نماذج الأغشية

الاحتمالات الضعيفة (LOW PROBABILITY)		
- ما هي الكمية المتوقعة للانبعاثات نتيجة تلف الخزانات (غالون) ؟ (تأكد من تضمين تركيز النفايات في حال تم تخزينها) - ما ميل هذه الانبعاثات ؟	- الأعطال الميكانيكية - التجمد	تمزق وتلف الخزانات
- ما هي الكمية المتوقع خسارتها و فقدانها بسبب تلف الأنابيب(غالون) ؟ - ما ميل هذه الضياعات ؟	- الأعطال الميكانيكية - التجمد	تمزق أو تلف الأنابيب

معلومات هامة :

هناك حقيقة بسيطة لكن بنفس الوقت هامة جداً للحفاظ على الأغشية و الإبقاء على أدائها بشكل فعال و هذه الحقيقة هي (المحافظة على سطح الأغشية نظيفاً) حيث أن كل الشوائب الموجودة بالمياه يتم إزالتها من الطبقة الفعالة السطحية للغشاء ، و ديناميكية هذه الخطوة ينبغي أن تضمن عدم توضع المواد على سطح الغشاء لمنع الانسداد و تقليل فعالية الإزالة و إذا سمح لتراكيز كبيرة من هذه المواد بالتكدس قرب الأغشية فسوف يؤدي ذلك إلى معدلات تدفق منخفضة جداً للمياه عبر الغشاء و بالتالي هبوط في أدائه .

1-6-1- مشاكل أغشية التناضح العكسي :

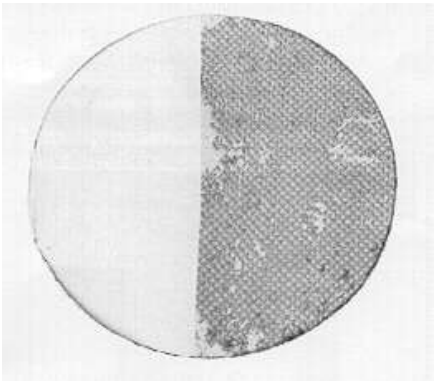
1-6-1-1- مشاكل التلوث و سبل التنظيف :

على الرغم من سهولة تحلية المياه بأغشية التناضح العكسي وانخفاض تكاليف إنتاجها وعدم احتياجها إلى كفاءات مدربة تدريباً خاصاً إلا أنها تعاني من بعض المشكلات التي وقفت طويلاً دون انتشارها كطريقة فعالة لتحلية المياه في الفترة السابقة ومن أهم تلك المشاكل هي الترسبات على الأغشية وهي تمثل مشكلة تشغيلية وذلك لأن الأملاح المترسبة على الأغشية تسد مسامها وتقلل من معدل سريان المياه خلالها ومن أهم المواد المترسبة كربونات الكالسيوم, $CaCO3$ كبريتات الكالسيوم , $CaSO4$ والمعادن كالحديد والألمنيوم و المواد الغروية والسيليكا, والبكتريا ، وغيرها.

فمع مرور الوقت تتعرض أغشية التناضح العكسي إلى الفساد نتيجة تراكم مجموعة من الملوثات الغروية و المعدنية إضافة إلى مكونات عضوية .

هذه المكونات تبدأ بالبناء داخل الأغشية و على سطوحها و تسد منافذ و أقنية المياه المرتجعة ذات الملوحة العالية . هذا الوضع إذا لم يتم تصحيحه و إزالة مسبباته فأن الأمور ستتفاقم و تؤدي بطبيعة الحال إلى خلل في أداء المحطة بشكل كبير وبالتالي إلى تفسخ الأغشية داخلياً .

الشكل التالي يعرض مقارنة بسيطة بين الأغشية النظيفة و تلك الملوثة .



شكل (5) مقارنة بين الغشاء النظيف و الملوث حيث الجزء الأيمن يمثل الغشاء الملوث و الجزء الأيسر يمثل الغشاء النظيف

سنغطي مجموعة من النقاط المتعلقة بغسيل الأغشية و سنورد العديد من التفاصيل التي تهم مشغلي المحطات و العاملين على صيانتها.

بداية سوف نلفت الانتباه إلى أهمية المعلومات و القراءات المجمعة عن أداء المحطة للفترات السابقة و هي ستعطي عوارض المشكلة و تحدد طريقة معالجتها .

أولاً : *متى يجب أن تنظف الأغشية :*

أثناء عمليات التشغيل العادية الأغشية في أنظمة التناضح العكسي يمكن أن تتلف أو تتضرر من المواد الصلبة المعلقة ، الكائنات الدقيقة الحية المجهرية ، و كذلك الترسبات و القشور هذه الأمور أثناء التشغيل من الممكن أن تحصل و تسبب خسارة في كمية الماء المنتج من الأنظمة و كذلك تقلل من كفاءة الرفض للأملاح أو كلاهما معاً لذا ينبغي تنظيف عناصر الأغشية عندما تهبط نسبة الماء المنتج إلى (15%)

من نسبة التدفق الأولية (معدل التدفق المعروف أثناء عمليات التشغيل الأولى من 24 إلى 48 ساعة) أو عندما يزداد تركيز الأملاح في الماء الناتج بشكل ملحوظ و يجب الأخذ بعين الاعتبار إلى أن نسبة الماء المنتج ستهبط عند انخفاض درجة الحرارة و هذا أمر طبيعي و لايشير إلى تلف أو فساد الغشاء.

ويجب أن نأخذ بعين الاعتبار مايلي :

1) نسبة (الاتساخ) تعتمد على نسبة الأملاح .

2) بعض الأملاح الذائبة تؤثر على نسبة الاستخلاص وتجعلنا ننظر للتشغيل بنسبة استخلاص قليلة وعندها يتم تغير الظروف التشغيلية بزيادة الإنتاجية نسبة إلى الرجيع .

3) تتركز الأملاح في مياه الرجيع بنسبة أكبر من تركيز التشبع الخاص بها وهذا يؤدي إلى ترسبها على سطح الغشاء .

و أغشية التناضح العكسي يتم تعقيمها و ذلك للحفاظ على معدل النمو البيولوجي الحيوي إلى مستوى منخفض بشكل مقبول و هناك سببان رئيسيان للتنظيف و التعقيم و هما :

1- عمليات التشغيل السلسة (Smooth Operation) :

إن الكائنات الحية الدقيقة قد تنمو على سطح الأغشية وقنوات التغذية (مجرى أو حيز التغذية) مكونة طبقات فيلمية رقيقة وهذا التلوث البيولوجي يهدد بشكل مباشر نظام التناضح العكسي و عمليات التشغيل الصحيح له ، و التعقيم النظامي هو جزء هام للسيطرة على هذا النمو البيولوجي للكائنات المجهرية و الحفاظ على مستوى منخفض من هذا النمو و التكاثر و هذا يساعد بما فيه الكفاية على تفادي المشاكل التي يمكن أن يتسبب بها هذا النمو البيولوجي . في أنظمة RO التي تعمل بماء تغذية نشط حيوياً ، فإن الطبقات الفيلمية (Biofilm) يمكن أن تظهر خلال(5 – 3) أيام بعد دخول الكائنات الحية الفعالة للنظام و لذلك فإن عمليات التنظيف و التعقيم الأكثر شيوعاً تكون بتردد كل (3 – 5) أيام أثناء النشاط الحيوي البالغ الذروة (في الصيف) و حوالي كل 7 أيام أثناء النشاط الحيوي المنخفض (شتاء) ، و التكرار المثالي للتعقيم سيكون محدداً بدقة و أكثر فاعلية بالاعتماد على خصائص النظام و عمليات التشغيل له .

2- نوعية الماء النافذ (Permeate Water Quality) :

بعض التطبيقات على سبيل المثال كما في الصناعات الغذائية و الدوائية فإن نوعية الماء المنتج من نظام التناضح العكسي يجب أن تكون ذات نوعية عالية فيما يتعلق ببارامترات الميكروبات و على الرغم من أن أنظمة (RO) ترفض نظرياً 100% من الكائنات الحية المجهرية إلا أنه أي تسرب صغير في النظام قد يسمح بإنتاج ماء نافذ ملوث بهذه الكائنات الحية ، إن خطر التلوث أعلى بكثير من تشكل الطبقة البيويوجية الفيلمية الموجودة على جانب التغذية لذا فإن الغشاء يجب أن يبقى ذو مواصفات صحية ، و بشكل نظامي فإن هذه التطبيقات تتطلب تعقيماً جيداً و ذلك للتأكد من كمية البيولوجيات في الماء النافذ و قياسها حتى في حالة عدم وجود مشاكل في تشغيل النظام .

ثانياً : تجميع المعلومات :

إن المتابعة الدقيقة لأداء المحطة سوف يساعد فعليا في إعطاء إشارات الإنذار إلى إمكانية حدوث خلل في الأغشية و قبل أن تتحول إلى ضرر جسيم و سنعرض فيما يلي أهم المشاكل التي يمكن أن تتعرض لها الأغشية وهي كما يلي :

1) ترسب الأملاح غير العضوية : مثل

* كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) .

* كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) .

* كبريتات الباريوم ($BaSO_4$) .

* فلوريد الكالسيوم (CaF_2) .

2) ترسب أكاسيد المعادن : مثل

* أكسيد الحديد (Fe_2O_3) .

* هيدروكسيد الألمونيوم ($Al(OH)_3$) .

3) ترسب مواد عضوية ناتجة من تجمع الفطريات والبكتريا بالإضافة لمخلفاتها العضوية .

4) التلوث بالزيوت و الشحوم .

5) تجع المواد المعلقة على الأغشية .

6) تأكسد سطح الغشاء نتيجة عامل مؤكسد قوي .

7) تلف بعض ال **O ring** الموجودة على الوصلة بين وحدتين من الأغشية .

أما تأثير عمليات التشغيل على المشاكل السابقة وعوارض الفشل في الأغشية فيمكن اختصارها بما يلي :

1) نسبة تدفق المياه تنخفض من 10 إلى 15 بالمائة عن القراءة الأولى و الأساسية للتشغيل .

2) ارتفاع نسبة ضغوط المحطة بين 10 إلى 15 بالمائة .

3) ارتفاع نسبة الأملاح في المياه المعالجة و انخفاضها في المياه المرتجعة .

4) زيادة 10–25% ملوحة الناتج مع نفس النسبة زيادة في فرق الضغط حول الأغشية مع نقصان في الإنتاج بنسبة 10% .

5) زيادة سريعة في الملوحة وفرق الضغط مع نقصان بنسبة20–40% في الإنتاج .

6) زيادة سريعة في فرق الضغط لا تأثير على الملوحة مع نقصان بنسبة 50% في الإنتاج .

7) زيادة بسيطة في فرق الضغط مع نقصان الإنتاج بنسبة 50% .

8) زيادة سريعة في فرق الضغط والملوحة مع زيادة كبيرة تصل إلى50% في الإنتاج .

9) زيادة كبيرة في الملوحة انخفاض في فرق الضغط مع زيادة بسيطة في الإنتاج .

10) زيادة كبيرة في الملوحة انخفاض في فرق الضغط مع زيادة كبيرة في الإنتاج .

يلزم التوضيح هنا إلى أنه في حال انخفاض درجات حرارة المياه فإن الضغوط عادة ترتفع و لا يعني بالضرورة وجود خلل في أداء الأغشية كما ذكرنا سابقاً .

ثالثاً : طرق إزالة ومنع الترسبات:

وهي تتم بشكل عام على خطوتين :

الخطوة الأولى : **تعتمد على منع الترسبات قبل الوصول إلى الأغشية : ومنع الترسبات هنا يعتمد على مراحل المعالجة الأولية وهي كما يلي:**

أ- ينتج عن عملية التبريد والتهوية زيادة في نسبة الأكسجين الذئب في الماءمما يؤدي إلى أكسد الحديد وتحويله إلى أكسيد الحديديك Fe_2O_3 الذي يترسب على جدران المبردات وكذلك يتم في هذه المرحلة أكسدة كل من المنجنيز وكبريتيد الهيدروجين H_2S والتخلص منه نهائياً.

ب- بعد خروج المياه من أبراج التبريد يتم إضافة مادةألومينات الصوديوم بهدف إزالة السيليكا.

جـ- يتم تجميع المواد الغروية في المرسبات والمرشحات الرملية والتخلص منها.

د- قبل دخول المياه إلى مضخات التناضح العكسي يتم إضافة حمض الكبريتيك الثانوي لخفض الرقم الهيدروجيني من 6.5 إلى 5.5 بهدف منع ترسبات كربونات الكالسيوم.

هـ- قبل دخول المياه إلى مضخات التناضح العكسي تضاف ماده هكساميتا فوسفات بهدف منع ترسب كبريتات الكالسيوم.

الخطوة الثانية : **تتم بإزالة الترسبات من الأغشية بعد ترسبها ، تتم هذه العملية مره كل ستة أشهر وتعرف بالغسيل وهي تتم باستعمال مضخة خاصة تغذى بالمحاليل المستخدمة في الغسيل ، والمحاليل المستعملة هي:**

أ- الغسيل بمحلول حمض الستريك : (2%)(PH=4) ويستخدم عند حدوث الترسبات للأكاسيد المعدنية (Al,Fe) وكذلك يستخدم عند حدوث ترسبات لكربونات الكالسيوم.

ب- الغسيل بمحلول حمض الستريك: (2%)(PH=8) ويستخدم عند حدوث ترسبات لكبريتات الكالسيوم.

جـ- الغسيل بمحلول الصوديوم ميتا سلفيت %(0.25-0.5) :ويستعمل عن حدوث نمو وتكاثر بكتيري.

د- الغسيل بمحلول الهيدروكلوريك (0.5%): يستخدم عند حدوث ترسبات لكربونات الكالسيوم.

هـ -الغسيل بالمنظفات (0.5% : (DETERGENT) (BIZ) (يستخدم لغسيل الأغشية عند حدوث رواسب غروية).

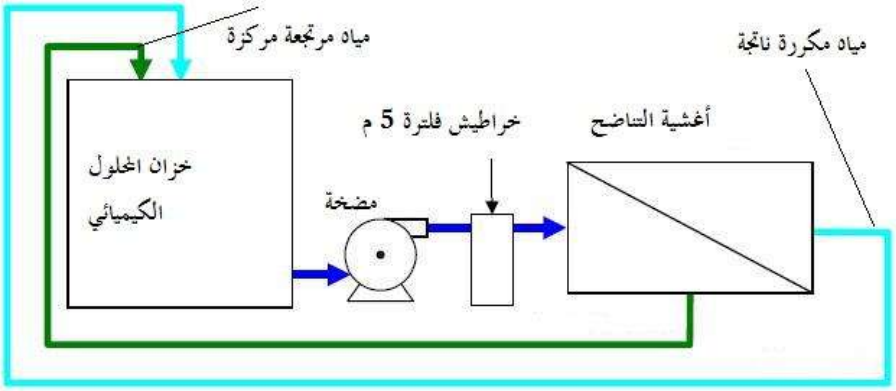
و- الغسيل بمحلول ذو رقم هيدروجيني عالي: (11.5-12) PH يستخدم لغسيل الأغشية عند حدوث رواسب عضوية وكذلك عند حدوث رواسب للسيليكات.

و للتغلب على المشاكل المتعلقة بتأكسد سطح الأغشية فينبغي هنا استبدال الغشاء أما تلف الحلقات الدائرية على الوصلات فينبغي هنا استبدال ال O ring ، و سنعرض في هذا الفصل الاختبارات و طرق الربط التي أثبتت جودتها و كفاءتها في تشغيل و حماية أنظمة RO .

منظومة غسيل الأغشية :

فيما يلي رسماً أساسياً لمنظومة غسيل الأغشية حيث تتألف من خزان المحاليل الكيميائية التي يتم ضخها بواسطة مضخة إلى شمعات أو خراطيش الفلترة 5 ميكرون و منها إلى الأغشية. المحلول الكيميائي سيعود مرة أخرى إلى الخزان الخاص به.

كمية المحلول يجب أن تتناسب مع الكمية اللازمة لملء حاويات الأغشية و المواسير و غيرها.



شكل (6) منظومة غسيل الأغشية التقليدية

الرسم هنا يغفل وجود أجهزة قياس للضغط و مستوى الخزان و أيضاً سخان حراري حيث يلزم في بعض المناطق الباردة.

مكونات المنظومة :

- الخزان مصنوع من مادة **FRP** .
- المواسير من **PVC** أو توصيلات خراطيم بلاستيكية .
- المحابس أو السكورة من الحديد غير قابل للصدأ **SS** .
- المضخة من الحديد غير قابل للصدأ **SS** أو مواد بلاستيكية .

حرارة المياه يفضل أن تكون 45 درجة مئوية و التوصيلات الكهربائية ذات مواصفات عزل عالية و موصولة إلى خط ارضي.

إجراءات الغسيل :

يستخدم المحلول ذات نسبة حموضة منخفضة **Low PH** لإزالة العوالق المعدنية فيما الحموضة العالية **High PH** لإزالة الفشل الناتج عن المركبات الحيوية و العضوية.

نسبياً ينصح دوماً باعتماد نسبة تدفق مياه عالية مع ضغط .

يمكن البدء بالعملية باتباع الخطوات التالية :

1- حضر المواد الكيميائية حسب تعليمات المصنع أو إرشادات مصنع الأغشية و توصياته .

2- ابدأ بضخ المياه إلى الأوعية و ينصح بعدم تدويرها مباشرة و إنما برميها لفترة لا تقل عن6 دقائق و من ثم تحويلها إلى الخزان .

3- دور المياه من الخزان إلى الأغشية بواسطة المضخة و لمدة لا تقل عن ساعة .

4- انقع الأغشية بالمحلول أي أوقف المضخة عن العمل بعد و احصر المياه داخل أوعية الأغشية لمدة لا تقل عن الساعة. و في بعض الحالات المستعصية يمكن تطويل فترة النقع إلى ليلة كاملة.

5- ابدأ مجددا بتدوير المياه إلى الأغشية بواسطة المضخة و لمدة لا تقل عن ساعة .

6- بعد الانتهاء اشطف الأغشية بواسطة مياه نظيفة قبل وضعها في الخدمة مجدداً .

ملاحظات هامة :

- أملاح البيكربونات يتم أزالتها بحقن الحامض والتوقف عن الحقن أو تقليله يؤدي لترسيبها على شكل كربونات كالسيوم .
- إن استخدام الكلور قد يسبب ضرراً كبيراً للأغشية لا يمكن معالجته : حيث المعالجة غير الجيدة لماء الداخل قد تؤدي إلى التقدر العضوي لذلك يتم استخدام مركبات الكلور(عموماً الحقن المستمر للكلور) ومن ثم أزالته وقد أثبتت بعض الأبحاث أنه يزيد من النمو البكتيري في الماء الداخل للأغشية لذلك ينصح بتعقيم المرشحات بحقن كمية كبيرة من الكلور بعد عزلها عن مدخل ال **RO** ومن ثم يتم التشغيل بدون كلور .
- عدم عمل غسيل عكسي للمرشحات الرملية قد يؤدي لنفاد بعض الشوائب التي تتجمع على سطح الأغشية لتكون الترسب أو الاتساخ البيولوجي والترسبات الملحية .
- استخدام مياه درجة حرارتها بين 32 و 37 مئوية يعطي نتائج أفضل .
- حافظ دوماً على نسبة الحموضة **PH** في المياه أثناء عملية تدوير المحلول .
- لا تستخدم حمض الكبريتيك في عملية غسيل الأغشية لأنها تسبب نوعاً من تكلسات الكبريتات داخل الأغشية .
- يستحسن استخدام مياه مكررة ذات أملاح منخفضة في تخفيف المواد الكيماوية .
- لا تسمح بزيادة درجة الحرارة لمحلول التنظيف عن (**120F**) أو ازدياد التدفق عن (**4 gpm**) و ذلك لكل (2.5) عنصر غشاء أو (**12gpm**) لكل 4 عناصر أو **40gpm** لكل 8 عناصر .
- لا تترك الخزان جافاً أثناء القيام بالتنظيف حيث أن إضافة ماء و منظف أمر ضروري .
- إن التدفق الكلي قبل التنظيف للمنظفات الأخرى ربما يؤدي إلى تأثير هذه الكيماويات على بعضها البعض أو يؤدي إلى تلف الأغشية .

إن المعلومات المذكورة أعلاه عامة و يلزم دوما اتباع تعليمات مصنع الأغشية و استخدام المواد الكيميائية التي ينصح بها ، لذا سنعرض بعض الأمثلة عن عمليات التنظيف الخاصة لأغشية (**Film Tec**) من شركة **DOW CHEMICAL** (راجع الملحق 2 للتعرف على بعض الكيماويات المستخدمة في التنظيف و معاييرها) .

إجراءات التعقيم و التنظيف الخاصة لأنظمة (RO / NF) :

1- إجراءات التنظيف و التعقيم من المواد البيولوجية و البكتريا :

إن إجراء التنظيف التالي مصمم خصيصاً للنظام الذي تعرض للفساد من جراء المواد البيولوجية

إجراءات التنظيف :

هناك سبع خطوات يمكن اتباعها من أجل تنظيف العناصر من النمو البيولوجي الحيوي وهي كالتالي :

١ -تحضير محلول التنظيف المدرج في الجدول (2) .

٢ -تقديم محلول التنظيف .
٣ -إعادة التدوير .
٤ -الإشباع أو النقع بالماء .
٥ -ضخ التدفق العالي .
٦ -الدفع للخارج .
٧ -إعادة البدء من جديد .

جدول (2) محاليل تنظيف المواد البيولوجية

المحلول	محلول التنظيف
0.1 wt% NaOH PH= 13 , 35 C maximum	المفضل
0.1 wt % NaOH 0.025wt% Na-DDS PH = 13, 35 C maximum	المفضل
0.1 wt% NaOH 1wt% Na4EDTA PH=13 ,35 C maximum	البديل

حيث :

NaOH : هيدروكسيد الصوديوم

Na-DDS : ملح الصودا ل دوديسيل الكبريتات (sodium salt of dodecyl sulfate) أو (sodium lauryl sulfate) .

Na4EDTA : محلول الكومبلكسون (ملح ثلاثي صوديوم الايثيلين أمين حمض ثلاثي الأستيك وهو متوفر وفق العلامة التجارية Versene ™ و بلورات VERSENE 220 .

معلومات إضافية :

بالتجربة محلول التنظيف Na4EDTA مع الكاوي تم عمله من أجل أن يكون أقل فعالية بعض الشيء من المحلول الكاوي القياسي أو المحلول الكاوي من Na-DDS .

و لأي محلول فإن وقت التماس أو الاتصال يكون متأرجحاً و الإشباع الفجائي من الممكن أن يكون ضرورياً لإعادة أداء النظام إلى حالته ، وبعد تنظيف عناصر الأغشية فإنه من النافع جداً أن تنظف لمرة إضافية واحدة من أجل تنظيف أو التخلص من الطبقة البيولوجية الرقيقة المتبقية على سطح الغشاء و أي طبقات متبقية ستميل إلى جذب الأتربة و الأوساخ و المواد غير النظيفة الأخرى لسطح الأغشية كما أن التنظيف الزائد سيزيد من الوقت بين عمليات التنظيف ، و في حالة النمو البيولوجي الحاد فإن الكميات المحددة من المواد المتلفة لهذا النمو(البيوئيد biocide) ينبغي أن تكون متوفرة و مطبقة في هذه الحالة بهدف تحسين و تعزيز نتائج إجراءات التنظيف .

عندما يكون التلوث ناتج عن مشكلة تشغيلية فإن إجراءات التعقيم و التنظيف النظامية كما هي موضحة في الجدول 2 يوصى بها بعد التنظيف .

كما أن بعض الأنظمة لا توصي بعمليات التماس مع الأجزاء أو القطع أو الوصلات المصنوعة من النحاس أو النحاس الأصفر أو الحديد في أنظمة التناضح العكسي كما توصي بالتعامل مع المواد الكيميائية بعناية و ارتداء الملابس الواقية و حاميات العين .

2- إجراءات تنظيف الأغشية من ترسبات أو قشور الكبريتات :

إن إجراء التنظيف التالي مصمم خصيصاً للأنظمة التي تحوي على قشور من الكبريتات المترسبة على عناصر الأغشية . إن قشور الكبريتات من الصعب جداً تنظيفها و إذا لم يتم الكشف عن وجودها مبكراً في الأنظمة فإن احتمال التنظيف الناجح لها سيكون منخفض جداً و الأكثر احتمالاً من الممكن أن يتسبب ذلك بخسارة في التدفق و الذي من غير الممكن أن يتم استعادته أو استرداده و لاستعادة أداء نظام الأغشية فإن ذلك يتطلب إجراءات تنظيف متعددة وسلسلة كاملة من عمليات الإشباع .

إجراء التنظيف :

هناك سبعة خطوات يمكن عملها من أجل تنظيف الأغشية من قشور و ترسبات الكبريتات و هي كالتالي :

١ -تحضير محلول التنظيف الموجود في الجدول (3) .
٢ -تقديم محلول التنظيف .
٣ -إعادة تدوير محلول التنظيف ل 30 دقيقة .
٤ -إشباع و نقع العناصر في محلول التنظيف لمدة (1-1.5) ساعة .
٥ -ضخ التدفق العالي .
٦ -الدفع للخارج .
٧ -إعادة البدء .

جدول (3) محاليل تنظيف قشور الكبريتات

المحلول	محاليل التنظيف
0.1wt%NaOH 1wt% Na4EDTA PH =12, 30 C maximum	المفضل

من أجل التنظيف الفعال لقشور الكبريتات فإن الشرط هو أن تتم المعالجة و الإزالة مبكراً و ذلك بإضافة 1% NaCl لمحلول التنظيف NaOH و Na4EDTA و الذي ربما يساعد على التنظيف الفعال من قشور الكبريتات و يسرع من العملية لأن قابلية الذوبان للكبريتات تزداد بازدياد الملوحة .

3- إجراءات تنظيف الأغشية من ترسبات الكربونات :

إن إجراء التنظيف التالي مصمم خصيصاً للنظام الذي يحوي على ترسبات أو قشور الكربونات على الأغشية . في حالة الترسبات الحادة لكربونات الكالسيوم فإن محلول التنظيف ينبغي أن يسخن إلى الدرجة 35 مئوية و التنظيف النموذجي لكربونات الكالسيوم يتم إجراؤه في درجات حرارة بين (25 – 20) مئوية و إجراء التنظيف يعتبر كاملاً عندما يكون PH محلول التنظيف غير متغير أثناء إعادة التدوير و / أو ضخ التدفق العالي .

قد يكون من الممكن إعادة العناصر لحالتها الطبيعية و التخلص من قشور الكربونات باستعمال التنظيف بالأحماض حيث أن قشور كربونات الكالسيوم تنحل بسهولة في الأحماض بإصدار غاز ثاني أوكسيد الكربون Co2 وهذا يمكن ملاحظته كرغوة أو زبد و فقاعات .

إجراء التنظيف :

هناك سبع خطوات لتنظيف عناصر الأغشية من قشور الكربونات وهي كالتالي :

١ -تحضير محلول التنظيف الموجود في الجدول (4) .

٢ -تقديم أو حقن محلول التنظيف .

٣ -إعادة تدوير محلول التنظيف لمدة 10 دقائق أو حتى نقطة عدم تغير اللون وإذا تم ملاحظة تغير في اللون في أي وقت خلال عملية التدوير فإنه يجب التخلص من المحلول و إعادة تحضير محلول جديد كما هو موصوف في الخطوة الثانية و ينبغي الحفاظ على قيمة الPH من أجل التنظيف الفعال و ربما تكون هناك حاجة لإضافة مواد كيميائية إضافية من أجل الحفاظ على قيمة الPH

٤ -النقع و الإشباع : من أجل الأنظمة ذات القشور القليلة ، فإن وقت النقع أو الوقت اللازم للإشباع يتراوح بين (1-2) ساعة وهو كاف ، أما الأنظمة التي تحوي على ترسبات كبيرة و حادة فإنه ينبغي القيام بالنقع بشكل فردي خارج وعاء الضغط و ذلك في الاتجاه العمودي كما يتطلب الأمر فحص قيمة ال PH و التعديل أو تبديل محلول التنظيف .

٥ -ضخ التدفق العالي .

٦ -الدفع للخارج .

٧ -إعادة البدء .

جدول (4) محاليل تنظيف قشور الكربونات

المحلول	محاليل التنظيف
0.2wt%HCl(PH =1-2,35 C)	المفضل
2wt% من حمض الليمون (critic acid)	البديل
0.5% H3PO4	البديل
1% Na2S2O4	الاختياري

4- إجراءات تنظيف الأغشية من الحديد :

إن إجراء التنظيف التالي مصمم خصيصاً للأنظمة التي تتعرض للتلوث والفساد من الحديدFe .

إجراء التنظيف :

هناك سبع خطوات يمكن اتباعها من أجل تنظيف عناصر الأغشية المتعرضة للفساد بالحديد و هي كالتالي :

١ -تحضير محلول التنظيف الموجود في الجدول (5) .

٢ -حقن محلول التنظيف .

٣ -إعادة التدوير .

٤ -النقع و الإشباع : إن أوقات النقع ضرورية و أساسية من أجل فعالية هيدروسلفيت الصوديوم (Na2S2O4) والوقت اللازم يختلف حسب درجة الفساد و الضرر و الوقت المثالي و النموذجي (4 - 2) ساعات .

٥ -ضخ التدفق العالي .

٦ -الدفع للخارج .

٧ -إعادة البدء .

جدول (5) محاليل تنظيف الفشل بالحديد

المحلول	محاليل التنظيف
1wt% NaS2O4 (PH =5 , 30 C)	المفضل
2wt% من حمض الليمون أو السيتريك	البديل
0.5% H3PO4	البديل
1% NH2SO3H	البديل

حيث : NH2SO3H : حمض السلفاميك .

H3PO4 : حمض الفوسفوريك .

معلومات إضافية :

هيدروسلفيت الصوديوم له رائحة مخرشة و لاذعة جداً لذا يجب أن تتم تهوية الغرفة بشكل جيد و يجب دائماً اتباع التعليمات الوقائية و التقيد بزمن التماس المحدد من أجل التنظيف الناجح . المحلول أحياناً سيتغير إلى العديد من الألوان حيث أن البني المسمر و الأصفر كلها عادية من أجل هذا النوع من محلول التنظيف و عندما يتغير لون المحلول في أي وقت فإنه ينبغي التخلص منه و تحضير محلول جديد . طول مدة و عدد فترات النقع يعتمد على درجة التلوث .

5- إجراءات تنظيف الأغشية من الملوثات العضوية :

إن إجراءات التنظيف التالية مصممة خصيصاً للأنظمة التي تتعرض للتلوث بالأنواع العضوية مثل أحماض هوميك (Humic) و أحماض فولفيك (Fulvic) وهما حمضان يفرزان تحت الأعشاب و الأشجار و هما المكونان للدبال في الأتربة ، القشور الحرشفية الجافة ، و كذلك الزيوت و الشحوم و غيرها من المواد العضوية .

إجراء التنظيف :

هناك ثمان خطوات يمكن اتباعها لتنظيف عناصر الأغشية التي تلوثت و أفسدت من جراء المواد العضوية ، لكن الخطوات الستة تتم مع قيمة PH عالية لمحلول التنظيف و بعدها تكرر مع قيم PH منخفضة لمحلول التنظيف و هي كالتالي :

١ -تحضير محلول التنظيف ذو قيمة ال PH العالية من الجدول (6) .

٢ -حقن محلول التنظيف .

٣ -إعادة تدوير محلول التنظيف لمدة 30 دقيقة فإذا حدث تغير في اللون يجب التخلص من المحلول و تحضير محلول نقي جديد .

٤ -النقع و الإشباع .

٥ -ضخ التدفق العالي .

٦ -الدفع للخارج .

٧ -إعادة الخطوات من 2 إلى 6 باستخدام محلول تنظيف من حمض كلور الماء (HCl) ذو قيمة PH = 2 .

٨ -إعادة البدء .

معلومات إضافية :

من أجل الحصول على التأثير الأعظمي فإن درجة حرارة محلول التنظيف يجب أن تكون أكبر من C 25 لأن رفع درجة حرارة محلول التنظيف سيساعد في إزالة المواد العضوية من سطح الغشاء . بعض المواد العضوية مثل الزيوت من الصعب جداً إزالتها و التخلص منها و من أجل إزالتها يجب تجريب فترات نقع مختلفة من أجل تحديد التأثير الأفضل بالإضافة إلى ذلك فإن محلول التنظيف الأكثر فعالية عادة يحوي على Surfactant مثل Na-DDS أو ربما بعض منظفات الأغشية المتوفرة تجارياً و التي تحوي على Surfactant أو مواد منظفة يمكن أن تساعد على إزالة هذه الزيوت .

جدول (6) محاليل تنظيف المواد العضوية

المحلول	محاليل التنظيف
0.1wt% NaOH PH = 12 , 30 C maximum , followed by 0.2% HCl PH = 2 , 45 C maximum	المفضل
0.1wt% NaOH 0.025wt% Na-DDS PH = 12 , 30 C maximum , followed by 0.2 % HCl PH = 2 , 45 C maximum	المفضل
0.1wt% NaOH 1 wt% Na4EDTA PH = 12 , 30 C maximum , followed by 0.2 % HCl PH = 2 , 45 C maximum	البديل

ملاحظات :

عندما لا يتم التنظيف ضمن الوقت على سبيل المثال : الضغط التفاضلي تمت مضاعفته أو تدفق المنتج الطبيعي هبط بمقدار 50% فإن نجاح عمليات التنظيف الموصوفة سابقاً ربما يكون محدوداً و إذا أخفقت

تقنيات التنظيف في إزالة الملوثات و الضرر فإنه يجب اختيار وسائل و تقنيات تنظيف ذات فعالية أقوى كما يجب تجريبها لاختيار التقنية الأفضل و ذات السعر الأنسب .

بيروكسيد الهيدروجين و حمض الخل :

بيروكسيد الهيدروجين أو خليط بيروكسيد الهيدروجين و حمض الخل استعملا بنجاح لمعالجة تلوث أنظمة التناضح العكسي و الترشيح النانومتري اللذان يستعملان أغشية **filmtec** ، محاليل بيروكسيد الهيدروجين و حمض الخل متوفرة تجارياً كمحاليل مركزة و مخففة من أجل أنظمة (RO/NF) للحصول على قيمة 0.2 % وزناً من محلول البيروكسيد .

هناك عاملان يؤثران بشكل كبير على نسبة هجوم بيروكسيد الهيدروجين على الغشاء و هما :

١ -درجة الحرارة .

٢ -الحديد

محلول التعقيم يجب ألا تتجاوز درجة حرارته (25 C) ، عينات الأغشية **FT30** يتم اختبارها ب **0.5%** من بيروكسيد الهيدروجين في درجة حرارة **34 C** أظهرت مرور ملح عالي جداً بعد عدة ساعات . في درجة حرارة **24C** أظهرت النتائج ملاءمة هذه الدرجة من أجل **0.5%** من بيروكسيد الهيدروجين لهذه النماذج و ذلك بعد 96 ساعة .

إن وجود الحديد بالاقتران مع بيروكسيد الهيدروجين يمكن أن يسبب انحطاطاً للغشاء حيث اختبرت عينة من الغشاء **FT30** باستخدام 0.15% من محلول بيروكسيد الهيدروجين و ماء صنبور يحوي على حديد و بعد 150 ساعة بدأ مرور ملح الغشاء بالزيادة بشكل ملحوظ و التعرض المستمر في هذا التركيز قد يتلف الغشاء في النهاية و بدلاً عن ذلك يوصى بالاستعمال الدوري .

من أجل الأنظمة الملوثة بيولوجياً و المستعملة لأغشية **FILMTEC** يوصى بالإجراءات التالية لتطبيق محلول بيروكسيد الهيدروجين :

١ -من أجل أي نوع من المواد البيولوجية الموجودة على الغشاء أو الأجزاء الأخرى للنظام ينبغي أن تتم إزالتها مع منظف قلوي و ذلك قبل التعقيم . إزالة هذه المواد التي تحوي على الكائنات الدقيقة الجهرية ستزيد من درجة التعقيم و بعد التنظيف بالقلوي ادفع النافذ خلال النظام .

٢ -نظف نظام **RO** بالحامض لإزالة الحديد (وفق ما ذكر سابقاً) من سطح الغشاء و بعدها ادفع النافذ ليتخلل النظام .

٣ -دور المحلول (**0.2%** وزناً) بيروكسيد هيدروجين مخفف مع النافذ من النظام في درجة حرارة أقل من (**25 C**) لعشرين دقيقة ، قيمة ال **PH** بين (3 – 4) تعطي نتائج إتلاف مثالية للبيولوجيات و عمر غشاء أطول .

إجراءات تخفيض الكلفة لنظام التناضح العكسي بتحسين تصميم النظام و إجراءات التنظيف :

إن كلف التشغيل الحالية للعديد من أنظمة التناضح العكسي من الممكن أن يتم تخفيضها بتطبيق التعديلات على الأجهزة المستعملة و/أو تعديل برامج التنظيف للأغشية .

وسوف نقوم هنا بمناقشة الأمور التالية الهامة :

1- تتالي عمليات التنظيف الصحيح .

2- قيمة ال PH و درجة حرارة التنظيف الفعالة .
3- تجنب التنظيف المرحلي .
4- مؤشرات ضغط المرحلة .
5- الدفع النافذ من النظام .
6- أداة التدفئة المتحكمة بدرجة الحرارة من أجل لوح التنظيف في المكان .
7- الفلاتر الخرطوشية على ألواح التنظيف في المكان (CIP) .
8- تجنب استخدام مضخة الضغط العالي عند التنظيف .
9- ضبط و قياس تدفقات المحلول المطرود المعاد تدويره .

1- أهمية تتالي عمليات التنظيف الصحيح : التنظيف بالقلوي المتبوع بالتنظيف الحامضي :

إن تتالي عمليات التنظيف الموصى بها من أجل أغشية التناضح العكسي FilmTec هي التنظيف بالقلوي المتبوع بالتنظيف الحامضي . إن الماء النافذ أو المتأين يجب أن يستخدم من أجل إعداد محلول التنظيف كذلك من أجل دفع و حقن محلول التنظيف بعد كل خطوة تنظيف .

العنصر المتعرض للتلوث و الفساد يتألف بشكل نموذجي من مزيج من الملوثات و القشور الجافة ، على سبيل المثال مزيج من التلوث العضوي، التلوث بالصمغيات ، التلوث بالبكتريا و الجراثيم ، القشور الغير عضوية و المعدنية ... و غالباً ما تكون سلسلة التنظيف (التنظيف بالأحماض المتبوع بالتنظيف بالقلويات) مطبقة .

إن إجراء التنظيف هذا له العديد من القيود كما أنه محدود لأن المنظف الحمضي تتم مقاومته بالسيليكا (SiO2) ، المواد العضوية (مثل أحماض هوميك أسيد) ، و كذلك الطبقات الفيلمية الرقيقة الكامنة على سطح الأغشية والتي تسبب هبوطاً إضافياً لأداء عنصر الغشاء .

أحياناً التنظيف بالقلوي قد يعيد الهبوط المسبب من قبل التنظيف الحامضي لكن غالباً ما يكون التنظيف المتطرف ضرورياً في هذه الحالة ، و هذا التنظيف المتطرف أو الخارج عن المألوف ينفذ في مجالات PH و درجات حرارة خارج إرشادات مصنعي الأغشية أو باستخدام كيماويات تنظيف غير ملائمة لعناصر الأغشية . التنظيف المتطرف ينفذ فقط كملاذ أخير كما أنه يمكن أن يسبب تلف للأغشية قد يكون من الصعب تعذر إلغاؤه في هذه الحالة .

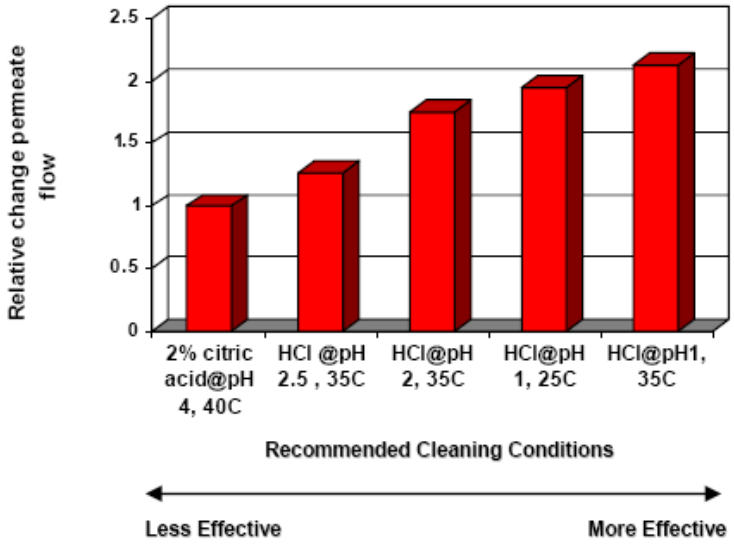
إن التنظيف بالأحماض يتم تطبيقه فقط عندما يكون التنظيف القلوي يملك تأثيراً فعالاً في إزالة التلوث العضوي ، التلوث بالصمغيات و البيولوجيات . إن التنظيف الحمضي فعال في إزالة قشور كربونات الكالسيوم من سطح الأغشية ، نموذجياً ترسبات كربونات الكالسيوم تكون مستقرة و متوضعة في المرحلة الأخيرة من النظام . التنظيف بالأحماض عندها يطبق على المرحلة الأخيرة للنظام .

2- أهمية درجة الحرارة وقيمة ال PH للحصول على تنظيف فعال :

إن برامج التنظيف تنفذ في أغلب الأحيان في مجال PH يتراوح بين (11- 3) وذلك اعتماداً على توصيات المزودين بالمواد الكيميائية ، مصنعي الأغشية و مواصفات الأغشية المستعملة حيث أن خصائص عنصر الغشاء تحدد القيم الأصغرية و الأعظمية المسموحة لل PH و درجة الحرارة .

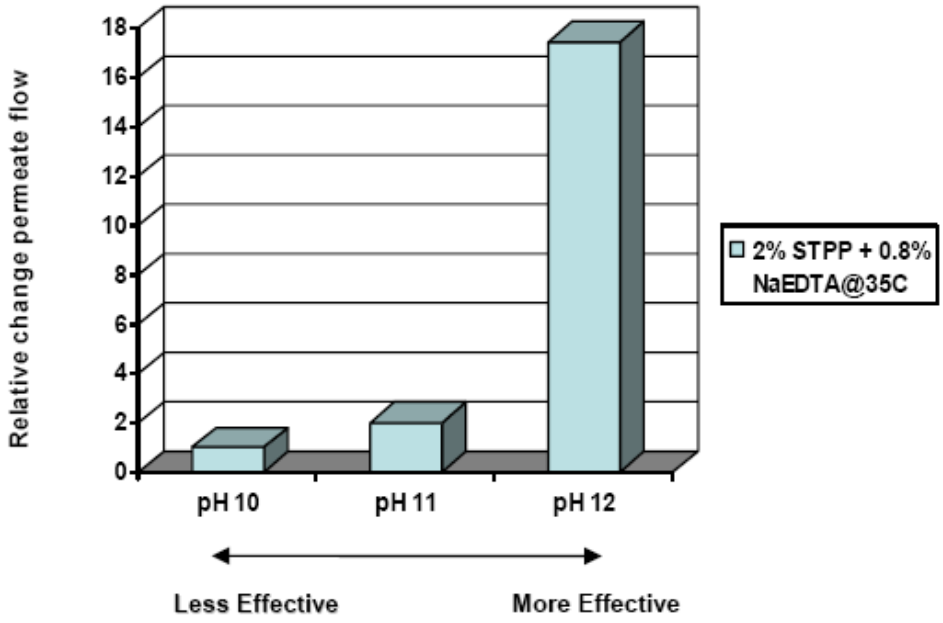
إن الإزالة الفعالة الأكبر للملوثات العضوية و/أو البيولوجية تتم في مجال PH = 12 و درجة حرارة أصغرية (35 C) درجة مئوية أو (95 F) درجة فهرنهايتية) .

إن عناصر أغشية filmetc (BW30, TW30, LP, BW30LE, LE, XLE, SW30, SW30HR SW30HR LE and SW30XLE) ربما تنظف في مجال PH يتراوح بين (13 – 1) الرسومات البيانية التالية تبين أثر قيمة ال PH على إزالة التلوث .



مخطط (2) أثر قيمة ال PH في إزالة كربونات الكالسيوم

نلاحظ من المخطط السابق أن الإزالة الأكثر فعالية لكربونات الكالسيوم تحدث عند قيمة PH=1 .



مخطط (3) أثر قيمة ال PH في إزالة التلوث البيولوجي

نلاحظ من الخطط السابق أن الإزالة الأكثر فعالية للتلوث البيولوجي تحدث عند قيمة PH=12 .

3- تجنب التنظيف المرحلي (محلول التنظيف يدخل المرحلة الأولى و يخرج من المرحلة الأخيرة)

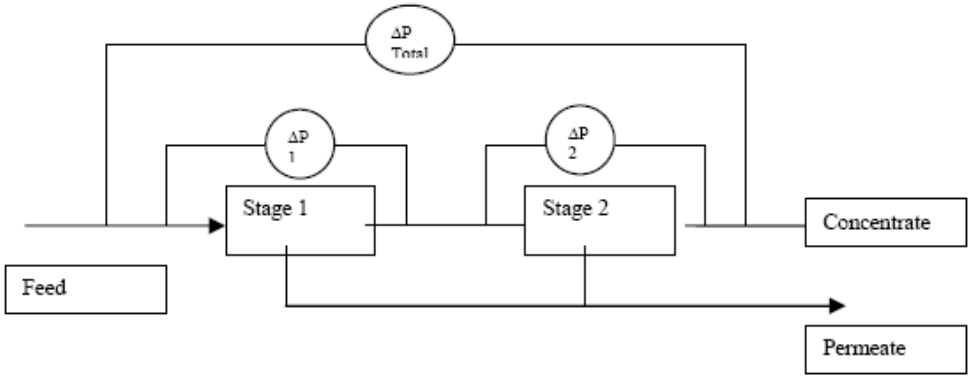
إن التنظيف للنظام يجب أن يتم لكل مرحلة على حدى و بشكل منفصل عن المراحل الأخرى وهذا الأمر تركز عليه بشدة الشركات المصنعة للأغشية لأن التنظيف المرحلي ربما يؤدي إلى التلوث (بالصمغيات ، الميكروبات ، و الملوثات العضوية) و المزالة من المرحلة الأولى بوساطة محلول التنظيف لتنتقل إلى المراحل الأخرى و عندما يحدث هذا فإن أداء المرحلة الأولى يتحسن لكن أداء المراحل اللاحقة يهبط و يتراجع و هذا يؤدي على تحسين أداء النظام العام بشكل ضعيف بعد القيام بالتنظيف .

4- أهمية قياسات و مؤشرات الضغط المرحلية :

إن قياسات و مؤشرات الضغط المرحلية حاسمة و مهمة من أجل تقييم أداء وحدة التناضح العكسي و خصوصاً في حالة المياه السطحية و المياه البلدية لأن هذه المصادر للمياه من الممكن أن تؤدي لمعدلات كبيرة من التلوث و الإفساد للأغشية و هذه المؤشرات تمكن من حساب هبوط الضغط لكل مرحلة من المراحل (ضغط التغذية أقل من ضغط المحلول المركز المجمع) لذا فإن موقع (أو بمعنى آخر مرحلة) مشكلة الأداء يمكن معرفتها بشكل دقيق .

إن القياس فقط لهبوط الضغط الكلي للنظام يمكن أن يخفي المشكلة ، و بالرغم من أن قيمة هبوط الضغط الكلية يمكن أن تكون ضمن الحدود المقبولة إلا أنه من المحتمل أن يحدث هبوط الضغط بشكل رئيسي في مرحلة واحدة و في تلك الحالة فإن عناصر الأغشية في تلك المرحلة من الممكن أن تتلف وتخرب .

<u>مثال</u> : عندما تملك مرحلتين من التناضح العكسي (ما هو ملاحظ في المخطط السفلي) هبوط ضغط كلي قدره **40 psi** فإن هبوط الضغط ازداد إلى **50 psi** أي هذه الزيادة تبلغ **25%** من هبوط الضغط الكلي . على أية حال عند مراجعة تفاصيل المرحلة الفردية تبين أن هبوط الضغط للمرحلة الأولى ازداد من **15 psi** إلى **25 psi** بينما في المرحلة الثانية بقي **25 psi** أي هبوط الضغط للمرحلة الأولى زاد **% 60** .



شكل (7) هبوطات الضغط المرحلية و الكلي لنظام بمرحلتين

و بما أن مؤشرات و قياسات هبوط الضغط المرحلية تسمح بتحديد مناطق هبوط الضغط العالي للنظام بدقة لذا فإنه يوصى بها دوماً .

5- أهمية الدفع النافذ من نظام التناضح العكسي قبل القيام بالإغلاق :

قبل إغلاق أنظمة التناضح العكسي يوصى بدفع المياه النافذة لتجنب اندفاع و انبعاث الأملاح و المواد العضوية المركزة من جانب التغذية للعنصر إلى سطح الغشاء و لكن لسوء الحظ فإن العديد من أنظمة

التناضح العكسي لا تقوم بهذه العملية و تقوم بتطبيق دفع لماء التغذية بدلاً عن ذلك وهذا يسرع من كل أشكال تلوث الأغشية (التلوث بالصمغيات ، البيولوجيات ، المواد العضوية ، و الترسبات على الأغشية).

ملاحظة : عند وجود مضادات تشكل القشور في مياه التغذية فإنها من الممكن أن تكون فعالة بشكل نموذجي من أجل (30 – 15) دقيقة فقط بعد إعطائها للنظام . و إذا كان ماء التغذية مشبع مسبقاً بأملاح محددة فعندها يمكن أن يبدأ تشكل القشور و الترسبات بعد (30 – 15) دقيقة وهذا سبب آخر يدعو الشركات و المصنعين للتوصية بدفع النافذ قبل إغلاق النظام لوحدة التناضح العكسي .

و إذا كان الإغلاق أكثر من 24 ساعة يوصى بحفظ المواد الكيميائية أو القيام بعمليات تشغيل يومية للنظام لفترات قصيرة لتجنب نمو البكتريا و المواد الميكروبيولوجية أثناء فترة الإغلاق للنظام .

6- أهمية وسيلة التدفئة المتحكمة بدرجة الحرارة على لوح التنظيف في المكان :

إن ألواح التنظيف في الموقع (CIP) غالباً لا تكون مجهزة بأداة للتحكم بدرجة الحرارة ، إن تدفئة أو تسخين محلول التنظيف هامة جداً في حالة التلوث العضوي و البيولوجي . عمليات التنظيف بالقلويات تكون أكثر فعالية في درجة حرارة (35 C) مئوية أي (95 F) و هذه المنظفات القلوية في درجات حرارة أقل تكون ذات فعالية منخفضة و التي تسبب زيادة تكرار عمليات التنظيف و كلف أعلى نتيجة التنظيف المستمر و استبدال الأغشية .

7- أهمية الفلاتر الخرطوشية على لوح التنظيف في الموقع :

إن وجود فلاتر خرطوشية على ألواح و أرضيات التنظيف في المكان ضرورية لإزالة الجزيئات الناعمة ، مساحيق التنظيف الكيميائية الموجودة ، التخلص من الحت للغشاء على المنطقة السطحية منه .

و إذا كان لوح التنظيف في المكان غير مجهز بهذه الفلاتر فإنه يمكن أحياناً استخدام فلاتر من نظام التناضح العكسي لتفادي المشاكل .

ملاحظة : إذا كانت الفلاتر الخرطوشية لنظام التناضح العكسي مستخدمة لفلترة محلول التنظيف تذكر أن تركب فلاتر خرطوشية قبل التنظيف و إلا فإن محلول التنظيف سيقوم بإذابة و نقل الملوثات من الفلاتر الخرطوشية ووضعها على سطح الأغشية . إن المشغلين للنظام كما هو معروف من الممكن أن ينسوا استبدال الفلاتر الخرطوشية السابقة لعمليات التنظيف مما يمكن أن يؤدي لتنظيف غير فعال .

إن محلول التنظيف يجب أن يعبر الفلاتر الخرطوشية دائماً قبل دخول نظام التناضح العكسي و توصي الشركات دائماً بتجهيز لوح التنظيف بمرشحات خرطوشية ذات أبعاد مسام أقل من 10 ميكرون .

8- تجنب استعمال مضخة الضغط العالي لتنظيف أنظمة التناضح العكسي :

أثناء التنظيف من الضروري أن نولد و نحافظ على تأثير شامل و عاصف عبر سطح الغشاء للمساعدة في إزالة الملوثات من على السطح و التنظيف تحت الضغط المنخفض ضروري للحد من إنتاج النافذ لذا فإن المحلول المركز (concentrate) يتم إنتاجه فقط بالعملية و الذي يزيد من التأثير الكاسح على سطح الأغشية.

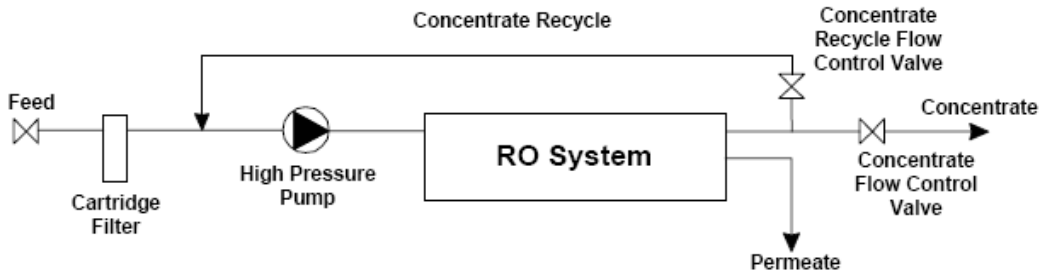
في الحالات التي تستخدم فيها مضخة الضغط العالي أثناء التنظيف فإن إجراء التنظيف يكون أقل فعالية من خلال وجود تدفق عابر أقل عند إنتاج عالي جداً للنافذ (نتيجة الاضطراب الأقل المتولد) كما أن التنظيف في ضغط عال يدفع الملوثات بشكل كبير إلى سطح الغشاء و ربما يسبب أيضاً تخريباً ميكانيكياً للأغشية أو

انفصال القطع المضغوطة (telescoping) من على الحواف أو انفصال موانع التسرب و حدوث التسرب و عند حدوث ذلك فإن أداء نظام التناضح العكسي بعد التنظيف إما أن يبقى كما هو أو يتعرض لتأثيرات إضافية أخرى لذا فإنه من الضروري جداً أن يتم التنظيف بمضخات تنظيف ذات ضغط منخفض و ينبغي تجهيز لوح التنظيف بها (مضخة لوح التنظيف في المكان) .

إضافة لذلك فإن صمامات النافذ ينبغي أن تكون مفتوحة خلال التنظيف لتجنب تخريب الضغط الخلفي النافذ المحتمل ، أيضاً عندما يتم وضع نظام التناضح العكسي خلف العملية فإن صمامات النافذ ينبغي أن تكون مفتوحة لتجنب التخريب الهام للعناصر و أنابيب أوعية الضغط .

9- ضبط و قياس تدفقات إعادة التدوير للمرفوض :

بعض أنظمة التناضح العكسي مصممة على عملية إعادة التدوير الداخلي للمحلول المرفوض (concentrate) و ذلك – كما نعلم – لزيادة استعادة النظام . بعض التطبيقات (مثل الأنظمة التي تعمل بمعدلات درجة حرارة واسعة) تتطلب تسوية بارامترات وحدة التناضح العكسي و المتضمنة تسوية تدفق إعادة التدوير الداخلي للمرفوض ، في هذه الحالات فإن تدفق إعادة التدوير الداخلي للمرفوض ينبغي أن يحسب و يقاس و ذلك لتقدير أداء النظام و تسهيل مراقبته .



شكل (8) نظام ذي مرحلة واحدة لإعادة التدوير الداخلي للمحلول المرفوض

1-6-1-2- إجراءات الربط الصحيح للعناصر و منع التسربات :

عند الربط غير الملائم للأغشية مع بعضها البعض و مع وعاء الضغط فإن هذا يؤدي إلى خفض كفاءة عمل المنظومة و نوعية ماء منتج رديئة لذا لابد من التعرف على إجراءات و اختبارات الربط الصحيح للأغشية من أجل الحفاظ على أداء متكامل لمنظومة التناضح العكسي و منع فشل عملية المعالجة و الدراسة الآتية هي لإعطاء فكرة عن العمليات و الإجراءات اللازم عملها لضمان الربط الصحيح و منع حدوث التسربات .

- ملخص الدراسة :

من أكثر من 15 سنة الوصلات المنزلقة كانت تستخدم من قبل الصناعة لربط الأنابيب النافذة لعناصر الأغشية الملفوفة المتجاورة مع بعضها البعض و المحتواة في أوعية الضغط (Pressure Vessels) و بالرغم من أن هناك اختلافات طفيفة في التصاميم المستعملة للوصلات فإن جميع تلك التصاميم كانت تعتمد على نفس الأجزاء الرئيسية و الأساسية و التي هي عبارة عن قطعة أنبوب مع حلقات دائرية مضغوطة على شكل شعاعي من كلا النهايتين و الموصولة داخلياً أو خارجياً للأنابيب النافذة المجاورة لها و المسؤول عن البناء أو التركيب لها هو الإقلاع ، التشغيل ، إمكانية الاعتماد ، النوعية ، الصيانة ، أو

كفاءة نظام التناضح العكسي المرتبط مع مسألة الكلفة و النوعية من هذه الطرائق ، و المشاكل التي تواجه هذه العملية تتضمن :

1- الحلقات الدائرية الملفوفة أو الملتوية أثناء عمليات التركيب في وعاء الضغط .

2- الحت الذي يحدث للحلقات و التسربات اللاحقة منها نتيجة الحركة المفرطة للوصلة القريبة من الأنبوب النافذ أثناء تشغيل النظام و عمليات التنظيف .

3- العدد الزائد للحلقات المستخدم لتحسين كفاءة منع التسرب .

4- مقاومة جريان القدرة بسبب تخفيض القطر الداخلي للوصلة .

سنذكر فيما يلي وصفاً لطريقة جديدة مسجلة و قد حصلت على براءة اختراع جديدة و ذلك لربط الأنابيب النافذة المجارة لعناصر الأغشية المحتواة في أنبوب الضغط حيث أن هذا الابتكار الجديد يزيل الضعف أو المشاكل الموجودة سابقاً للوصلات و يعطينا العديد من الميزات الجديدة و الفوائد التالية :

١ -مانع تسرب محوري ساكن بدلاً من مانع التسرب الشعاعي المنزلق .

٢ -زيادة القوة المانعة للتسرب كنتيجة طبيعية لحدوث حمولات ضغط عالية للتدفق و الجريانات .

٣ -سطوح مانعة للتسرب أقل .

٤ -أجزاء أقل .

٥ -التخلص من زيوت التشحيم و الوصل .

٦ -التوافق الكامل مع عنصر التيار و تصاميم الأوعية .

٧ -إشارات بصرية ملموسة وواضحة للعين و التي يمكن أن نتحقق من خلالها من مانع التسرب أثناء التركيب .

٨ -زيادة صلابة و متانة العنصر من خلال الارتباط الدائم و المستمر للأنبوب النافذ مع نهاية الغطاء .

٩ -تحميل و تفريغ العنصر بكفاءة وفعالية عالية .

10- تقليل الضغط الخلفي النافذ المتولد .

كما تعتمد الطريقة الجديدة على مفهوم العمل المثبت صناعياً وهو حلقة دائرية وحيدة مضغوطة محورياً . وهذا يتفق مع مانع التسرب و الوصل المتعاقب للعناصر المتجاورة المزدوجة . إن المواصفات المطلوبة و الأداء المتميز كان بهدف التطوير و سنعرض التجارب المخبرية التي أجريت لأجل هذا و التي تظهر كيفية الربط و الوصل الميكانيكي لها لتكون الوصلات مانعة للتسرب و كتيمة و أكثر غلاظة و فعالة للتركيب و التشغيل .

- ***المحتويات :***

1- مقدمة

2- معايير التصميم لأدوات الربط الجديدة

3- عرض أسباب التصميم .

4- تقدير التجارب الحقلية و الاختبارات .

5- الاستنتاجات ، الملاحظات .

1- المقدمة :

إن التقدم في أداء أغشية التناضح العكسي سبق السمات الأخرى لأجل تصميم الوحدات ، و بشكل خاص الأنظمة التي تستخدم هذه الأيام تعتبر حديثة ولكنها على الرغم من ذلك ما زالت تعتمد على تقنيات قديمة لربط سلاسل عناصر الأغشية مع بعضها البعض داخل أوعية الضغط و الطريقة الجديدة للربط الموصوفة هي للوصلات الجديدة التي تتغلب على عيوب الوصلات القديمة التي مازالت لحد الآن تستخدم بشكل كبير كما ذكرنا رغم التقدم الملحوظ الذي طرأ على أنظمة التناضح العكسي و المبدأ الذي تعتمد عليه هو الحد من التسرب و التصميم الميكانيكي الدقيق .

إن أغشية التناضح العكسي المستخدمة لإنتاج الماء الصالح للشرب في المكاتب و المنازل ، و التي تزيل الأملاح من المياه المنزلية و تلك المستخدمة لإنتاج المياه للصناعات المختلفة أصبحت متنوعة جداً و موحدة بشكل عام، حيث أن طرق التوصيل للعناصر في السلسلة متشابهة بشكل ملحوظ و كل هذه الطرق تعتمد على الوصلات المنزلقة على قطعة الأنبوب مع حلقات دائرية شعاعية مضغوطة من الطرفين و هذه يتم وصلها أما بشكل داخلي أو خارجي للأنابيب النافذة المجاورة .

أما العيوب التي ظهرت من هذا التصنيع أو التصميم الشائع لأغلب الوصلات من قبل المصنعين فقد كانت واضحة للعامل الذي يقوم بالتركيب و كذلك للمشغلين للأنظمة و ذلك نتيجة التسربات العالية عند الحافة ، مشاكل التسرب قد تصبح واضحة عند الإقلاع حيث يتم تخريب أو تشويه الحلقات و بالتالي التأثير على نوعية و كمية الماء النافذ ، و أداء نظام التناضح العكسي يمكن أيضاً أن يعاني من هذه المشاكل مع مرور الزمن نتيجة ضعف الحلقات و فشل عملها بسبب حركة الوصلات داخل الأنبوب .

و إنجاز عملية منع التسرب بلا أية مشاكل أولياً هي مسألة تركيب مانع التسرب بشكل ملائم و أن يكون أيضاً ذو تركيب ملائم مع معايير تطبيقات معينة للنظام . إن التقنية الجديدة نتيجة التحاليل الدقيقة و الهادفة إلى إيجاد بدائل لموانع التسرب الموجودة و كذلك الحاجة الماسة للحصول على أفضل الطرق البديلة فنياً و اقتصادياً لتلبية الاحتياجات و التغلب على المشاكل ، و على الرغم من أن الحد أو إزالة التسربات كانت الهدف الأولي من هذه الدراسات و ا لاختبارات إلا أن هذه الاختبارات أصبحت ذات مجالات واسعة و ذلك بسبب الحاجات المرتبطة باستهلاك الطاقة ، سلامة العناصر ، سهولة التركيب ، والاعتماد على زيوت التشحيم ...

2- معايير التصميم الجديدة وتقنيات الوصل :

إن التصميم الجديد طور مع الالتزام بقائمة ذات 16 معيار ، إن المعايير التي تم جمعها و دراستها هي بهدف الحصول على مواصفات فيزيائية و علامات الأداء ، هذه القائمة كانت كاملة تقريباً قبل بداية مرحلة التصميم و على الرغم من أن المواد كانت متعلقة بسلامة مانع التسرب و مرونة الوصل بناء على الشروط المفروضة من قبل وعاء الضغط الضعيف إلا أنها أضافت العديد من المخاوف فيما بعد أثناء العملية حيث أشارت بعض النصوص إلى مانع التسرب كحلقة دائرية ، و أخرى على أساس مقاطع عرضية لمانع التسرب على شكل مربع ذو أربعة فصوص أو حتى ثمانية ، و كل هذه البدائل التي تم اختيارها تعتبر صحيحة من أجل هذه التطبيقات .

النجاح الذي تم اكتشافه نتيجة للتصاميم المختلفة أعطى قائمة من المعايير وهي كالتالي :

1- سلامة مانع التسرب الطويلة المدى :

المعيار الأول : موانع تسرب أقل – الربط الجيد ينبغي أن يحوي على سطوح موانع تسرب أقل – التطابق في مواضع التسرب الكامنة يكون أقل – يجب أيضاً أن يزيل موانع التسرب الاحتياطية العاطلة عن العمل بهدف بساطة التصميم و سهولة التركيب .

المعيار الثاني : ضغط مانع التسرب بشكل مستمر و متواصل – الربط الجيد يجب أن يكون بضغط مانع التسرب إلى نفس القياس النهائي مع تكرار العملية ومع حساسية أقل لمقاومة القطعة أو التغطية .

المعيار الثالث : التخلص من حت الحلقة الدائرية – الحركة النسبية للعناصر في الأوعية أثناء الإقلاع و الإغلاق تسبب حت الحلقة الدائرية وهذا يمكن أن يؤدي إلى تدهور في نوعية النافذ على المدى البعيد ، كما أن الحركة يمكن أيضاً أن تؤدي إلى قص أو كسر الحلقة الدائرية ، التسرب الفجائي من الحلقة ، و التزييت بالسيليكون ربما يكون مفيداً لتخفيض الحت و التآكل للحلقة الدائرية و لكن لا يتم استعماله كثيراً و يمكن أن ينجز الربط الجيد و الدقيق باستخدام موانع تسرب غير منزلقة بين العناصر المتجاورة .

المعيار الرابع : استخدام قوى التدفق و الجريان الدافع – العناصر داخل أوعية الضغط تخضع لحمولات محورية متناسبة مع هبوط الضغط المختبر بوساطة تيار التغذية المتدفق، و ذلك الانضغاط سيكون منشوراً لتزويد موانع التسرب بقوى أعلى من تلك التي من الممكن الحصول عليها بسهولة خلال التركيب لها .

2- الأداء عند الإقلاع لمنع التسربات و الكتيم تجاهها :

المعيار الخامس : منع القص أو الطوي أثناء التركيب – الحلقات الدائرية يمكن أن تطوى و تنشأ فيها العديد من الأخاديد كما يمكن أن تتعرض للقص و تخرب عندما يتم إدخالها و هذا القص أو الطوي المرافق لموانع التسرب المنزلقة ينبغي أن يتم التخلص منه .

المعيار السادس : سطوح موانع التسرب المحمية – العناصر غالباً توضع على النهاية أو تلف على طول حافة غطاء النهاية و ذلك عندما تعالج قبل التركيب إضافة إلى ذلك يمكن أن يتم دفع القضبان لتحريك العناصر من أوعية الضغط الموجودة ضمنها و هذه العمليات تتطلب سطوح موانع تسرب رقيقة لكي ترتد و تحمي من الضرر أو التلف المحتمل .

3- العمليات الخالية من زيوت التشحيم :

المعيار السابع : الأداء المتكامل بدون استعمال زيوت تشحيم الحلقات الدائرية – أحياناً يتم الاستغناء عن زيوت التشحيم و ذلك لهدف الحفاظ على نوعية النافذ خصوصاً في تطبيقات الماء النقي جداً (UPW) ، و بشكل مثالي فإن التركيب بدون زيوت تشحيم للحلقة الدائرية لن يتطلب أي جهد إضافي و لن يؤثر على أداء مانع التسرب .

4- التوافق الخلفي :

المعيار الثامن : التناسب الخلفي مع معايير التوصيلات و أدوات الربط – و ذلك للسماح باستخدام عناصر أغشية متعددة ضمن وعاء الضغط أو المزج بين العناصر المتنوعة ضمن الوعاء حيث سيبقى الربط متفق تماماً مع التوصيلات و أدوات ربط الوعاء .

5- التعليقات المباشرة :

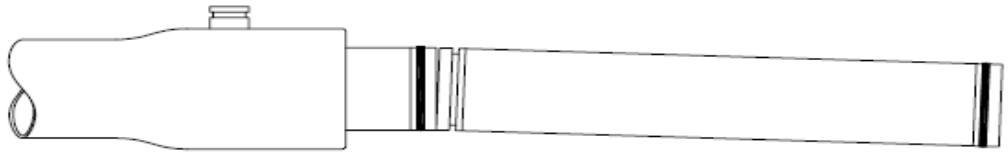
المعيار التاسع : المؤشرات المتعددة للتركيب الناجح – إن أدوات الربط المعاد تصميمها ستزودنا بالعديد من النظريات المقروءة و المسموعة و المحسوسة و التي ستشير إلى مواضع التسرب بين العناصر المتجاورة و التي من الممكن أن تنجز أثناء التركيب .

6- هبوط الضغط النافذ المخفض :

المعيار العاشر : التخلص من قيود التدفق – التوصيلات الداخلية و أدوات ربط الوعاء تشكل أكثر من 70% من هبوط ضغط الأنبوب النافذ في بعض الأنظمة و التخلص أو الحد من هذه القيود سيؤدي إلى ضغط خلفي أقل للنافذ ، إنقاص ضغط التغذية ، و تحسين كفاءة النظام .

7- التصميم الميكانيكي المتين :

المعيار الحادي عشر : القدرة على حمل عوارض مثبتة من طرف واحد – أثناء التركيب من الممكن للعنصر أن يدعم للحظة واحدة من خلال ربطه بعنصر ثاني مركب بشكل مسبق و ظاهر من الوعاء ، صلابة و متانة الجزء ستتجاوز بشكل أساسي الحمولات المتوقعة في مكان العارضة أو المسند و عامل الأمان 2 المستخدم في مكان الربط يجب أن يقاوم على الأقل ضعفي لحظة الانحناء المفروضة من قبل العنصر الرطب المساند كما هو واضح في الشكل التالي :



شكل (9) : دعم العنصر بشكل مؤقت بعارضة من طرف واحد أثناء التركيب

المعيار الثاني عشر : الاحتفاظ بغطاء النهاية كاملاً- الربط المعاد تصميمه سيحل المشكلة الناشئة من كون أن أغطية النهاية أو الأغطية الطرفية من الممكن أن تنفك عن العنصر .

المعيار الثالث عشر : تحمّل التركيب المكرر – تكرار التركيب من الممكن أن يحدث عندما تزال العناصر باستمرار من أجل تنظيفها و بالتصميم و التركيب الجيد و الاهتمام بالقطع فإنه لن يحدث أي خلل بأداء الربط .

المعيار الرابع عشر : سلامة مانع التسرب داخل وعاء الضغط المرتخي – الربط بين العناصر سوف لن يؤدي لحدوث تسربات كنتيجة عمليات الانحراف التي تعمل على رخي أو حرف وعاء الضغط و عمليات الانحناء هذه موضحة في الشكل التالي :

شكل (10) : حالة الانحناء التي تتعرض لها العناصر المزدوجة داخل وعاء الضغط المرتخي

المعيار الخامس عشر: قابلية الضغط العالي – إن ضغط ماء التغذية متطلب لكي يتم الكشف عن مواضع التسرب أو الارتشاح من موانع التسرب و الذي يمكن أن يتجاوز بشكل غير متوقع القيمة التي يمكن أن نصادفها أثناء الخدمة الفعلية بوساطة عامل أقل من 2 .

8- سهولة التحميل و التفريغ :

المعيار السادس عشر : عدم الزيادة في الوقت أو العمال و الموظفين أو الجهد – تحميل العنصر و تفريغه ينفذان بشكل قياسي من قبل فريق مؤلف من شخصين و الوقت اللازم لتنفيذ العمليات متفاوت على نحو واسع و الاعتماد على سهولة الوصول لأوعية الضغط هو اقتراح و القوة المتطلبة هي لزلق العناصر ، أصول التزييت ، و كذلك الاهتمام بأصول الإدخال للوصلات . و عند إجراء المقارنات تحت الظروف المتماثلة فإن أدوات الربط المصممة ثانية لن تتطلب أي وقت إضافي أو موظفين لهذه العمليات علاوة على ذلك فإن الجهد اللازم من قبل الفرد لربط عناصر الأغشية مع بعضها سيكون أقل في المرحلة التالية .

3- عرض أسباب التصميم :

1- موانع التسرب المضغوطة : المحورية أو الشعاعية القطرية ؟

ركزت عمليات التصميم أولاً على الطريقة المقصودة من موانع التسرب ، الهدف للاختيار في الوسط الصناعي المألوف لتشكيلات موانع التسرب هو أفضل خيار أو بديل من أجل ربط العناصر في سلسلة حيث عرفت ثلاثة تشكيلات من موانع التسرب كما هو مبين في الجدول 7 ، و الطريقة المنتشرة حالياً بشكل واسع تستخدم موانع التسرب الشعاعية المنزلقة و التي تبدو بأنها تفي بعدد قليل من معايير التصميم السبعة الأولى. و كما هو مبين في الجدول 7 فإن مانع التسرب القطري الشعاعي من الممكن تحسينه بالكبح الميكانيكي أو التثبيت لمنع حركة العناصر النسبية بعد التركيب و هذا يزيل الحت أثناء عمليات التشغيل الطويلة ، التشكيلة الثالثة هي مانع التسرب المحوري المثبت و الذي تبين أنه يستجيب لكل المعايير التصميمية السبعة التي ورد ذكرها .

جدول (7) تقييم الطرق المختلفة لموانع التسرب المستعملة في معايير التصميم

نوع مانع التسرب			معايير التصميم
محوري	شعاعي		
مثبت	مثبت	منزلق	
✓	✓	✓	السماح بتقليل عدد موانع التسرب
✓			التزويد بانضغاط مانع تسرب دقيق
✓	✓		منع الحت
✓			استعمال قوى تدفق دافعة
✓			منع القص أو الطوي
✓	✓	✓	السماح بحماية سطوح موانع التسرب
✓			تخفيض الاعتماد على زيوت التشحيم

موانع التسرب القليلة :

إن موانع التسرب المثبتة المحورية تحقق 50% تخفيض في عدد نقاط التسرب المحتملة و ذلك بالاعتماد على مانع تسرب وحيد بين العناصر بدلاً من موانع التسرب المستخدمة على التوازي .

ضغط مانع التسرب الدقيق :

من أجل مانع التسرب المحوري فإن عمق أخدود الحلقة الدائرية يمكن أن يستعمل لتأسيس كمية أو مقدار ضغط المانع مع درجة عالية من الدقة و الضبط ، و اختلاف جزء عن جزء لهذه الميزة من الممكن أن يكون أقل من 0.5mil (0.0005 inch أو 0.013 mm) عند تشكيل القالب ، ولم يتم الحصول على نفس الدقة وذلك لآلية القطر الداخلي أو الخارجي للأنبوب النافذ حتى عندما حسنت المقاومة من خلال آلة ثانوية ، و الأنبوب المحتمل للمقاومة و الكتيم و الذي يملك قطراً متغيراً بحوالي 5 mils من جزء لجزء سيسبب اختلافاً في انضغاط مانع التسرب الشعاعي بمقدار 2.5 mils ، وهذا العدد الصغير يفسر 10 % من الضغط الإسمي إذا كان مانع التسرب مضغوط بحوالي 25 mils كما قد يكون في حالة الحلقة الدائرية مع 100 mils .

التخلص من حت مانع التسرب :

إن الفائدة الرئيسية من موانع التسرب المضغوطة محورياً هي تجنب الحركة النسبية لسطوح منع التسريب وإزالة أغطية الحلقات الدائرية ، و كدليل على سوء استعمال التزييت نلاحظ هذه المشكلة في الشكل11 حيث يظهر الحلقة الدائرية المنزلقة المزيتة و يعود سبب فشل مانع التسرب إلى الخسارة التدريجية أو الفقد التدريجي في انضغاط الحلقة الدائرية .

شكل (11) : صورة تبين كساء الحلقة الدائرية من داخل أنبوب الماء الناتج و ذلك بسبب التزييت غير الكافي لمانع التسرب المنزلق

استعمال قوى التدفق الدافع :

في وعاء الضغط ذي القطر 8 inch و الذي يحوي على سبعة عناصر من الأغشية و بمعدل فشل قليل أو معدوم فإن حمولة الضغط القياسية ربما تكون حوالي 300 باوند (136 kg) بين العناصر في النهاية العلوية من الوعاء و 1200 باوند بين العناصر في النهاية السفلية منه و هذه الحمولة تنقل عبر الأغطية الطرفية (endcaps) .

التخلص من الطوي والقص :

موانع التسرب المحورية تتطلب عدم الحركة النسبية و التي قد تلوي أو تقص الحلقة الدائرية بتشكيل ثلم أثناء التركيب .

العمليات الخالية من زيوت التشحيم :

إن زيوت التشحيم عموماً ليست مطلوبة لموانع التسرب الساكنة المضغوطة محورياً في التطبيقات السائلة إلا إذا دعت الحاجة للتخفيف من تركيب الحلقة الدائرية في الأخدود أو لوقاية الحلقة من الظروف البيئية القاسية .

و بالاعتماد على التحليل الملخص فإن فكرة مانع التسرب المثبت المحوري تم اختيارها من أجل التطوير البديل ، و هذا الاختيار يتطلب إمعان النظر بالوسائل الميكانيكية و سبل الربط الميكانيكية لعناصر الأغشية الواحد تلو الآخر وذلك للحفاظ على عمل مانع التسرب كتيماً تجاه السوائل و الموائع .

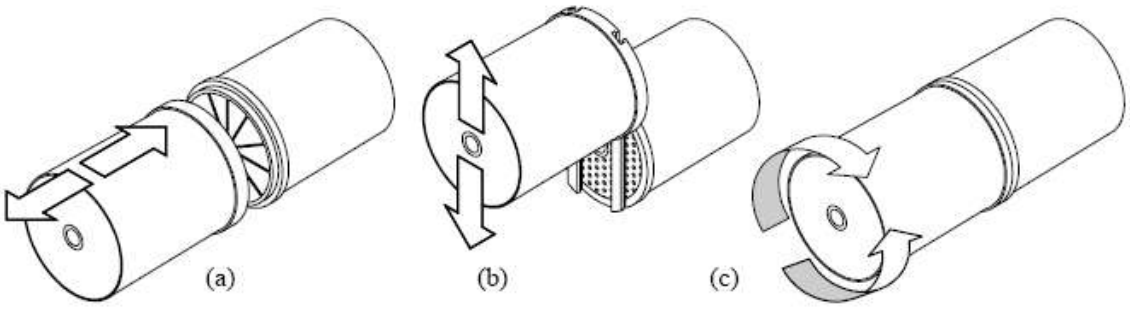
2- الربط الميكانيكي : المحوري ، الشعاعي ، أو التدويري ؟

إن مفاهيم الربط الموجودة صنفت إلى ثلاث مجموعات و ذلك بالاعتماد على اتجاه الحركة عند ضم العناصر مع بعضها البعض .

الربط المحوري يظهر في الشكل a -12 .

الربط الشعاعي أو القطري b يتضمن حركة منزلقة متعامدة مع محور الجزء المربوط .

الربط التدويري أو المدور c يطوق المجرى و التعشيقات الأخرى و ذلك بالاعتماد على مبدأ الدوران النسبي ، والمفاهيم المتضمنة أجزاء إضافية مثل شد الزمر و التثبيت يمكن تفاديها في مثل هذه الحالة . لذلك قادت هذه وغيرها من المناقشات إلى اختيار الاتصال التدويري بالتمازج مع مانع التسرب المحوري كقاعدة لتحسين عمليات الربط و التوصيل .



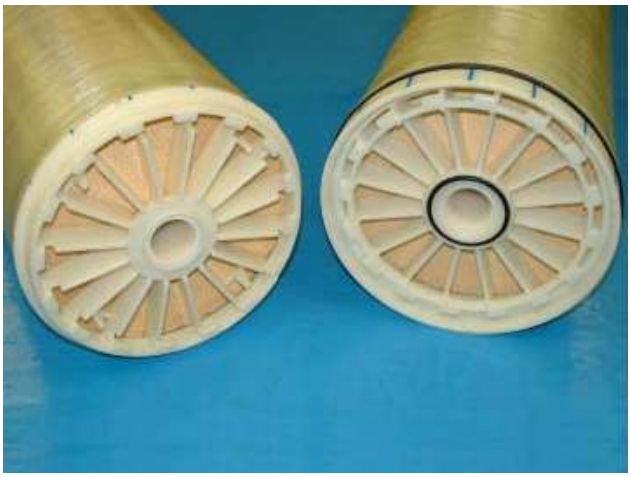
شكل (12) : الأمثلة النموذجية لطرق الربط الميكانيكي

a الربط المحوري ، b الربط الشعاعي أو القطري ، c الربط التدويري

3- تشكيلات التصميم للغطاء الطرفي أو غطاء النهاية المتشابك :

النماذج الأولية لتحسين التصميم موضحة في الشكل 13 . إن مأوى الغطاء الطرفي السفلي الأصغر يكون داخل الغطاء الطرفي العلوي الأكبر و الذي يحمل حلقة دائرية مضغوطة بشكل محوري لمنع التسرب بين النافذ و المحلول المركز و هذه الترتيبات موضحة بالشكل رقم14 . عروات التشابك والتعشيق حول السطح الخارجي لكل غطاء طرفي تزود برباط ميكانيكي مثبت بين العناصر و ضغط الحلقة الدائرية عند التركيب يحافظ على كتامة مانع التسرب . و قالب الحقن الأولي لأغطية النهايات يكون من البلاستيك

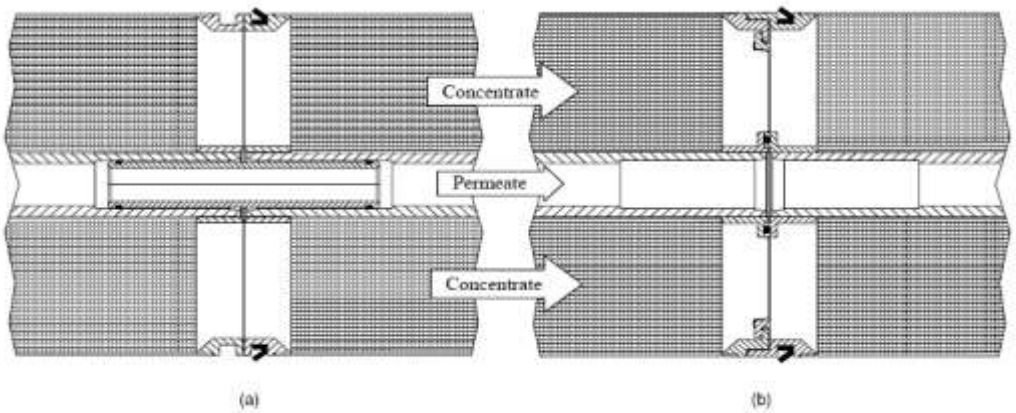
(ABS) و هذه المادة واسعة الانتشار لهذه الأجزاء . و بما أن مانع التسرب الحلقي الدائري يستقر على الغطاء الطرفي فإن ربط ثقب التسرب بين أنبوب النافذ أو قناة النافذ و الغطاء الطرفي يكون ضرورياً و هذه العمليات تتضمن مواد لاصقة ، مذيبات ، ووسائل متنوعة للحام والتي يمكن توفيرها لخلق عملية الاتصال هذه و يتم اختبار خاص من أجل كل غطاء طرفي و أنبوب للربط بينهما في عزلة عن باقي العناصر و التي يتم عملها خارجاً بعد الربط للتأكد من عملها الكامل بدون أية مشاكل .



شكل (13) : أغطية طرفية شبكية مع مانع تسرب حلقي دائري مضغوط محورياً

سطوح منع التسرب المحمية :

السطوح الحرجة لمانع التسرب المحوري يتم تثبيتها بعيداً عن أجزاء النهاية الطرفية و ذلك بعمل اتصال أولي مع الأرضية ، قضبان الدفع ، أدوات ، وأجسام أخرى مجتمعة مع الحاجة لاحتفاظ الحلقة الدائرية على تحرير العناصر و هذا الإجراء يتطلب نهاية طرفية مختلفة للعنصر ، واحدة مع أخدود لحجز الحلقة الدائرية و أخرى مع سطح منبسط للتعارض مع الأخدود ، و الاستعمال المتباين للأغطية الطرفية ليس جديداً طالما أن تشكيلات العناصر الحالية تعتمد على مانع تسرب للمحلول المالح و الذي يركب على نهاية أو طرف واحد من العنصر .



شكل (14) : مقارنة بين المقاطع العرضية من خلال ارتباط السطوح البينية بين عنصرين

a – التوصيلة المنزلقة b– النهايات الطرفية المعشقة أو المتشابكة

التوافق الخلفي :

إن التطابق بين الأدوات متوفر حالياً ، الثقب الداخلي الأملس مستقر في كل نهاية لقناة أو أنبوب النافذ وهو لا يتغير و هو يسمح بإدخال الوصلات المنزلقة و أدوات الربط للأوعية ، الطول الصافي المتبقي للعناصر – عندما تكون مرتبطة – حوالي 40 inch أي (101.6 cm) .

تعليقات التركيب الفورية :

النهايات المتشابكة تعتمد على أربعة مراقبات (telescoping) منحرفة بشكل قطري على الأغطية الطرفية السفلية و ذلك لتزودنا بمعلومات مسموعة و مرئية ويتم تحريكها من تحت إلى فوق و على النتوءات الموجودة على الأغطية الطرفية العلوية و تتحرك هذه بحركات خاطفة سريعة عندما يتم قفل و إغلاق العناصر تماماً مع بعضها و لأن انحراف المراقب لا يحمل أي تصرفات خاطئة فإنه ليس هناك أي مشكلة يمكن أن تنتج عن إغلاق الجهاز نتيجة تحرر العناصر أثناء التشغيل . و الرصف التدويري المحدد على إطار كل غطاء طرفي يزودنا بإثباتات نظرية لعملية الاتصال بين العناصر .

4- المختبر و تقييم الاختبارات الحقلية :

هدف هذا الاختبار هو معرفة الفائدة من الأغطية الطرفية المتشابكة وذلك بإجراء اختبارات حقلية و اختبار نتائجها من أجل العديد من الأمور منها التالية :

- **تحويل ماء البحر إلى ماء نقي صالح للشرب .**
- **معالجة المياه السطحية للإمداد الصناعي .**
- **إنتاج الماء النقي جداً من أجل صناعات أنصاف النواقل .**

و أثبتت هذه الاختبارات أن عمليات التشغيل بدون مشاكل تم تحقيقها في الحالات الخمس و هذه النتائج لثلاثة من المحاكمات ستعرض فيما يلي :

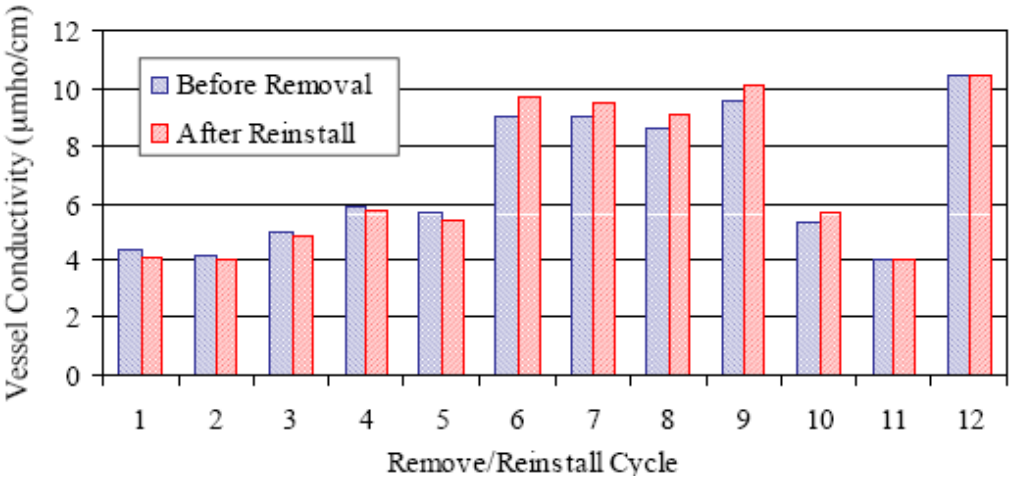
سلامة مانع التسرب الطويل الأمد :

تم تركيب ستة عناصر متشابكة إلى وحدة تناضح في تكساس و هذه الوحدة تنتج ماء عالي النوعية للإمداد الصناعي من المياه السطحية ذات التلوث العالي هذه الوحدة تدار من قبل شركة Veolia للبيئة ، حيث وضعت العناصر في الخدمة في آذار 2002 و كانت تعمل بضغط من المرحلة الأولى إلى الثانية من 130 إلى 240 psi (9 bar – 1.65) و ذلك حسب درجة حرارة ماء التغذية و تزال العناصر من 3 إلى 4 مرات في السنة من أجل التنظيف خارج الموقع و نتيجة المقارنة المستمرة بين توصيلات أوعية الماء النافذ للعناصر المتشابكة و 6 عناصر تحكم لم يظهر أية تسربات في أي مجموعة و استمر تشغيل العناصر بنجاح .

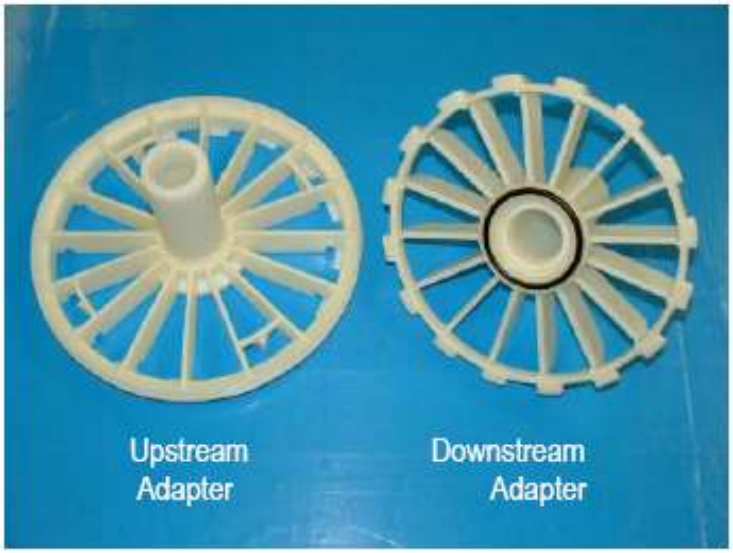
12 عنصر متشابك ركبت إلى نظام التناضح العكسي لمعالجة مياه البحر من أجل الاستعمالات البلدية في سان بيدرو ، بيليز ، في نيسان 2002 النظام يشغل من قبل شركة Consolidated Water المحدودة من جزر Cayman و كانت العناصر توضع في جانبي الأوعية الواحد تلو الآخر و خلال المرحلة الأولى عمل النظام بضغط تغذية حوالي 6 bar و تم إغلاق النظام مرتين في اليوم كما هو مطلوب و بالفحص الدوري للأوعية تبين أنه ليس هناك أية تسربات أو ارتشاحات .

التركيب الثالث يتضمن 12 عناصر من أغشية معالجة مياه البحر المتشابكة و التي أكملت في آذار 2003 في وحدة INALSA على جزيرة Lanzarote, Spain ، الأوعية وضعت في المرحلة الأولى و الثانية

مع ضغط تغذية 63 bar و بعد يومين من الإقلاع المرحلة الأولى أعطت استعادة 34% بدرجة حرارة 21 مئوية لماء التغذية الذي يحوي 38000 mg / l من الأملاح المنحلة الذائبة TDS العناصر الستة في السلسلة عملت بتدفق حوالي 12 gfd أي (20 lmh) و أنتجت ماء ذو ناقلية 180 µmho / cm أي (95 mg/l TDS) و الأداء الثابت بهذا المستوى تطلّب اختبار قياسي لرفض الأملاح بمعدل 99.85% و منع التسرب المثالي بين العناصر .



مخطط (4): توصيلات أوعية الماء النافذ مباشرة قبل وبعد إزالة و إعادة تركيب عناصر الأغشية النموذجية المتشابكة



شكل (15) : وصلات الأوعية المشبكية

هبوط الضغط النافذ المخفض :

التخلص من قيود التدفق :

إن التوصيلات الداخلية المنزلقة مثل المعروضة في الشكل 15 تتصل مع وصلات أوعية متماثلة وهي تفرض ضغط نافذ أقل ، و المحاولات الحالية التي تستخدم تعمل على تقدير الخسائر التي يمكن أن تنتج بالرغم من أن القياسات الهندسية التي تم عملها بينت أنها كانت مفيدة للحصول على نتائج تقريبية .

من أجل إعدادات المخبر فإن الأوعية الفعلية استعملت أغطية متعددة من الأنابيب النافذة الموصولة على شكل سلسلة ، و التدفق الداخل لكل 40 بوصة من طول الأنبوب عن طريق الفتحات الجانبية تم التحكم به كتقليد لمساهمة العنصر في العملية ، و قد تم قياس الضغط في النهاية السفلية أو النهائية لكل أنبوب و أيضاً على جانب مخرج وصلة الوعاء حيث تم استعمال مقياس ضغط رقمي ، الأنابيب الأولى الثلاثة في هذه المجموعة للعناصر مبينة في الشكل (16) .

شكل (16) : جهاز قياس هبوط الضغط النافذ في أنابيب الماء المنتج و الوصلات

وقد قيست هبوطات الضغط بمعدلات تدفق مختلفة باستعمال وصلتين منزلقتين مختلفتين ، واحدة مصممة للضغط العالي وذات قطر داخلي أصغر و كانت مشابهة لأغطية النهاية المتشابكة من أجل أي وصلة منزلقة من الممكن أن يتم الاستغناء عنها . و بارامترات هذه التشكيلة موضحة في الجدول التالي :

جدول (8) القطر الداخلي لمكونات تقييم هبوط الضغط النافذ

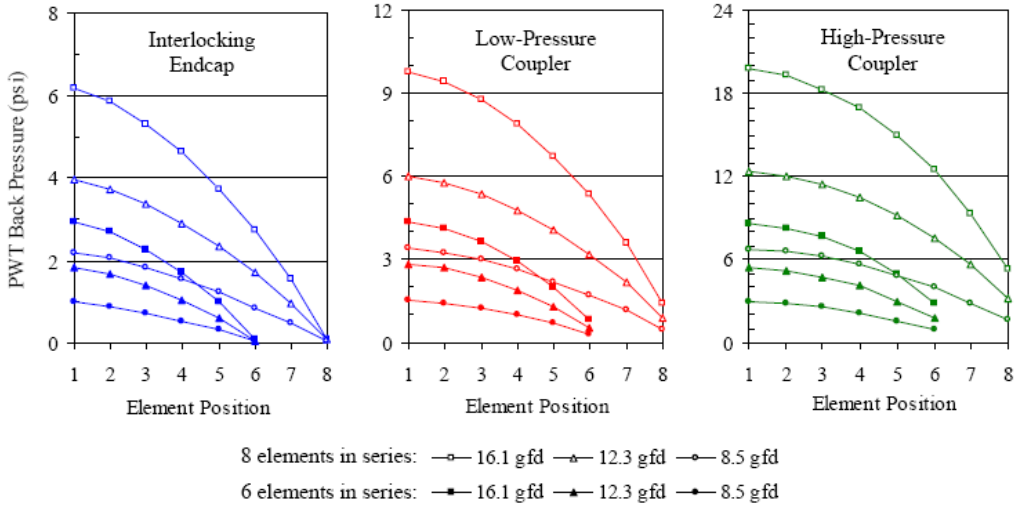
الأداة	القطر الداخلي Inch , mm
أنبوب الماء المنتج	1.00 (25.4)
توصيلة الضغط المنخفض	0.81 (20.6)
توصيلة الضغط العالي	0.69 (17.5)

و تبين أن مساهمة العناصر الفعلية في التدفق نقص من عنصر للآخر في الاتجاه النهائي و بهذه الطريقة فإن مخرج النافذ تم وضعه مقابل نهاية التغذية للوعاء و الذي استخدم للمحاكاة أو للتجربة و معدل الجريان الوسطي للوعاء خلال الجريان المعطى الذي كان واضحاً في نهاية التدفق الوسطي بالغالون لكل قدم مربع في اليوم gfd يفرض منطقة غشاء فعالة حوالي 380 قدم مربع (35 m2) و النتائج التجريبية معطاة في

المخطط 5. حيث تسمح المخططات بحرف هبوطات الضغط للجريانات المتوسطة ، أقطار التوصيلات الوسطية ، و من 6 إلى 8 عناصر في السلسلة و يلاحظ أن مساهمة هبوط الضغط في أداة ربط الوعاء النهائية (أي في نهاية المجرى) بضغط خلفي لا يساوي الصفر في مخرج العنصر الأخير ، الأقطار الداخلية للوصلات كانت متشابهة مع تلك التوصيلات المطابقة الموصوفة في الجدول8 .

التصميم البديل للوصلات الذي استعمل في الأغطية الطرفية المتشابكة واضح من الشكل15 السابق .

القطر الداخلي **1 inch** للأنبوب النافذ حوفظ عليه من خلال أداة الربط و التي سمحت بانتقال أفضل للماء النافذ إلى نقطة الخروج لشبكة الأنابيب الخارجية . و هبوط الضغط للوصلات المتشابكة كان بشكل عام منخفض جداً ليتم قياسه بدقة من خلال أجهزة القياس و هذه النتائج المخبرية التي تم الحصول عليها تم تعزيزها من خلال بيانات لعمليات التشغيل الفعلية و التي تم جمعها في حقل الاختبار مع مقياس للضغط و مسبار للنافذ .

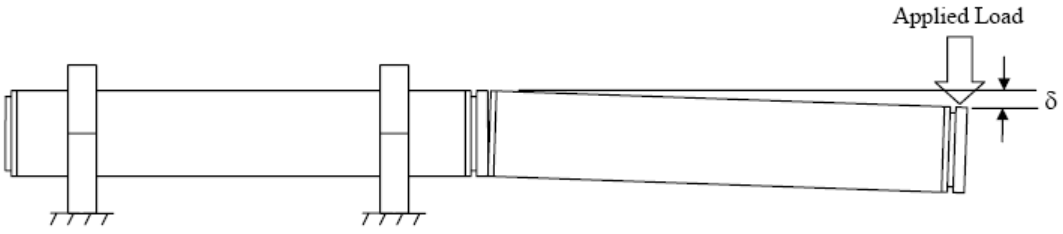


مخطط (5) الضغط الخلفي النافذ عبر عناصر الأغشية ، الضغوطات الخلفية تفترض 380 قدم مربع من العناصر مع وصف للجريانات من خلال التدفقات الوسطية الملاحظة في أنبوب الماء النافذ ذو القطر الداخلي**1 inch**

التصميم الميكانيكي المتين :

قابلية التحميل على عوارض :

ثلاثة أزواج من العناصر المتشابكة تم اختبارها بنمط العوارض كما هو موضح في الشكل17 العنصر المثبت تم تدعيمه بمسندين بعرض **3 inch** من بطانات دعم استقرت على بعد **6 inch** من أطراف العنصر. الإزاحة في طرف العنصر الثاني § قيست لكل 10 باوند زيادة في الحمولة المطبقة .

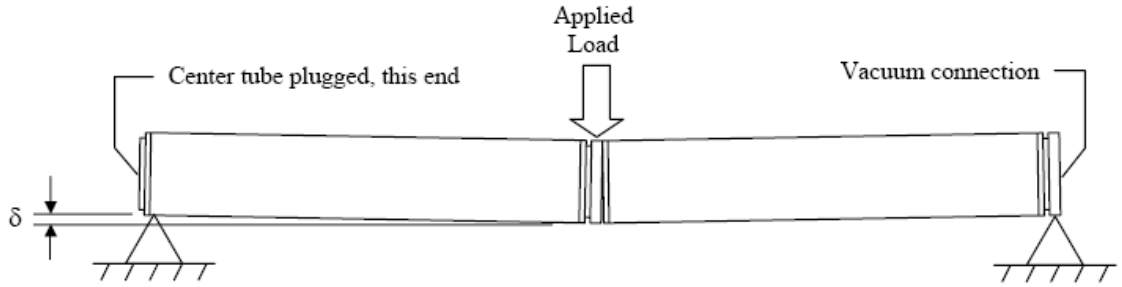


شكل (17) : اختبار العوارض

من أجل كل زوج من العناصر فقد توقف الاختبار بعد فترة قليلة نتيجة تمزق الألياف الزجاجية على أحد العناصر عند نقطة اتصاله بالغطاء الطرفي و الانحراف الوسطي لهذا الفشل كان **1.26 inch** و كانت الحمولة الوسطية **43** باوند و لأقل من ثلاثة كانت **39** باوند و حركة الانحناء تطابقت مع الحمولة الوسطية التي كانت **150 ft / lb** و التي تم اختبارها 3 مرات بوساطة عنصر رطب بوزن **38** باوند و هذا يتجاوز عامل المتانة الأساسي المحدد من أجل الحماية و الذي قيمته 2 .

سلامة مانع التسرب داخل الوعاء الملوي :

إن سلامة مانع التسرب الداخلي من أجل العناصر ذات الأقطار من **8** و حتى **40** انش يكون بتدعيم النهايات و تطبيق حمولة نحو الأسفل عند نقطة الاتصال كما هو موضح في الشكل18 .



شكل (18) : إعداد الاختبار من أجل اختبار التفريغ بالانحناء

حيث تم تطبيق الاختبار من أجل فراغ قدره **15 inch** و بحقن مادة الزئبق إلى الأنابيب النافذةو تمت مراقبة بداية التسرب بشكل مترافق مع ازدياد الحمولة ، والأنابيب الخاصة المدمجة للعناصر كانت تفتقر إلى الفتحات الجانبية للتدفق النافذ و هذا سمح بالكشف الدقيق عن التسرب في موقع اتصال الحلقات الدائرية المتشابكة . الانحراف § للعناصر الرطبة و بدون تطبيق حمولة كان **0.13 inch** و الحمولة الأعظمية المطبقة كانت **100** باوند من أجل انحراف قدره **0.44 inch** و لم يتم الكشف عن أي تسرب للزئبق من الفراغ الموجود .

قابلية الضغط العالي :

ثلاثة أزواج من الأغطية الطرفية المتشابكة تم ضغطها إلى حد الضرر داخل الجهاز الموضح في الشكل19 و من أجل تهيئة العينات للاختبار تم لحم الأطوال القصيرة للأنابيب النافذة لكل غطاء طرفي و تم تحقيق منع التسرب للنهايات باستخدام الإيبوكسي لخلق تجويف حماية أثناء الوصل وكل زمرة تم وضعها في وعاء و تم تطويفها بالماء و ضغطها و تمت زيادة الضغط بشكل تدريجي للوصول إلى نقطة الضرر أو الفشل .

شكل (19) : حجرة الضغط العالي لاختبار الأغطية الطرفية المتشابكة أو المشبكية

العينات المحضرة تعرضت للضرر حيث انفجرت من الداخل من أجل أنابيب نافذة بضغوط (2650–2950–2800) **psi** على التوالي . في كل هذه الحالات الثلاثة كان الفشل يحدث ضمن المنطقة المجوفة المضادة للأنبوب و لم تكن هناك إشارات لانبثاق أو نتوء الحلقة الدائرية و كما هو واضح في الشكل (20) فإن كسر الأنبوب قريب من منطقة اللحام لكن اتصال اللحام بين الغطاء الطرفي و الأنبوب بقي كما هو .

شكل (20) : الفشل الناتج عن الضغط العالي لأنبوب الماء المنتج في المنطقة المجاورة للحام مع الغطاء الطرفي

التفريغ و التحميل السهل :

كشفت الاختبارات الحقلية اختلافات هامة في الوقت المتطلب لإيصال و دفع العناصر المتشابكة إلى الوعاء و بالاعتماد على التطبيقات الموضعية فقد فرضت أكثر الحالات الحاجة إلى النقل بأقل من 3 دقائق لكل وعاء يستوعب 6 عناصر ، الفترة الزمنية الأطول بكثير هي من 15 إلى 20 دقيقة لفصل أنابيب النافذ ،

فتح الوعاء ، إغلاق الأوعية ، و إعادة ربط الأنابيب ، التفريغ بشكل خاص كان فعالاً لأن العناصر المتشابكة تم سحبها إلى النهاية الأخيرة للوعاء أثناء الإزالة وهذا سمح بعدم الحاجة لاستخدام القضبان من أجل الدفع التي كثيراً ما تستخدم ، و قد تم تركيب العناصر المتشابكة من قبل فريق مؤلف من شخصين فقط.

5- الاستنتاجات :

إن تقنيات منع التسرب المصممة بشكل جيد عديدة و إنجاز عملية منع التسرب بشكل أولي هي مسألة هامة جداً للتغلب على المشاكل التي يمكن أن تحدث في وحدات التناضح العكسي و ينبغي دائماً اختيار مانع التسرب المناسب و كذلك طريقة اللحام المناسبة حسب التطبيقات المستعملة .

مانع التسرب المضغوط محورياً مع الربط التدويري يقابل جميع المعايير التي سبق ذكرها بينما مانع التسرب الشعاعي المنزلق التقليدي ناقص أو يساهم في تحقيق جزء صغير فقط من تلك المعايير .

يجب دائماً عمل الاختبارات الحقلية الضرورية عند استخدام نموذج منع التسرب بالاتصال الميكانيكي التدويري .

تحقيق قابلية الرفض العالية لأغشية التناضح العكسي المتقدمة تتطلب تخصيص نموذجي للمكونات لمعرفة أيها الأفضل ، و مانع التسرب المحوري ذو الاتصال التدويري الميكانيكي هو الحل الأفضل لربط عناصر الأغشية .

1-6-1-3- تدفق الغشاء :

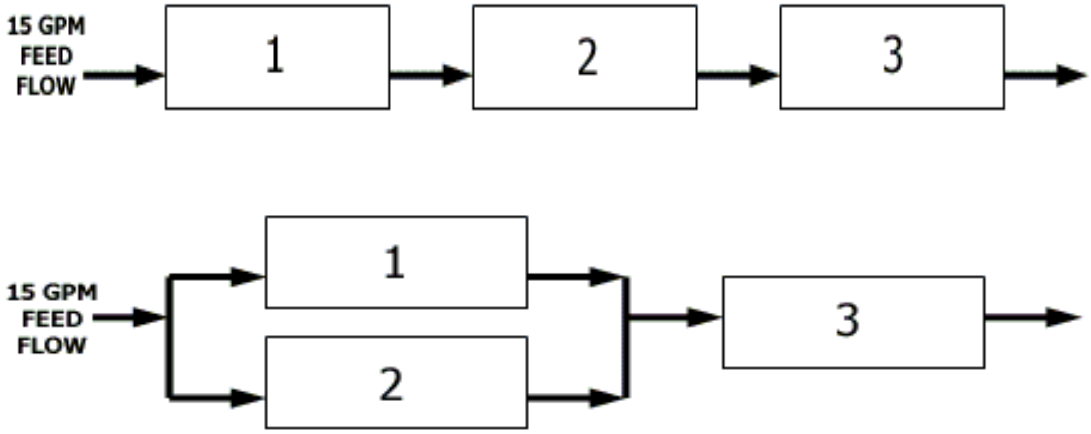
كل الأغشية لها تقييد واحد و مشترك و هي من الممكن أن تنتج فقط تدفق أقصى و أعظمي من أجل معدلات تدفق نافذة محددة لإنتاج الماء، و هذه الحدود المعطاة يتم التحكم بها من خلال نوعية ماء التغذية و ليس من خلال تركيبة الغشاء فعلى سبيل المثال : معدل التدفق النافذ الأعظمي لأغلب أنواع تطبيقات مياه الصنابير حوالي 25 غالون لكل قدم كربع في اليوم و عندما تتعرض الأغشية لأعلى من هذه القيمة فإنها ستتلف بالطبع مهما كان نوع الغشاء أو أسلوب صنعه و مواده .

1-6-1-4- تدفق التغذية :

تدفق التغذية الأصغري ينبغي أن يكون نفسه في كل أجزاء الغشاء و سرعة التغذية تساعد على تخفيض تشكل المواد المركزة أو المستقرة على سطح الأغشية و في حال استعمال عدة أغشية فإن ترتيب هذه الأغشية بالشكل الصحيح و الدقيق و المحسوب مسبقاً له أهمية كبيرة في الحفاظ على سرع تدفق صحيحة و هذا الترتيب يجب أن ينتم تدقيقه ضد العوامل الأخرى مثل كلف الضخ الأعظمية ، تدفق إعادة التدوير ... و يميل الغشاء للتلف و الفساد من ماء التغذية عندما تكون التدفقات من خلال الأغشية مختلفة تماماً و الناتجة عن الماء الراكد عند إغلاق النظام حيث من الممكن للمواد الصلبة المعلقة أن تستقر على سطح الأغشية أثناء فترات الركود للنظام و من ناحية أخرى يمكن أن يحدث تبلور للسيليكات الموجودة بالمياه الراكدة أثناء فترات الراحة و بالتالي للتخلص من هذه المشاكل يمكن تدوير تدفقات ملائمة و صحيحة للنظام .

ملاحظة : تدفق التغذية العالي يساعد على تخفيض فشل الغشاء .

مثال :



شكل (21) إمكانية تخفيض الفشل بزيادة تدفق التغذية

1-6-2- مشاكل أخرى هامة و نصائح تقنية :

- الاستعادة :

في الأنظمة السكنية و من أجل مياه الصنابير يجب المحافظة على قيمة استعادة لكل غشاء بين (15% – 10) و تشغيل النظام بأعلى من هذه النسبة سيؤدي إلى تلف سطح الأغشية مهما كان نوع الأغشية .

- تحليل الماء :

ينبغي تحليل المياه بشكل جيد و دقيق لمعرفة محتواها و المشاكل التي يمكن أن تنتج عنها بسبب المواد القابلة للذوبان و التي ينبغي فصلها بنجاح من نظام التناضح العكسي .

- الحد من التدفقات :

إن الحد من التدفقات ذات النوعية الرديئة من الممكن أن يؤدي إلى استعادات عالية للماء العذب المنتج من الأنظمة و الذي يمكن أن يؤدي إلى تقصير عمر الغشاء .

- فلاتر التصفية :

فلاتر الكربون المنشط و المرسبات المستعملة قبل نظام التناضح العكسي يجب ألا تعزل من الألياف أو تطلق حبيبات الكربون لأن ذلك يؤدي لفشل عملها .

- صمامات التحكم :

أي عيب في صمامات التحكم يمكن أن تسبب ضغط خلفي على الجانب النافذ من عنصر الغشاء و الذي بدوره يؤدي لتخريب الغشاء و إتلافه .

- استقطاب التركيز:

الأسباب المحتملة :

١ -زيادة في الانتشار .

٢ -الإشباع / الانجرافات المحتملة .

٣ -النقص في الضغط الصافي .

التآكل و معايير اختيار مواد التركيب :

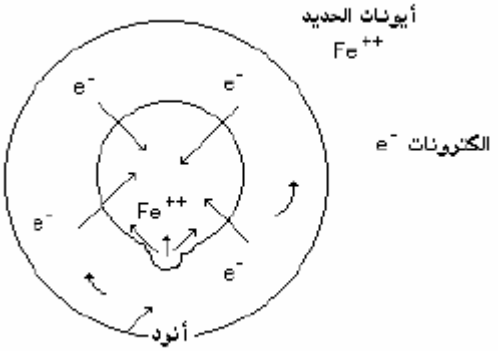
من حيث التآكل تسود بيئة قاسية في وحدات إزالة الأملاح بالتناضح العكسي لهذا السبب فإن مواد التركيب للوحدات يجب أن تملك درجات معينة من المقاومة لهذا التآكل ، و هذه حقيقة كلاً من الأجزاء الخارجية المعرضة للرطوبة و الوسط الملحي و كذلك للترسبات بالإضافة للأجزاء الداخلية للنظام المعرضة لأنواع مختلفة من المياه المعالجة .

سبب التآكل :

التآكل هو انهيار و ضعف المواد – خاصة المعدنية – نتيجة تفاعلها مع الجو المحيط بها كيميائياً ، و الصدأ المعروف لنا جميعاً هو نوع من أنواع التآكل للمواد الحديدية– حيث تتكون مركبات أكاسيد الحديدوز – و يتسبب التآكل في انهيار و ضعف المواد نتيجة تغيير حالة المواد و تحولها

إلى مركبات ضعيفة كالأكاسيد ، و تتكون فجوات و شروخ في المعدن . و قد يسبب التآكل انفجار الأنابيب و الأوعية ذات الضغط المرتفع ، أو يسبب تسرب عناصر غير مرغوب فيها (مثل الماء المالح إلى الماء العذب فيقلل من جودته و صلاحيته) . مما يؤدي إلى أعطال قد تسبب التوقف المتكرر للوحدات ومن ثم نقص الإنتاج .

و السبب العام للتآكل هو أن المواد المستخدمة في تصنيع وحدات التناضح العكسي عادة ما تكون غير متجانسة (سواء تواجد أكثر من مادة لاصقة معاً أو أن المادة الواحدة يكون بها شوائب من عناصر أخرى) و عند وضعها في محلول موصل للكهرباء (كالماء المالح) يتولد أقطاب موجبة و سالبة بين المادة و المادة المجاورة لها أو مع نفسها (مع الشوائب بها) و يتسبب ذلك في تكون دوائر كهربائية رقيقة و انتقال أيونات من المادة الضعيفة كيميائياً إلى المحلول مما يضعف المادة و يسبب التآكل كما في الشكل 22 .



شكل (22) تآكل الانابي

إن وجود غازات ذائبة بالماء كالأكسجين و ثاني أوكسيد الكربون يزيد من معدلات التآكل .

طرق علاج التآكل :

تتم عملية علاج التآكل عامة بعدة طرق منها :

١ –إزالة مسببات التآكل في الماء مثل الغازات الذائبة كالأكسجين و ثاني أوكسيد الكربون ، و ينم ذلك من خلال عملية طرد الغازات للماء الداخل و إضافة مواد ماصة للأكسجين الذائب مثل بيو سلفات الصوديوم .

٢ -الحماية الكاثودية : و فيها توضع مواد غير ثمينة التكاليف لتعمل كأقطاب يتم تأكلها من خلال الدائرة الكهربائية و من ثم التضحية بها و المحافظة على المادة الأساسية لوحدة التناضح العكسي ، كذلك يمكن عمل دائرة كهربائية معاكسة لمنع أو (إضعاف) تأثير الدائرة الأساسية و المحافظة على كلا المادتين .

٣ -الدهان أو التغطية بطبقة حماية (مثل الصلب الذي لا يصدأ ، أو سبائك النحاس) ، و أحياناً بطبقة من المطاط أو البلاستيك أو الخرسانة أو الفيبر غلاس (في حدود درجات الحرارة التي تتحملها هذه المواد) .

٤ -استخدام مثبطات التآكل : و يمكن التحكم في التآكل إما بالاختيار الأمثل للمعادن المستخدمة أو التدخل في الوسط و البيئة التي تتعرض لها هذه المواد ، فمنع أخذ الاعتبارات الاقتصادية (من حيث تكاليف المواد) فيجب عندها اختيار المواد المقاومة للتآكل تحت ظروف التشغيل المختلفة التي يمكن أن تتعرض لها هذه المواد و طرق تصنيعها و الاجهادات المعرضة لها لجعلها أكثر مقاومة . كما يؤخذ بعين الاعتبار حسن اختيار و تجنب الازدواجيات المعدنية التي تكون دوائر كهربائية شديدة التأثير فاختيار مواد مقاومة للتآكل (ولو كانت مرتفعة الثمن) قد يكون أفضل من استخدام مواد رخيصة الثمن و تتآكل و تسبب توقف مستمر للوحدة (للصيانة و معالجة الضرر) فمثلاً تستخدم مواد مقاومة للتآكل تحت كافة الظروف مثل الستانلس ستيل من أنواع محددة حسب الموقع و كذلك سبائك النحاس و النيكل (30 – 70) أو (10 – 90) أو تستخدم مادة التيتانيوم العالي المقاومة للتآكل و الجدول (9) يوضح تدرج المواد من حيث مقاومتها للتآكل مع مياه البحر

جدول (9) ترتيب بعض المواد من حيث مقاومتها للتآكل

أعلى مقاومة للتآكل	المادة
	التيتانيوم
	ستانلس ستيل نوع 316
	سبيكة المونيل
	سبيكة نحاس/نيكل 70 / 30 (70 نحاس ، 30 نيكل ، 0.5 حديد)
	سبيكة نحاس/نيكل 90 /10 (90 نحاس ، 10 نيكل ، 0.8 حديد)
	النحاس الأصفر – ألمنيوم
	برونز / ألمنيوم 10 %
	برونز
	النحاس الأصفر الأميرالي
	الحديد الزهر
أدنى مقاومة للتآكل	الصلب العادي

و مثبطات التآكل هي مواد كيماوية (عضوية أو غير عضوية) تضاف بنسب ضئيلة جداً لإعاقة التفاعلات أو تثبيطها ومن هذه المثبطات مركبات الفوسفات ، الكبريتات ، الكرومات و السيليكات و غيرها .
كما يؤدي وجود الكلور الزائد في مياه التغذية إلى زيادة معدلات التآكل ، وزيادة درجات الحرارة بصورة ملحوظة يزيد أيضاً من معدلات التآكل ، و بانخفاض قيمة PH أيضاً لذا يجب المحافظة على الرقم الهيدروجيني مابين 7 و 8 .

- التفصيل الدقيق للتحكم بالتآكل في وحدات التناضح العكسي :

يمكن السيطرة أو التحكم بالتآكل الخارجي عن طريق استعمال الطلاء السطحي (دهانات ، غلفنة ...) على المواد التي من الممكن أن تصدأ (الفولاذ الطري ، حديد الصب ، ..) و كذلك بعمل برنامج صيانة يتضمن عمليات دفع المياه أسفل النظام بشكل دوري و التنظيف ، إصلاح مواضع التسربات ..... إلخ .
اختيار مواد التركيب للنظام المتعرض للرطوبة من الداخل مهمة معقدة أكثر من السابقة كون أن اختيار هذه المواد يجب أن يكون متوافقاً مع الضغوط ، الاهتزازات ، درجات الحرارة ... الناشئة في نظام التناضح العكسي ، و بالإضافة إلى هذه العوامل السابقة يجب أن تكون هذه المواد قادرة على مقاومة التآكل المحتمل الذي يمكن أن يهاجم الأجزاء الداخلية بسبب محتوى الكلور العالي لماء التغذية و التيار المركز و كذلك الماء المنتج العدواني و المواد الكيميائية المستعملة في التطبيقات مثل تنظيف الأغشية .
استعمال المواد غير المعدنية مثل البلاستيك ، الألياف الزجاجية ، ... واسع الانتشار و يستعمل كثيراً لمنع التآكل و هجوم الكيماويات و ذلك في الضغوط المنخفضة (145 psi / 10 bar >) و ذلك في أجزاء نظام التناضح العكسي في العناصر و أوعية الضغط . أما بالنسبة للضغوط العالية (1000 psi – 145) أي (70 bar – 10) فإنه من الضروري هنا استعمال المعادن في أجزاء مثل المضخات ، الأنابيب ، و الصمامات . سبائك الخلائط المنخفضة و الكربون لا تملك مقاومة كافية ضد التآكل ، و التآكل الذي يصيب هذه المواد من الممكن أن يفسد و يلوث الأغشية .
أنابيب الشبكة : أنابيب شبكة مياه التغذية ليست عادة بديلاً واقعياً بسبب استعمال الأنابيب المضغوطة في أغلب الأحيان في التصميم و كذلك بسبب الحاجة الكبيرة لكميات كبيرة من الوصلات . البرونز من الممكن أن يكون بديلاً من أجل المضخات لكن خطر التآكل و الهجمات الكيميائية يجب أن يتم أخذها بعين الحسبان ، المادة الأكثر شيوعاً و استخداماً للأجزاء المعرضة للضغوط العالية هي الستانلس ستيل stainless steel .
إن الفائدة الأساسية من الحديد المقاوم للصدأ هي مقاومته العالية جداً للتآكل العام و تآكل التعرية و هو يهاجم نادراً من قبل التآكل الكهربائي ، لكنه من الممكن أن يؤثر على الهجوم على المعادن الأخرى الموجودة على شكل زوج (نحاس – نحاس أصفر ...) ، إن التآكل الناتج عن التصدع و التشقق للستانلس ستيل في مواضع وجود الكلور نادراً ما يحدث تحت درجة حرارة (70 C) لذا ليست هناك حاجة لتضمين هذه المادة في وحدات إزالة الأملاح بالتناضح العكسي .
لسوء الحظ بعض أنواع الحديد المقاوم للصدأ عرضة لتآكل التشقق و التجويف في المياه و اللذان يمكن أن يحدثا في وحدات التناضح العكسي ، التجويف يعني تمركز الهجمات و الذي يؤدي إلى ثقب المعدن و يحدث هذا التجويف عندما تتشكل طبقات رقيقة من كسارة أوكسيد الكروم و الكلوريدات و التي يمكن أن تهاجم المعدن المكشوف .

تآكل التشقق يكون مرافقاً للتجويف و ذلك عن طريق حجوم صغيرة من الماء الراكد المسببة من قبل الثقوب ، سطوح الحشو ، و الشقوق الضيقة أسفل البراغي .... ،. لتجنب التآكل بالتشقق و التجويف في وحدات إزالة الأملاح بالتناضح العكسي يمكن إعطاء التوصيات التالية :

1- وحدات التناضح العكسي مع TDS للتيار المركز أقل من 7000 ppm :

الستانلس ستيل من نوع (AISI 316 L) مع أقل من 0.03% كربون هو الحد الأدنى من أجل نظام الأنابيب لأن الستانلس الستيل ذو الدرجة الأقل من تلك مع محتوى عالي من الكربون سيعاني من الحفر في مناطق اللحام (تآكل حبيبي intergranular corrosion) ، أم من أجل الأجزاء غير الملحومة فإن نوع الستانلس ستيل AISI 316 يعتبر مقبولاً عادة .

2- وحدات التناضح العكسي مع TDS للتيار المركز أعلى من 7000 ppm :

الستانلس ستيل من نوع (904L) يوصى به من أجل الأنابيب و مواضع الثني باللحام و الأجزاء المماثلة بدون تشقق . عندما تحدث الشقوق في بعض المواقع مثل مواقع وصل الفلنجات ، في الصمامات ، في المضخات ، .... يوصى باستعمال الستانلس ستيل نوع (254 SMO) أو نوع مشابه مع 6% مولبيديوم MO ، و هذين النوعين من سبائك الستانلس ستيل من الممكن أن يلحما سوية بدون أي خطر من جراء التآكل الكهربائي ، حساسات الأدوات يمكن أن تغطى أو تكسى لحمايتها من التآكل و الحت .

يمكن إعطاء تركيب الستانلس ستيل الموصوف بنماذجه السابقة من الجدول التالي:

جدول (10) تركيب بعض أنواع الستانلس ستيل

Usual designation	UNS No.	C%	Cr%	Ni%	Mo%	Cu%	N%
AISI 316	S 31600	< 0.08	16.0 - 18.0	10 - 14	2.0 - 3.0	—	—
AISI 316L	S 31603	< 0.03	16.0 - 18.0	10 - 14	2.0 - 3.0	—	—
904 L	N 08904	< 0.02	19.0 - 23.0	23.0 - 28.0	4.0 - 5.0	1.0 - 2.0	—
254 SMO	S 31254	< 0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.5 - 1.0	0.18 - 0.22

بالإضافة إلى التوصيات المذكورة أعلاه هناك إجراءات وقائية عامة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء التصميم و التركيب مثل :

١ -التصميم مع حد أدنى من الشقوق و النهايات الميتة .

٢ -صمم الأنابيب حتى تكون سرعة التدفق أكبر من (1.5 m / s) و هذا يقي من تشكيل الطبقات الرقيقة و يقلل من إجراءات الصيانة .

٣ -استخدم غاز دعم عند اللحام لكي تتجنب تشكيل طبقة أكسيد نتيجة اللحام و التي تعتبر الأساس الذي يسبب تآكل التشقق .

٤ -انقع نظام الأنابيب في الخل و احفظه لأن هذا يعطي أماناً أفضل ضد هجمات الكلور .

٥ -اغسل النظام بماء ذو قيمة TDS صغيرة قبل فترة الإغلاق .

1-7- صيانة وحدات التناضح العكسي :

تتألف أعمال الصيانة الأساسية لوحدات التناضح العكسي من التالي:

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

و نذكر أن توفر سجل دائم و كامل لعناوين و أرقام هواتف موردي قطع الغيار،المواد الكيماوية و أصحاب الخبرة في مجال التحلية أمر ضروري و حيوي لطلب المساعدة الفنية و المشورة عند اللزوم.

بعد أن تعرفنا على العديد من الأمور الهامة جداً من أجل تشغيل و تقييم أداء أنظمة التناضح العكسي ، و كذلك سبل حل العديد من المشاكل ، و كيفية اختيار المنظفات الصحيحة للأغشية و القضاء على الملوثات المختلفة ، نبدأ بالبحث عن التصميم الجيد لنظام ما و تحليل أداء وحدة التناضح العكسي باستعمال برنامج التحليل (ROSA) كأداة مساعدة لتكريس الأفكار السابقة و تكريس ما أوردناه في هذا البحث .