استخدام تقنية المرشحات النانوية لتحلية وإزالة العسرة من مياه نهر دجلة

محمد عامر عبد المجيد أسامه جورج أمين حسين ارزوقى سلطان علي رحيم علي

وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة البيئة والمياه

بغداد–العراق

الخلاصة

تم في هذه الدراسة التحقق من أداء المرشحات النانوية في تحلية وأزالة العسرة من مياه نهر دجلة في مدينة بغداد. تم تهيئة وتشغيل منظومة مختبريه تحوي قطعة واحدة لمرشح نانوي نوع (4920S/KOCH) وقطعة واحدة لغشاء تنافذ عكسي نوع (4820ULP/KOCH) لأختبار أداء كل منهما في أزالة الأملاح في المياه الداخلة لكل منهما. تم أستخدام برنامج روزا (ROSA) لأجراء الحسابات النظرية لأداء المرشحات النانوية ولمقارنتها مع النتائج التجريبية في كفاءتها لإزالة العسرة ونسبة الاسترجاع. تجاوزت الأزالة لأيون الكالسيوم بأستعمال هذه المرشحات نسبة 90% ، وتم الحصول على تخفيض عالي نسبيا للمواد الذائبة الكلية. أثبتت الدراسة أن المرشحات النانوية فعالة في تحلية وأزالة العسرة من مياه نهر دجلة في مدينة بغداد وانتاج مياه ذات نوعية تلبي المواصفة الخاصة بمياه الشرب.

الكلمات المفتاحية : المرشحات النانوية ، العسرة ، التنافذ العكسي و مياه الشرب

Using Nanofilters for Desalination and Hardness Removal from Tigris River Water

Mohammed A.Abdul-Majeed Osamah G. Ameen Hussein Irzooqi Sultan Ali Rahim Ali

Ministry of Science and Technology , Environment and Water Directorate , Baghdad - Iraq

Abstract

Performance of nanofilters for desalination and hardness removal from Tigris River water is investigated in this work. A laboratory scale system is used for this purpose. The system includes one module of nanofilter type (4920S/KOCH) and one module of reverse osmosis membrane type (4820ULP/KOCH). ROSA software is used to achieve theoretical calculations for the performance of the nanofilters and to compare the results of these calculations with the experimental results. The results showed that the removal of calcium ion from the influent water using nanofilters is about 90% with a significant reduction in the total dissolved solids concentration. The investigation showed that the nanofilters were effective in desalination and hardness removal from Tigris river water in Baghdad city and can produce water that satisfy required specifications for drinking water.

Key Words: Nanofilters , hardness , reverse osmosis and drinking water

المقدمة

تعالج المياه السطحية أو الجوفية لأغراض الشرب أو للأغراض الصناعية في العادة بطريقتين، تدعى إحداهما بالطريقة التقليدية و يطلق على الثانية بطريقة الغشاء المدفوع بالضغط. وبشكل عام تتألف طريقة المعالجة التقليدية من سبعة مراحل تبدأ بمرحلة المعالجة الأولية التمهيدية لإزالة المواد الصلبة العالقة، تليها مرحلتي تخثير و تلبيد الشوائب ثم مرحلة ترسيبها، و تنتهي بمرحلة الترشيح. تتسم هذه الطريقة بعدم مقدرتها على إزالة الأملاح الذائبة و بعض المواد العضوية والصناعية القابلة للذوبان، وفي المقابل تعتبر تقنية الغشاء المدفوع بالضغط طريقة مثالية لمعالجة المياه و بمواصفات جودة عالية و حسب الرغبة. ومن ضمن فوائد تقنية الغشاء المدفوع بالضغط أن عمليات التشغيل في أحيان كثيرة لا تتطلب مواد كيميائية و سهولة تشغيلها وصيانتها (Richard, 2004).

هنالك أربعة أنواع من المعالجة بالغشاء المدفوع بالضغط: ترشيح ميكرومتري (Microfiltration, MF)، ترشيح فائق (Ultrafiltration, UF) ترشيح نانومتري (Nanofiltration, NF)، والتناضح العكسي(Reverse Osmosis, RO). تتراوح مقاسات مسامات تلك المرشحات على النحو التالي: MF بين 0.5 إلى 10 ميكرومتر و UF بين 1 إلى 100 نانومتر و NF و RO إلى أقل من 2 نانومتر (Richard, 2004; Robert *et al.*, 1999) يقع الترشيح النانومتري ما بين التناضح العكسي والترشيح الفائق أعتمادا على حجم الجسيمات التي يقوم بترشيحها، وهو يأخذ آلية الانتشار من التناضح العكسي والنخل من الترشيح الفائق ، يشيع استخدام الترشيح الميكرومتري و الفائق في المعالجات الأولية للمياه عادة أما الترشيح النانومتري و التناضح العكسي فيكثر استخدامهما في المعالجة المتقدمة للمياه. أذ تستخدم منظومات التنافذ العكسي والمرشحات النانوية لتقليل أو إزالة الأملاح والمركبات العضوية الذائبة في الماء. تقوم المرشحات النانوية (NF) بأزالة الجزيئات العضوية ذات الأوزان الجزيئية ضمن مدى (200–400) فأكبر وكذلك إزالة الأملاح ذات الايونات أحادية التكافؤ مثل (كلوريد الصوديوم) بنسبة ضمن المدى 20–80% وأزالة الأملاح ذات الايونات ثنائية التكافؤ مثل (كبريتات المغنسيوم) بنسبة أكبر وضمن مدى 90–98% .تعتمد نسبة أزالة الأملاح باستخدم المرشحات النانوية على المادة الأولية وعملية صناعة الغشاء. وتعد الطبقة الفعالة للمرشح في هذه العمليات العنصر الأهم والتي تعمل كحاجز يقوم بمهمة فصل نسبة عالية من المواد الذائبة عن الماء. ولعل أبرز ما ُيميز كل عملية تصنيعية عن الأخرى هو مقاس مسامات المرشح وبالتالي آلية النقل، و ضغط الماء المسلط، و نطاق التطبيقات. وتنشأ في عملية الترشيح بالمرشحات النانوية الهجرة الكهربائية بسبب الشحنات السطحية الموجودة في الغشاء (Hilala *et al.*, 2005) والتي تؤدي إلى فصل المذابات العضوية وغير العضوية من المذيب، ولهذا السبب هناك مجموعة مرشحات نانوية متوفرة كل نوع يناسب تطبيق خاص معين وقد لا يكون مقبول لتطبيق مختلف. أن تفاصيل هذه الآلية في المرشحات النانوية غير مفهومة بشكل جيد وهنالك بحوث مستمرة حولها.

الدراسات السابقة والتطبيقات

تطرقت عدد من الدراسات الى كفاءة عمل المرشحات النانوية في تطبيقات مختلفة. ففي دراسة لبيان أمكانية تخفيض أو أزالة الأيونات المسببة لعسرة المياه الجوفية بأستخدام ثلاثة أنواع تجارية من المرشحات النانوية، وهي UTC 20 , NF70 انتاج شركة (Dow-Filmtec) و UTC 70 انتاج شركة (Toray Industries)، أظهرت النتائج ان هذه المرشحات تمتاز بفعالية في تخفيض الايونات المسببة للعسرة حيث كانت نسب الازالة لأيون

الكالسيوم (Ca) بحدود 94% بينما كانت أزالة الايونات احادية التكافؤ (Monovalent) بحدود 60–70% وبنسبة استرجاع (Recovery) عالية نسبيا(Johan *et al.*, 1998). وفي دراسة اخرى لتحلية مياه البحر الاحمر (حوض الزرقاء في الاردن) بأستخدام المرشحات النانوية (NF) وأغشية التنافذ العكسي (RO)، بينت النتائج أن هذه المرشحات فعالة تقنياً وإقتصادياً في إزالة المواد اللاعضوية (Mousa *et al.*, 2003).

أجريت دراسة لمعرفة خصائص هذه المرشحات من قبل (Hilala *et al.*, 2005) وفوائد استخدام هذه المرشحات من حيث تقليل استهلاك الطاقة. تم اجراء الدراسة على ثلاثة انواع منها هي (NF90 ,N30F ,NF270) انتاج شركة (Dow-Filmtec)، لتحلية الماء المالح وبتراكيز مختلفة من (NaCl)، (5000 و 25000 ملغم/لتر)، وقد أظهرت النتائج ان الازالة تصل الى 95% عند استخدام المرشح NF90 عندما يكون التركيز 5000 ملغم/لتر بينما تنخفض مقدار الازالة الى 41% عندما يكون التركيز 25000 ملغم/لتر، طبقت نفس الظروف لنوعي الاغشية الاخرى حيث كانت مقدار الازالة

11 – 29% عند استخدام المرشح NF270 وتنخفض الى3 - 6% بالنسبة للمرشح NF30.

وفي هذا الشأن استفادت دولا" في الخليج العربي من المرشحات النانوية في المعالجة الأولية لمياه التغذية لمحطات تحليه مياه البحر سواء العاملة بالطرق الحرارية أو التناضح العكسي لتكون نظام مزدوج (النانو/ التناضح) أو نظام ثلاثي (نانو/ التناضح/التقطير). وقد أثبتت نتائج التجارب انخفاض ملحوض في الأيونات المسببة للعسرة بنسبة تتراوح من 30 إلى 60% من نسبة مجموع الأملاح الكلية الذائبة، وتم أزالة المواد العسرة مثل الكبريتات بنسبة تصل إلى 98%، و أدى تطبيق هذا الأسلوب فعلياً بمحطة أملج للتناضح العكسي (في السعودية) إلى ارتفاع إنتاجية المحطة بما نسبته 21% وبتكلفة لا تتجاوز 4% من التكلفة الرأسمالية لإنشاء المحطة (Osman *et al.*, 2005).

إجريت دراسة (Xiao *et al.*, 2009) تتعلق بخصائص وتطبيقات المرشحات النانوية من ناحية تقييم التركيب والخاصية الكهربائية وأداء الفصل لهذه الاغشية وقد استخدمت في هذه الدراسة نموذج الثرموديناميك (Non-equilibrium thermodynamic model) ونموذج المسام (Pore model) حيث تم تقييم خصائص الفصل للمرشحات النانوية بأستخدام الموديلات أعلاه.تم تقييم أداء أغشية النانو في تدوير المياه الصناعية وأعادة استخدامها من قبل (Alcaina *et al.*, 2009)، وقد أثبتت هذه التقنية كفاءة في المعالجة وتقليل تركيز الملوثات في المياه.

تتوفر عالميا عدد من البرامج الخاصة بأداء المرشحات النانوية وأغشية التنافذ العكسي المنتجة من شركات عالمية مختلفة ولتحاليل كيمياوية مختلفة للمياه. أحد هذه البرامج هو برنامج روزا (ROSA) المخصص لحسابات أداء المرشحات النانوية والاغشية الخاصة بشركة (Dow-Filmtec) (FILMTEC, 2006)، والذي يستخدم عالميا لأجراء التصاميم لانظمة حقيقية من حيث اختيار الشروط ونمط التدفق وعدد خطوط الإنتاج و إختيار الغشاء وأختيار متوسط الضغط للمرور عبر المرشح أوالغشاء قد يحدث خطا لايتجاوز 15% تقريبا (Sara *et al.*, 2009).

يهدف هذا البحث للتعرف على إمكانية تطبيق المرشحات النانوية لإزالة الايونات المسببة للعسرة ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم و المغنسيوم) والتحلية لمياه نهر دجلة في مدينة بغداد وأجراء المقارنة بين أداء المرشحات النانوية NF وأغشية التنافذ العكسي RO في كفاءة الأزالة والطاقة المستهلكة في ذلك.

المواد و طرائق العمل

تم أجراء الحسابات النظرية لأداء المرشحات النانوية وبأعتماد مواصفة المياه لنهر دجلة في مدينة بغداد. تمت مقارنة النتائج النظرية مع نتائج تجارب عملية عن طريق تهيئة منظومة تجريبية لمعالجة المياه بالمرشحات النانوية وأغشية التنافذ العكسي. تم أعتماد 1800 لتر/ساعة كمعدل جريان للماء الداخل للمرشحات النانوية أو أغشية التنافذ العكسي وأعتماد فرق ضغط 5 بار عبرها.

الحسابات النظرية

تم أستخدام برنامج روزا لمعرفة أداء أغشية نانوية مختلفة لمعرفة ترشيحها للأيونات الثنائية كالكالسيوم ،المغنسيوم، الكبريت والأحادية كالصوديوم، الكلورايد والمواد الذائبة الكلية لتحاليل كيميائية لمياه نهر دجلة في مدينة بغداد. تم الاخذ بنظر الأعتبار تذبذب تراكيز الايونات المختلفة لتحاليل المياه المستخدمة في الدراسة أذ تمت مضاعفة هذه التراكيز في أحد الأختبارات لزيادة تركيز الكالسيوم و المواد الذائبة الكلية لتصبح أعلى من الحدود المسموح بها لماء الشرب. تم أجراء المقارنة بين أداء هذه المرشحات مع أداء اغشية لتناضح عكسي (RO) تنتجها نفس الشركة من حيث نسبة مرور المذاب (Solute Passage) ونسبة الأسترجاع (Recovery) وهي النسبة المئوية لمعدل جريان الماء المنتج (Permeate water) الى ماء التغذية (Feed water) والطاقة النوعية المستهلكة، بظروف تشغيلية متشابهة، وهي الطاقة المطلوبة لأنتاج وحدة حجم واحدة من الماء المنتج ويتم حسابها بقسمة الطاقة المستهلكة على معدل جريان الماء المنتج.

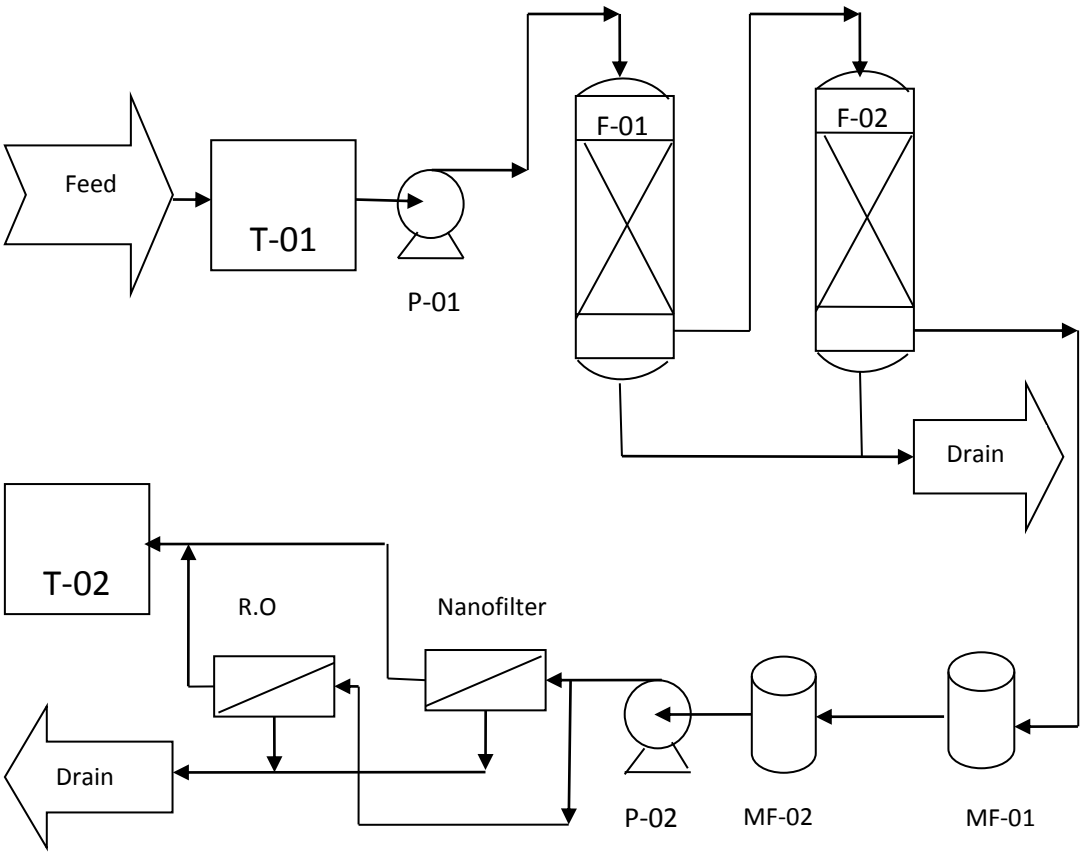
الأختبارات التجريبية

تم أنشاء منظومة معالجة مياه لأجراء الأختبارات التجريبية في هذا البحث. تحوي االمنظومة وعاء ضغط يحتوي قطعة مرشح نانوي واحدة نوع (4920S/KOCH) ووعاء ضغط اخر على التوازي يحوي غشاء تنافذ عكسي نوع (4820ULP/KOCH) ويعمل أحدهما فقط في ان واحد. وتم تثبيت معدل الجريان وفرق الضغط عبر المرشح و الغشاء في جميع الأختبارات التجريبية عند 1800 لتر/ساعة و5 بار على التوالي. يسبق كل من المرشح التانوي وغشاء التنافذ العكسي عملية معالجة أولية للمياه تتضمن مرشحين مايكرونية وكما هو مبين بالشكل (1) والتفاصيل المبينة بالجدول (1).

النتائج والمناقشة

نتائج الاختبارات النظرية

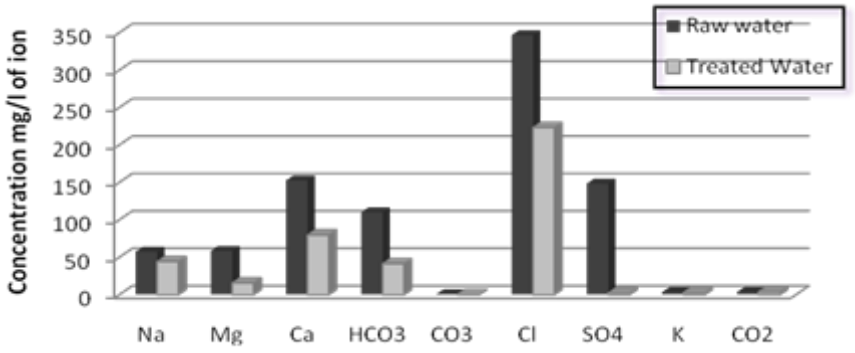
تبين الأشكال (2، 3، 4) نتائج الحسابات النظرية لتراكيز الأيونات في الماء الداخل (نهر دجلة) والخارج لوعاء ضغط يحتوي على قطعة واحدة من مرشحات نانوية مختلفة خاصة بشركة Dow-Filmtec، في حين تبين الأشكال (5، 6، 7) تركيز المواد الذائبة الكلية والطاقة النوعية المستهلكة ونسبة الأسترجاع المستخدمة في هذه الحسابات وعلى التوالي وبأستخدام المرشحات النانوية و مقارنتها بغشاء تنافذ عكسي خاص بنفس الشركة.



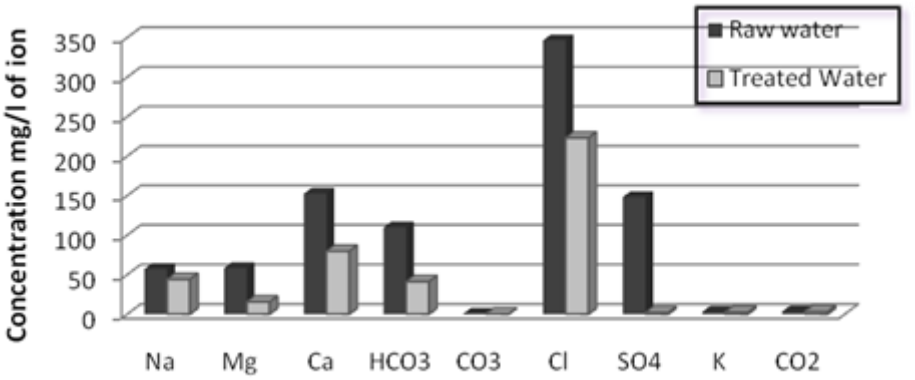
الشكل (1) منظومة تحلية المياه بأستخدام المرشحات النانوية و أغشية التنافذ العكسي

الجدول (1) تفاصيل أجزاء منظومة تحلية المياه بأستخدام المرشحات النانويةو أغشية التنافذ العكسي

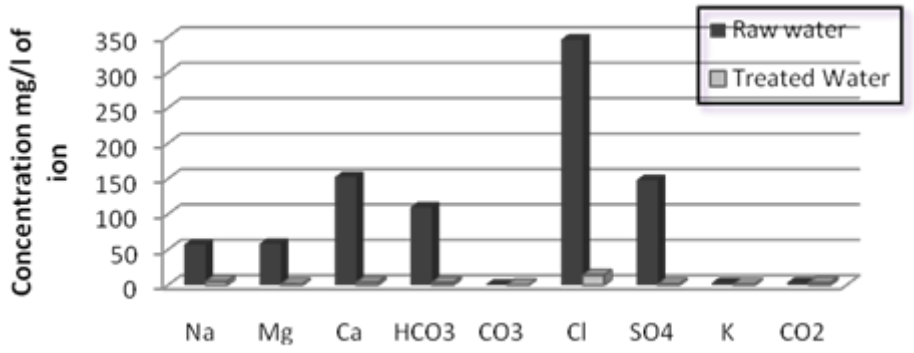
Item	Description	Item	Description
T-01	Raw Water Tank Volume : $2m^3$	MF-02	Micron Filter 1µ
T-02	Product Water Tank Volume : $2m^3$	P-01	Raw Water Pump Booster Pump
F-01	Multimedia Sand Filter Type : Vertical	P-02	Feed Water Pump Multi Stages Pump
F-02	Active Carbon Filter Type : Vertical	R.O membrane	Type 4820ULP/KOCH
MF-01	Micron Filter 5µ	Nanofilter	Type 4920S/KOCH



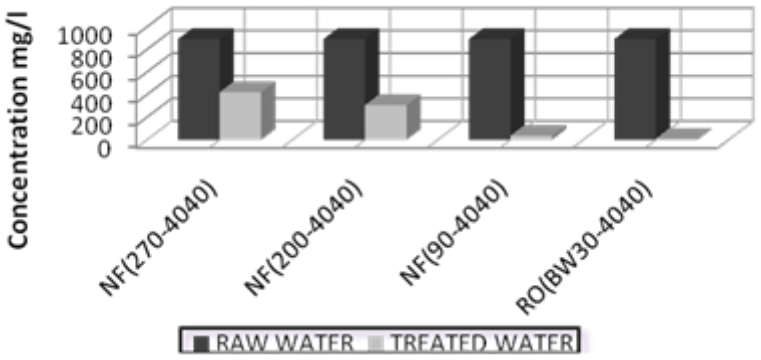
الشكل (2) النتائج الحسابية لتغير التراكيز الأيونية في المياه (نهر دجله) بأستخدام المرشح النانوي نوع 4040-270.



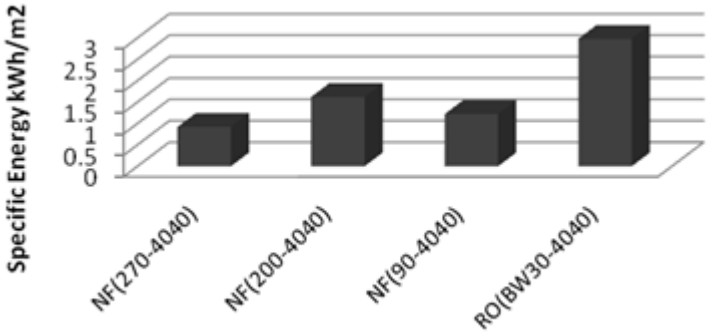
الشكل (3) النتائج الحسابية لتغير التراكيز الأيونية في المياه (نهر دجله) بأستخدام المرشح النانوي نوع 4040-200.



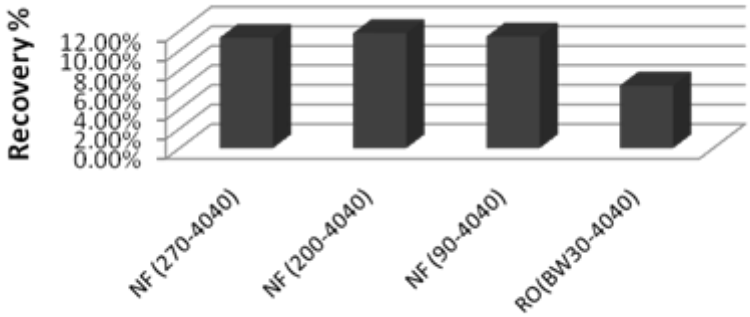
الشكل (4) النتائج الحسابية لتغير التراكيز الأيونية في المياه (نهر دجله) بأستخدام المرشح النانوي نوع 4040-90.



الشكل (5) النتائج الحسابية لتغير تركيز المادة الذائبة الكلية (TDS) في المياه (نهر دجله) بأستخدام المرشحات النانوية نوع 270–4040، 200–4040، 90–4040، وغشاء التنافذ العكسي نوع BW30-4040.



الشكل (6) النتائج الحسابية للطاقة النوعية المستهلكة بأستخدام المرشحات النانوية نوع 270–4040، 200–4040، 90–4040، وغشاء التنافذ العكسي نوع BW30-4040.



الشكل (7) نسبة الأسترجاع المعتمدة في حسابات المرشحات النانوية نوع 270–4040، 200–4040، 90–4040، وغشاء التنافذ العكسي نوع BW30-4040.

يمكن ايجاز نتائج الحسابات النظرية بتطبيق المرشحات النانوية وغشاء التنافذ العكسي أزالة العسرة (softening Water) وتحلية المياه لنهر دجلة يمكن إدراجها بما يلي:

كانت أعلى نسبة تخفيض لتركيز أيون الكالسيوم (Ca) بالنسبة للمرشحات النانوية الخاصة بشركة (Dow-Filmtec وكما مبينة في الاشكال (2، 3، 4، 6) هي 97% باستخدام المرشح نوع (NF90-4040) بطاقة نوعية بحدود (1.22 كيلو واط ساعة/م^3) بينما كان مقدار التدفق عبر الغشاء لوحدة المساحة الفعالة للمرشح (Flux) بحدود (27.75 لتر/م^2.ساعة)، في حين يمكن استخدام الغشاء نوع (NF270-4040) بثلاثة ارباع الطاقة النوعية مقارنة بالمرشح السابق وبنفس مقدار التدفق (Flux) تقريبا" وبنسبة ازالة بحدود 50% وهي تلائم نوعية المياه لنهر دجلة.

كانت اكبر نسبة تخفيض لتركيز أيون الصوديوم (Na) وأيون المغنسيوم (Mg) بأستخدام المرشح (NF90-4040) أما بالنسبة للمرشحين الاخرين الخاصة بشركة (Dow-Filmtec) فيمكنهما تخفيض تركيز هذه الايونات الى الحدود المسموح بها لمياه الشرب وبطاقة نوعية أقل.

كانت نسبة التخفيض بتركيز االمواد الذائبة الكلية (TDS) وكما موضح في الشكل (5) بأستخدام المرشح النانوي (NF270-4040) بحدود 53% منتجة مياه ذات تركيز مواد ذائبة كلية أقل من الحدود المسموح بها لماء الشرب (Hilala *et al.*, 2005) وبأقل استهلاك للطاقة مقارنة مع الأنواع الاخرى للمرشحات النانوية الخاصة بشركة (Dow-Filmtec)، كما وان الطاقة النوعية بأستخدام المرشح اعلاه كانت أقل بحدود 70% من الطاقة النوعية عند استخدام غشاء التنافذ العكسي نوع (BW30-4040)، الشكل (5).

4. كانت نسبة الاسترجاع (Recovery) ، الشكل (7)

متقاربة للأنواع المختلفة للمرشحات النانوية و ضعف قيمتها تقريبا" مقارنة بغشاء التنافذ العكسي (BW30-4040).

نتائج الاختبارات التجريبية

توضح الجداول (2، 3، 4) التحاليل العملية لتراكيز الأيونات في الماء الداخل والمنتج من المرشح النانوي وغشاء التنافذ العكسي انتاج شركة KOCH وللذين تم اختبارهما في المنظومة المختبرية الموضحة في الشكل (1). ويبين الشكلان (8 و9) النتائج العملية لتراكيز الايونات (Ca, Mg, Na) قبل وبعد الامرار بكل منهما. وتبين الاشكال (10، 11،12) مقارنة تراكيز أيونات (Ca, Mg) وتركيز المواد الذائبة الكلية المقاسة في الماء المنتج من المرشح النانوي وغشاء التنافذ العكسي مع تلك المحسوبة نظريا" للمرشحات النانوية لشركة Dow-Filmtec بأستخدام برنامج روزا.

الجدول (2) النتائج التجريبية لتحاليل أيونات المياه قبل وبعد المعالجة لنهر دجلة للفترة (7-14/6/2010) بأستخدام المرشح النانوي 4920S/KOCH بأستخدام نوع المرشح النانوي 4920S/KOCH

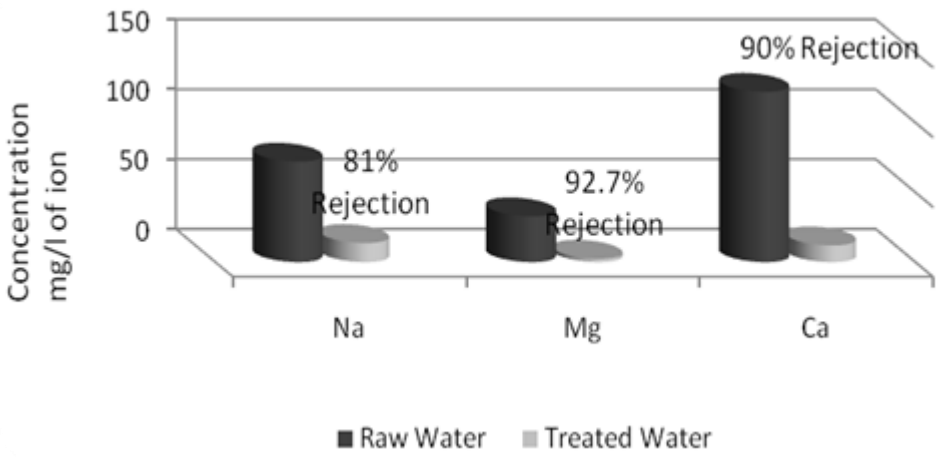
Ions	Raw water (mg/l)	Treated water (mg/l)
Ca^{+2}	122	12.0
Mg^{+2}	32.8	2.4
HCO_3^{-1}	262.3	79
SO_4^{-2}	288	28
Cl^{-1}	110	35
Na^{+1}	72	13.7
T.H as $CaCO_3$	440	40
TDS	492	70

الجدول (3) النتائج التجريبية لتحاليل أيونات المياه قبل وبعد المعالجة لنهر دجلة للفترة (5-12/8/2010) بأستخدام غشاء التنافذ العكسي 4820ULP/KOCH

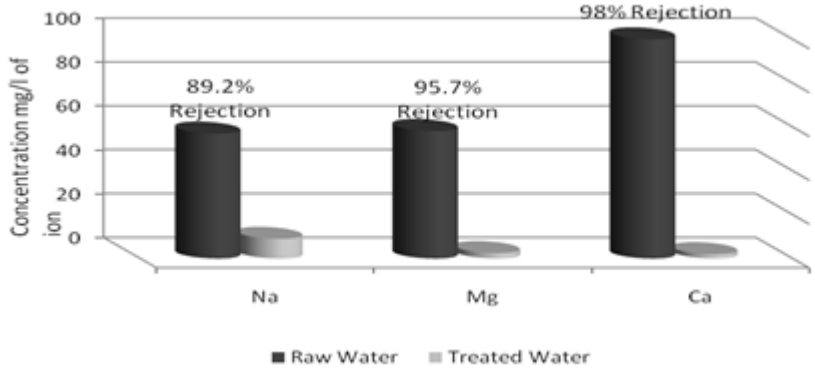
Ions	Raw water (mg/l)	Treated water (mg/l)
Ca^{+2}	100	2.0
Mg^{+2}	43.6	7.2
HCO_3^{-1}	262.3	79
SO_4^{-2}	23	0.0
Cl^{-1}	84.9	9.9
Na^{+1}	35	9.0
K^{+1}	2.8	0.8
T.H as $CaCO_3$	430	60
TDS	565	110

الجدول (4) النتائج التجريبية لايونات المياه قبل وبعد المعالجة لنهر دجلة للفترة (12-19/12/2010) بأستخدام المرشح النانوي 4920S/KOCH

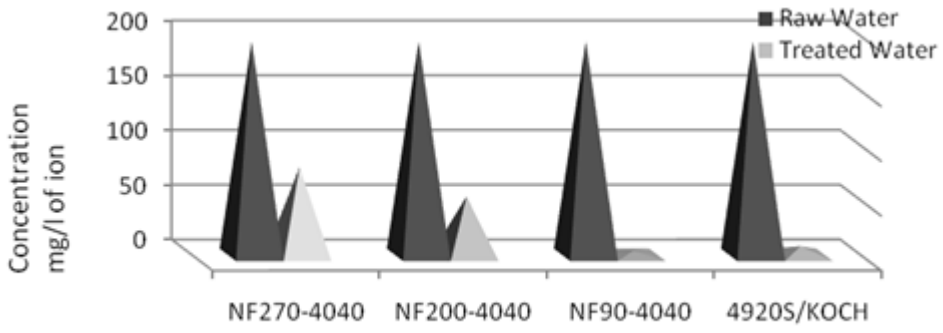
Ions	Raw water (mg/l)	Treated water (mg/l)
Ca^{+2}	195	8
Mg^{+2}	24.9	4.8
SO_4^{-2}	288	28
Cl^{-1}	110	35
Na^{+1}	108	11.2
T.H as $CaCO_3$	590	40
TDS	803	89



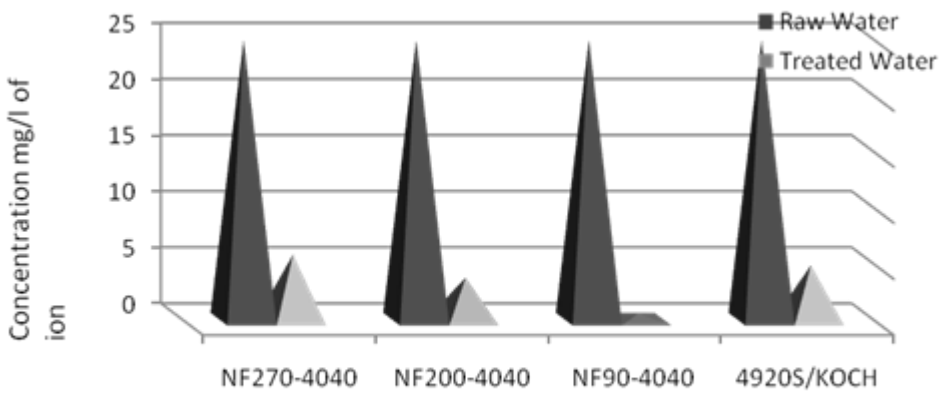
الشكل (8) أداء المرشح النانوي نوع (4920S/KOCH) لمعالجة مياه نهر دجلة



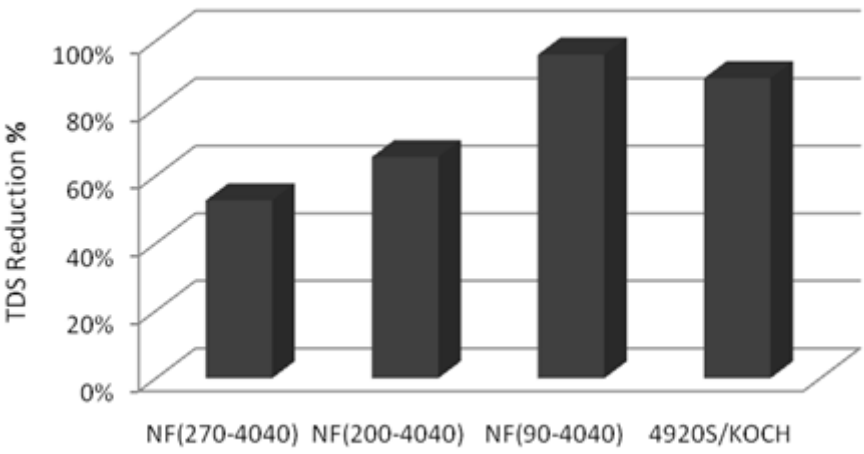
الشكل (9) الأداء التجريبي لغشاء التنافذ العكسي نوع (4820ULP/KOCH) لمعالجة مياه نهر دجلة



الشكل (10) مقارنة الأداء التجريبي للمرشح النانوي نوع (4920S/KOCH) مع الحسابات النظرية للمرشحات النانوية لشركة DOW-Filmtec لتقليل ايون الكالسيوم لمياه نهر دجلة.



الشكل (11) مقارنة الأداء التجريبي للمرشح النانوي نوع (4920S/KOCH) مع الحسابات النظرية للمرشحات النانوية لشركة DOW-Filmtec لتقليل ايون المغنيسيوم لمياه نهر دجلة.



الشكل (12) مقارنة الأداء التجريبي للمرشح النانوي نوع (4920S/KOCH) مع الحسابات النظرية للمرشحات النانوية لشركة DOW-Filmtec لتقليل تركيز المواد الذائبة الكلية لمياه نهر دجلة

يمكن ايجاز النتائج التجريبية لتطبيق المرشحات النانوية وغشاء التنافذ العكسي لتحلية المياه وأزالة العسرة (Water softening) لنهر دجلة يمكن بما يلي:

أن نسبة الإزالة لأيونات (الكالسيوم و المغنسيوم، الصوديوم) بأستخدام المرشحات النانوية جيدة وانها تنتج ماء ذي نوعية تلبي المواصفة الخاصة بمياه الشرب هناك فروقات تركيبية وعملياتية بين المرشحات النانوية وأغشية التناضح العكسي حيث أن الفارق الرئيسي هو درجة ازالة الايونات أحادية التكافؤ بالنسبة للمرشحات النانوية تكون (50 – 90%) اعتماداً على مادة الاغشية وجهة التصنيع وهي أقل وبشكل محسوس من نسبة الأزالة بأستخدام أغشية التنافذ العكسي.

الأستنتاجات

تم في هذه الدراسة التحري النظري والتجريبي لأمكانية تطبيق المرشحات النانوية لإزالة الايونات المسببة للعسرة ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم و المغنسيوم والتحلية لمياه نهر دجلة في مدينة بغداد وأجراء المقارنة بين أداء المرشحات النانوية NF وأغشية التنافذ العكسي RO في كفاءة الأزالة والطاقة المستهلكة في ذلك.

خلصت الدراسة الى ان المرشحات النانوية يمكن ان تنجز التخفيض المطلوب للأيونات ثنائية التكافؤ والمسببة للعسرة مثل (ايونات الكالسيوم والمغنسيوم) بنسبة أكثر من 90% وبضغوط تشغيلية قليلة نسبيا و بمقدار تدفق لوحدة المساحة الفعالة للغشاء (Flux) عالي نسبيا وأستهلاك طاقة قليل مقارنة بأغشية التناضح العكسي، وهي ملائمة لنوعية المياه لنهر دجلة. كما ويمكن استخدام المرشح النانوي نوع 4920S/KOCH وبكفاءة في حالة تدهور نوعية المياه لنهر دجلة وارتفاع العسرة وزيادة تركيز المواد الذائبة الكلية. أن الدراسة الحالية أعتمدت مبدأ قطعة المرشح الواحدة ولاجل الأنتقال للتطبيق الحقلي يتطلب الامر تجربة منظومة ريادية ذات قطع مرشحات متعددة.

References

Alcaina M.; Miranda, S.; Barredo-Damas, A.; Bes-Pi, A. M. ; Iborra-Clar, A. Iborra-Clar and J. Mendoza-Roca. , (2009) Nanofiltration as a Final Step Towards Textile Wastewater Reclamation. Desalination 240, 290-297.

Filmtec Company, (2006) FILMTEC Membranes. http://www.filmtec.com.

Hilala, N. H.; Al-Zoubia, W. ; Mohammad and Darwish, N. , (2005) Nanofiltration of Highly Concentrated Salt Solutions up to Seawater Salinity, Desalination 184, 315–326.

Johan S. B. ; Van der Bruggen, S.; Uytterhoeven and Croux, R. , (1998) Removal of Hardness from Groundwater by Nanofiltration. Desalination 119, 295-302.

Mousa, S. J.; Jaber and Afonso, M. (2003). Desalination of Brackish Water by Nanofiltration and Reverse Osmosis Desalination 157, 167.

Osman, H. K.; Al-Shail ; Khalid, B. H.; Al-Otaibi, A. ; Hassan, A.; Farooque and A.Al-Hamza. , (2005) Nanofilteration (NF) Membrane Pretreatment of SWRO Feed and MSF Make up. Saline Water Conversion Corporation(SWCC), Technical Report No. TR. APP3808 /96008-IIIA.

Richard B. , (2004) Membrane Technology and Applications. Membrane Technology and Research, Inc. Menlo Park, California, John Wiley and Sons Ltd, England.

Robert, C. J. ; Taylor, C. ; Robert., (1999) Surface Water Treatment Using Nanofiltration Pilot Testing Results and Design Considerations.
Desalination 125, 97–112.

Sara, Z. M. ; Fazeli and Mehrabadi, A. , (2009) The Potential Use of Nanofilters to Supply Potable Water in Persian Gulf and Oman Sea Watershed Basin. World Academy of Science, Engineering and Technology 49.

Xiao-Lin, W. W. ; Shang, D. ; Wang, L. and Wu, C. Tu. , (2009) Characterization and Applications of Nanofiltration Membranes: State of the Art Desalination 236, 316–326.