مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

تأثير عوامل التشغيل في أداء محطة التناضح العكسي في صبورة / سورية

الدكتور سعد الدين خرفان*
شادي شاهين**

(تاريخ الإيداع 5 / 1 / 2011. قُبِل للنشر في 3 / 4 / 2011)

□ ملخّص □

تعمل محطة تحلية الماء في صبورة بسورية منذ عدة سنوات. عانت هذه المحطة من مشكلة توسخ غشاء قوية أدت إلى خفض كفاءتها وتوقفها مرات عديدة. ذكر مشغلو الوحدة أن هناك تشكلاً لرواسب بيضاء صلبة على سطح الأغشية. ومن المعروف جيداً أن أغشية التناضح العكسي تعاني من ترسب رواسب وقشور ناتجة عن مركبات عديدة مثل كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيزيوم و مركبات المعادن مثل الحديد والألمنيوم و السيليكا والمركبات الغروية والتوسخ البكتيري و مركبات أخرى.

تم في هذه الورقة دراسة مشكلة التوسخ المذكورة في محطة صبورة للتناضح العكسي و طرق معالجتها. أظهر تحليل الرواسب على الأغشية أن مركبات السيليكا هي المسؤولة بشكل كبير عن التوسخ. أجريت تجارب عديدة لدراسة تأثير تركيز السيليكا والمتحولات الأخرى مثل درجة الحرارة و الضغط و PH الوسط ووجود الشوارد الموجبة الموجودة في الماء مثل الكالسيوم و طبيعة الغشاء على تشكل هذه الرواسب.

خلصت الورقة إلى أن مركبات السيليكا هي المسؤولة بشكل مباشر عن التوسخ. ويمكن معالجة ذلك بإضافة مركب لإزالة السيليكا من الماء. كما أن زيادة الضغط وخفض درجة الحرارة و تخفيض PH الوسط وإنقاص تركيز الشوارد الموجبة في الماء يقلل من هذا التوسخ.

الكلمات المفتاحية : التناضح العكسي، التوسخ، السيليكا، المعالجة الأولية.

* **أستاذ – قسم الهندسة الكيميائية – كلية الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة البعث – حمص – سورية.**
** **طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم الهندسة الكيميائية– كلية الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة البعث – حمص – سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

Effect of Operating Variables on Performance of Saboura Reverse Osmosis Unit, Syria

Dr. Sadeddin Kherfan*
Shadi Shahin**

(Received 5 / 1 / 2011. Accepted 3 / 4 / 2011)

□ ABSTRACT □

A reverse osmosis unit to treat underground water in Saboura, Syria has been in operation for several years. It has suffered severe fouling of membranes which led to frequent stoppages and loss of flow. Operators of the unit reported the formation of white solids on the surface of membranes. It is well known that membranes suffer from precipitates of CaCO3, CaSO4, minerals such as Fe, Al and Si compounds, colloidal matters, bacteria fouling and others.

This paper aims to investigate this problem and suggests a remedy. Analysis of the solid precipitate shows that silica is the main component. Experiments are then carried out to investigate the effect of silica concentration and other variables such as temperature, pressure, pH, cations and membranes type on this precipitate.

The final results show that silica has a direct effect on fouling of membranes. This can be treated by addition of anti silica scale in the water pretreatment. Increasing the pressure, reduction of temperature and pH and also reduction of cations in water reduce this scaling.

Keywords: Reverse Osmosis, Fouling, Silica, Pre-treatment.

* **Professor, Department of Chemistry, Faculty of Chemical & Petroleum Eng, Baath University, Homs, Syria.**
** **Postgraduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Chemical & Petroleum Eng, Baath University, Homs, Syria.**

مقدمة:

يعاني العالم من نقص خطير في إمدادات الماء الصالح للشرب. وتنهض التحلية بدور متزايد في علاج هذا النقص في مناطق عدة من العالم. بدأت التحلية بإزالة الأملاح من ماء البحر بواسطة التقطير وانتشرت في منطقة الخليج العربي بشكل خاص منذ خمسينيات القرن الماضي. وبدأت التحلية باستخدام التناضح العكسي Reverse Osmosis في سبعينيات القرن الماضي. وتعرف عملية التناضح العكسي على أنها فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء. وعندما يمر جزء من الماء عبر الغشاء تزداد ملوحة الماء المتبقي. و يتراوح الضغط المطبق على الغشاء بين 5 إلى 27 بار لماء الآبار و 45 إلى 80 بار لماء البحر. يقوم غشاء التناضح العكسي بمنع مرور نسبة عالية من الأملاح المنحلة والسيليكا والبكتيريا والفيروسات والمواد العضوية.

على أن طريقة التناضح العكسي تعاني من بعض المشكلات التي أعاقت طويلاً انتشارها بوصفها طريقة فعالة لتحلية الماء من أهم تلك المشاكل الترسبات Scale على الأغشية التي تسد مسامها وتقلل من معدل سريان الماء خلالها. من أهم المواد المترسبة كربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيزيوم ومركبات المعادن كالحديد والألمنيوم والمواد الغروية والسيليكا والبكتريا وغيرها. ويعتمد منع الترسبات على المعالجة الأولية للماء المعتمد. كما تعتمد هذه المعالجة على نوعية الماء المغذي و جودة الماء الناتج و استخداماته.

تعالج محطة صبورة الماء الجوفي في منطقة صبورة في سورية بغرض جعله صالح للشرب. تتضمن المعالجة الأولية تبريد الماء وتهويته. تؤدي التهوية إلى زيادة تركيز الأكسجين وأكسدة الحديد و تحويله إلى أكسيد الحديد Fe_2O_3 الذي يترسب على جدران المبرد، ويتم في هذه المرحلة التخلص من كبريتيد الهيدروجين H_2S نهائياً. ثم تضاف مادة ألومينات الصوديوم لإزالة السيليكا. تجمع المواد الغروية في المرسبات والمرشحات الرملية ويتم التخلص منها قبل دخول الماء إلى مضخات التناضح العكسي. يضاف حمض الكبريت لخفض الرقم الهيدروجيني من 6.5 إلى 5.5 بهدف منع ترسب كربونات الكالسيوم على الأغشية. كما تضاف ماده هكساميتا فوسفات لمنع ترسب كبريتات الكالسيوم.

للسيليكا تأثير كبير في تشكل الرواسب و بالتالي توسخ أغشية التناضح العكسي كما بين عدد من البحوث السابقة، وجدت إحدى الدراسات أن الراسب عبارة عن معلق غروي يتألف من دقائق نانونية من السيليكا البوليمرية تخفض التدفق ولكن إلى حد معين دعي بالتدفق الحرج[1]. وجدت دراسة أخرى أن رواسب السيليكا إضافة إلى خفضها للتدفق عبر الغشاء فإنها تخرب الغشاء نفسه، وأجريت معالجة أولية بعملية التخثير الكهربائي لإزاحة السيليكا وتمت إزاحة 80% من السيليكا عند 0.5 أمبير وزمن احتجاز 30 دقيقة مما أدى إلى زيادة التدفق عبر الغشاء [2]. أجريت دراسة لمعرفة تأثير العوامل الفيزيائية مثل مؤشر كثافة الراسب SDI وكمون زيتا والتدفق الحرج وعلاقتها بالتوسخ. بينت الدراسة إمكانية التقليل من هذا التوسخ بالتخثير الكيميائي و باستخدام مضادات التوسخ [3]. وجدت دراسة لتحلية الماء الجوفي أن السيليكا هي السبب الرئيس لتوسخ أغشية التناضح العكسي كما أن هذا النوع من التوسخ يلتصق بالغشاء بشكل لصيق، وتؤدي محاولة إزاحته في كثير من الأحيان إلى تخريب الغشاء نفسه، وقد تبين أن هناك عوامل كثيرة تؤثر في ترسب السيليكا منها وجود شوارد موجبة كالكالسيوم والمغنيزيوم لأنها تشجع بلمرة السيليكا، وتمثلت المعالجة في إضافة ألومينات الصوديوم في مرحلة المعالجة الأولية لمنع ترسب السيليكا [4]. خلصت الدراسة التي

أجريت على تغذية التناضح العكسي بماء عالي السيليكا في جزر الكناري إلى أن تدفق الماء يتناقص مع ارتفاع تركيز السيليكا [5]. أظهرت نتائج دراسة أخرى تأثير المركبات اللاعضوية مثل Fe , Ba , Ni , Mn في ترسب السيليكا وجود تأثير قوي للحديد في ترسّبها بالمقارنة مع Ni, Ba وMn [6]. درس أيضاً التأثير التعاوني بين السيليكا والألغينيت Alginate على التوسخ بالسيليكا ووجد أن حمض Alginic يخفض توسخ السيليكا وأن إضافة هذا الحمض بعد توسخ الغشاء بالسيليكا تؤدي إلى إزاحتها [7].

أهمية البحث وأهدافه:

إن محطة صبورة عانت كثيراً من مشكلة الترسب على الأغشية. وتعتبر السيليكا من الملوثات الرئيسة خاصة وأنه في حالة تشكل هذه الرواسب تصبح عملية الإزالة غير ممكنة تقريباً. ومن الأهمية معرفة تأثير شروط التشغيل مثل pH الوسط والضغط ودرجة الحرارة ووجود الشوارد الموجبة مثل Ca^{2+} في بلمرة السيليكا وتشكل الرواسب. توجد السيليكا في المياه الطبيعية بتركيز 1–30 ملغ/لتر لكن تركيزها في المياه الجوفية يمكن أن يصل إلى 150 ملغ/لتر. وتوجد السيليكا في الماء بشكلها المميه مثل H_4SiO_4 أو $Si(OH)_4$. ولا تؤثر السيليكا سلباً في الصحة لذا فليس هناك حدود لتركيزها في ماء الشرب. لكن للسيليكا تأثير كبير في تشكل الرواسب وبالتالي توسخ أغشية التناضح العكسي.

طرائق البحث ومواده:

1- المواد المستخدمة والمحاليل الكيميائية

حضرت المحاليل الكيميائية ومعلق السيليكا باستخدام ماء محلى ناتج من أغشية التناضح العكسي قيمة الناقلية الكهربائية له 10 ميكرو سمينس/سم. حل مسحوق السيليكا في هذا الماء عن طريق المزج والخلط الشديد لمدة 30 دقيقة. ومسحوق السيليكا عبارة عن (Aerosil 200) من شركة Degussa corporation الألمانية بالمواصفات التالية: مساحة السطح النوعي 200±25 $م^2/غ$، متوسط حجم الدقيقة 12 نانومتر وتركيز السيليكا اكبر من 99.8% وزناً.

2- التجهيزات

ركبت وحدة تناضح عكسي RO المبينة في الشكل (1) التالي.

الشكل (1) جهاز التناضح العكسي التجريبي

وتتكون من وعاء ضغط يحوي غشاءً واحداً فقط وبحجم تصريف 900 لتر/سا. هناك مضخة تضخ الماء إلى الضغط

14 بار و خزان تغذية بحجم 2000 لتر. يزود الجهاز بمقياس حرارة ومقياس تدفق ومقياس ضغط ومقياس pH الوسط من شركة Hach الأمريكية. الغشاء من النوع (CPA3) من شركة Hydranaut من نوع اللف الحلزوني ومن مادة البولي أميد المركبة. يشتغل الغشاء بضغط أعظمي 41,6 بار ودرجة حرارة 45 ^{0}م و PH بين /3–10/ وتدفق 17 م^3/سا وبنزع أملاح 99,6%. استخدم جهاز التحليل الطيفي الضوئي من النوع (DR 2010) من شركة (Hach الأمريكية).

3- الإجراءات و طريقة العمل

حضر ماء تركيز السيليكا فيه (10، 25، 40، 60) ملغ/ل وضبطت درجة الحرارة والضغط و pH الوسط عند القيم المطلوبة. أجريت تجربة الشاهد بشروط تجارب التوسخ نفسها، على ماء طبيعي لا يحوي مركب السيليكا المضاف. استمرت العملية لمدة خمس ساعات والهدف هو شطف الغشاء وإزالة ما يعلق على سطحه من دقائق ومن أجل أن يستقر التدفق النافذ من خلال الغشاء على قيمة محددة (F_0). مرر ماء أضيف إليه السيليكا بتركيز معين خلال الغشاء لمدة 20 ساعة وأخذت قيمة التدفق النافذ كل ساعتين (F_T) وبحسب التدفق النسبي في كل مرة (F_R) من العلاقة: $F_R = F_T / F_0$

النتائج والمناقشة:

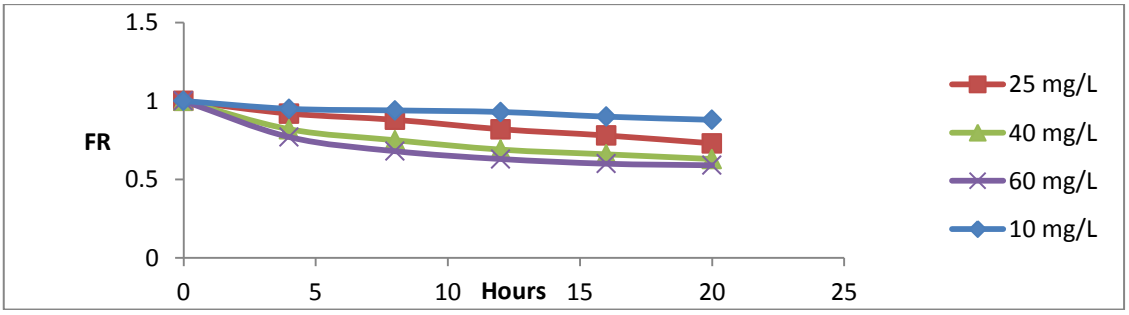
1- تحليل الرواسب:

حللت الرواسب على الغشاء ووجد أنها تتألف من المركبات التالية:

H_2O = 1,48%، المادة العضوية = 21,05%، مركبات السيليكا = 62,82%، الكبريتات = 8,68%. وهذا يؤكد أن مركبات السيليكا هي أهم مسبب للتوسخ.

2- تأثير مركبات السيليكا في توسخ الغشاء:

حضرت عينات من الماء التي تحتوي على مركبات السيليكا بتراكيز 10، 25، 40، 60 مغ/ لتر. استمرت تجربة التناضح العكسي لمدة 20 ساعة. أخذت كمية الدفق كل 2 ساعة وأعطيت القيمة F_T. حسبت قيمة التدفق النسبي F_R من العلاقة السابقة. مثلت قيم F_R بدلالة الزمن (ساعة) كما في الشكل (2). تظهر النتائج أن التدفق ينخفض مع مرور الزمن بسبب التوسخ. كما أن هذا الانخفاض يزداد بزيادة تركيز مركب السيليكا في الماء.

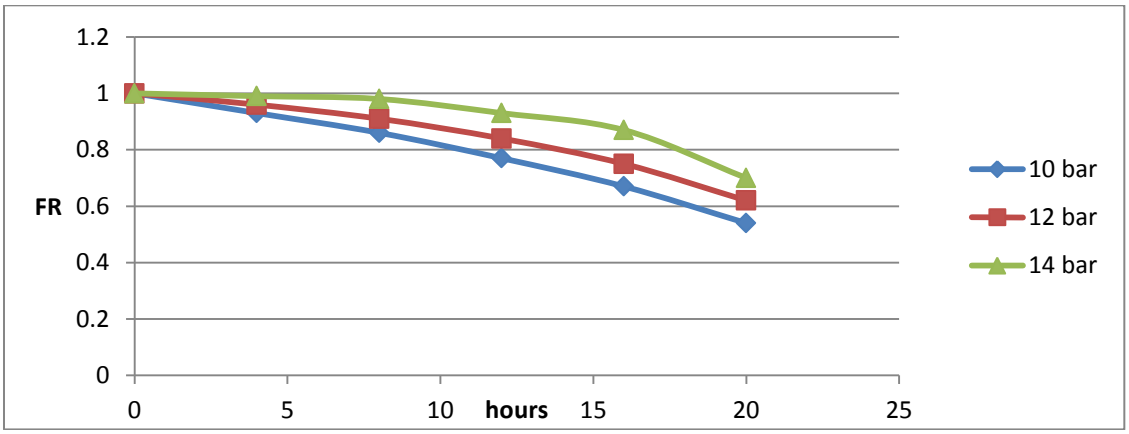


الشكل (2) تأثير مركب السيليكا في تدفق الماء خلال غشاء التناضح العكسي

الضغط = 10 بار، درجة الحرارة = 20 ^{0}م، PH = 5,5

3- تأثير الضغط في التدفق خلال غشاء التناضح العكسي:

درس تأثير الضغط بإدخال ماء يحتوي 10 ملغ/ لتر من مركب السيليكا وعند درجة حرارة 20 م^0 و PH =5,5. مثلت النتائج في الشكل (3). من الواضح من الشكل أن زيادة الضغط المطبق على الأغشية تؤدي إلى زيادة تدفق الماء خلال الغشاء. لكن هبوط تدفق الماء عند ضغطٍ عالٍ أسرع منه عند ضغطٍ منخفضٍ، وقد فسر هذا بتشكل سريع للرواسب على الغشاء باستخدام ضغط مرتفع.



الشكل (3) تأثير الضغط في تدفق الماء خلال الغشاء

تركيز السيليكا = 10 ملغ/ لتر، درجة الحرارة = 20 م^0، PH = 5,5

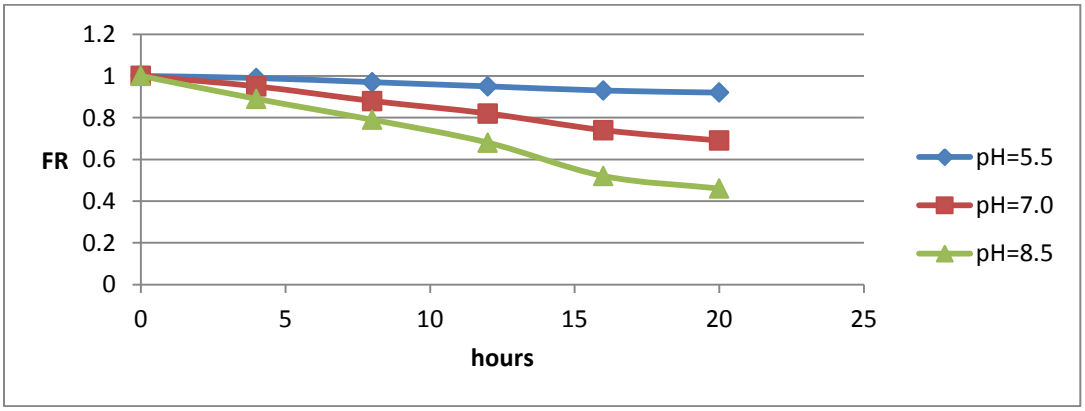
4- تأثير PH الماء على التدفق خلال الغشاء:

تنهض PH الماء بدور هامّ في التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى ترسب المركبات الصلبة وتشكل القشور. أجريت تجربة باستخدام ماء يحتوي 10 ملغ/لتر من مركب السيليكا عند ضغط ثابت مقداره 10 بار ودرجة حرارة ثابتة مقدارها 20 م^0. غيرت PH الوسط للماء الداخل بين 5,5 و8,5. مثلت النتائج في الشكل (4). يبين الشكل أن زيادة PH الماء الداخل إلى الغشاء تؤدي إلى زيادة سريعة في تشكل الرواسب وبالتالي إلى هبوط سريع في تدفق الماء عبر الغشاء. وعند PH=8.5 تتشكل مركبات السيليكا بحسب التفاعلات التالية:

$$Si(OH)_4 + OH^- = SiO(OH)_3^- + H_2O$$

$$SiO(OH)_3^- + Si(OH)_4 = (OH)_3SiOSi(OH)_3 + OH^-$$

تشكل بوليمير متعدد.....

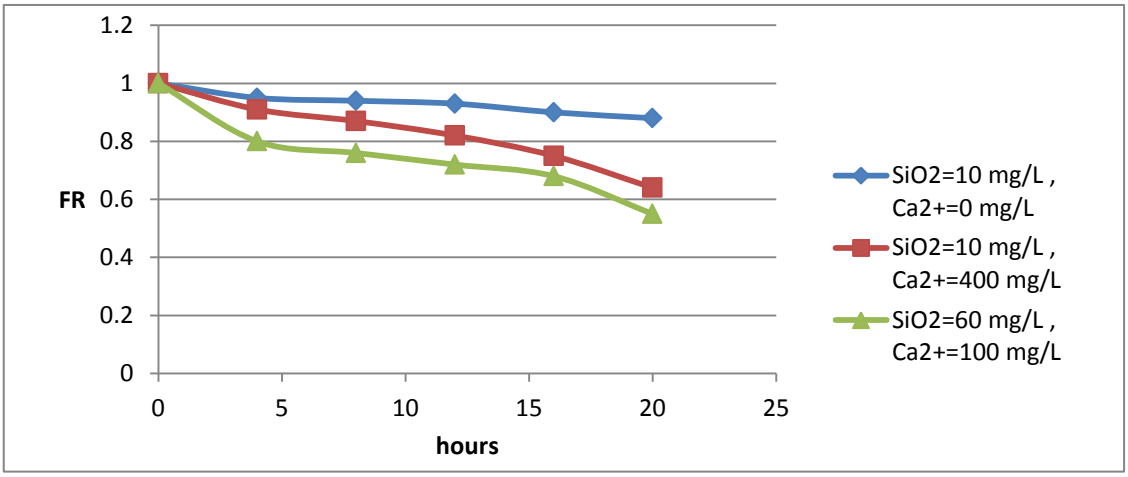


الشكل (4) تأثير PH الوسط في تدفق الماء عبر غشاء التحلية

تركيز السيليكا = 10 ملغ/ لتر، درجة الحرارة = 20 م^0، الضغط = 10 بار

5- تأثير الشوارد الموجبة Ca^{2+} في التدفق عبر الغشاء:

إن وجود الشوارد الموجبة في الماء ينهض بدور مهمّ في التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى تشكل الترسبات والقشور على الغشاء. درست هذه المشكلة بتحضير سوائل تحتوي على 10 و60 ملغ/لتر من مركب السيليكا. أجريت التجارب عند درجة حرارة 20 مْ وضغط 10 بار و PH =6. أضيفت الشوارد الموجبة على شكل مركب $CaCl_2$ للحصول على محاليل بتركيز 100 و400 ملغ/لتر من Ca^{2+}. مثلت النتائج في الشكل (5). يبين الشكل أن تدفق الماء خلال الغشاء انخفض بشدة بسبب ارتفاع تركيز Ca^{2+}. يؤكد هذا دور الشوارد الموجبة مثل Ca^{2+} في ترسيب مركبات السيليكا. من المعروف أن السيليكات مشحونة بشحنة سالبة عند محلول معتدل PH=7. لكن إضافة Ca^{2+} تؤدي إلى خفض قوى التنافر بين الدقائق وتشكيل السيليكا جل الذي ينهض بدور هام في تشكل الرواسب وخفض التدفق.

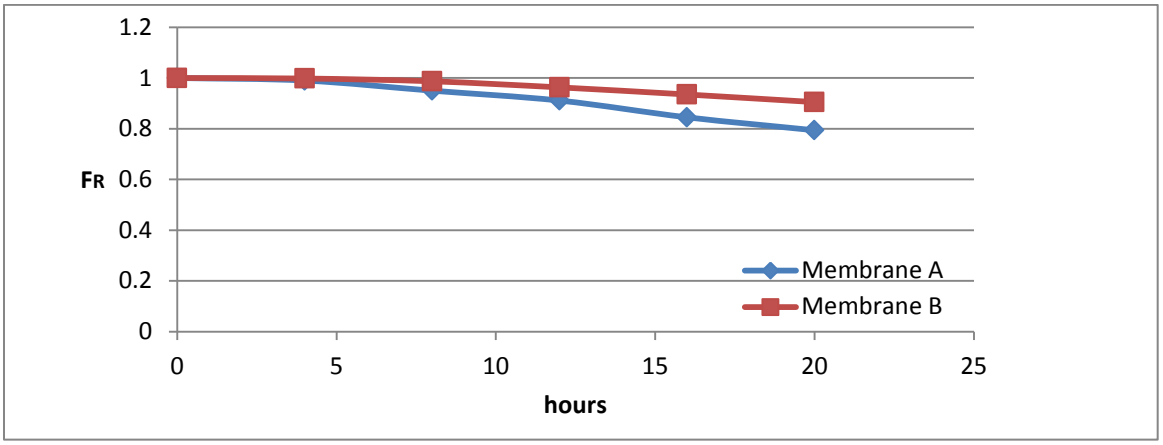


الشكل (5) تأثير الشوارد الموجبة في تدفق الماء عبر غشاء التحلية

تركيز السيليكا = 10 ملغ/ لتر، درجة الحرارة = 20 ^{0}م، الضغط = 10 بار، PH =6

6- تأثير نوع الغشاء في التدفق خلال الغشاء:

أجريت تجربة باستخدام ماء بتركيز 40 ملغ/لتر سيليكات عند ضغط 12 بار و PH = 5,5 وباستخدام الغشاء نفسه المستخدم في التجارب السابقة. كررت التجربة عند الشروط السابقة نفسها لكن على غشاء لف حلزوني من نوع البولي أميد مزود من شركة Filmtic وذي خشونة سطحية أقل من الغشاء الأول. مثلت النتائج على الشكل (6). يبين الشكل أن الغشاء الثاني من النوع B أفضل من الغشاء الأول من النوع A. إن نوع الغشاء وطبيعته يؤثران في ترسب السيليكا، إذ تزيد خشونة سطح الغشاء من هذه الترسبات.



الشكل (6) تأثير نوع الغشاء في تدفق الماء عبر غشاء التحلية

تركيز السيليكا = 40 ملغ/ لتر، درجة الحرارة = 20 ^{0}م، الضغط = 12 بار، PH =5.5

الاستنتاجات والتوصيات:

تظهر النتائج السابقة بوضوح أن مركبات السيليكا في الماء تسبب توسخ الغشاء بالرواسب. لذا فإن تدفق الماء الغني بمركبات السيليكا ينخفض بشدة مع الزمن ومع زيادة تركيز هذه المركبات. إن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع تدفق الماء عبر الغشاء لكن انخفاض التدفق أعلى مع الزمن بالنسبة لضغط مرتفع بسبب سرعة ترسب المركبات عند ضغط مرتفع. وتنهض PH الوسط بدور هام، إذ تؤدي زيادتها إلى زيادة ترسب القشور على الغشاء. وعند PH=8.5 يزداد تشكل السيليكا البوليمرية مما يؤدي إلى زيادة الترسب وخفض التدفق عبر الغشاء. درس أيضاً دور الشوارد الموجبة ممثلة بشوارد الكالسيوم في زيادة الترسب وتشكل القشور على الغشاء.

تتمثل المعالجة الأولية بإضافة مركب ألومينات الصوديوم بعد برج التبريد لترسيب مركبات السيليكا ورفع الضغط في أثناء التشغيل وخفض PH الوسط وترسيب مركبات الكالسيوم والمغنيزيوم الموجودة في الماء أولاً وخفض درجة الحرارة واستخدام أغشية تقلل من تشكل الرواسب.

المراجع:

[1] LISITSIN, D.; HASSON, D.; SEMIAT, R. *Critical flux detection in a silica scaling RO system*. Desalination. 186 (1-3), 2005, pp, 311-318.

[2] DEN, W.; WANG, C. J. *Removal of silica from brackish water by electrocoagulation pretreatment to prevent fouling of reverse osmosis membranes*, Separation and Purification Technology. 59 (3), 2008, pp, 318-325.

[3] NING, R.Y.; TROYER, T.L.; TOMINELLO, R.S. *Chemical control of colloidal fouling of reverse osmosis systems*. Desalination. 172 (1), 2005, pp, 1-6.

[4] SHEIKHOLESLAMI, R.; Al-MUTAZ, I.S.; TAN, S.; TAN, S.D. *Some aspects of silica polymerization and fouling and its pretreatment by sodium aluminate, lime and soda ash*. Desalination. 150 (1), 2002 , pp, 85-92.

[5] DARTON, E. G. *PermaCare International*, Aquazur Ltd, Chapel House, Alma Road, Windsor SL4 3HD, UK, Desalination, Vol 124, Issues 1-3 , 2001, pp, 33-41.

[6] YUNTA, P.S. ; SHEIKHOLESLAMI, R. *School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry*, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 2002, pp, 12-14.

[7] HIGGIN, R. *Synergistic behavior between silica and alginate*, Separation and Purification Technology, Vol. 70, Issue 1, 19, Nov, 2009, pp, 112-117.