مقارنة بين أغشية النانو (Nanofilters) مع أغشية التنافذ العكسي (Reverse Osmosis) في تحلية المياه السطحية العراقية

د. سعدي كاظم الناصري * ود. محمد فاضل عبد** و سميرة عبدالله** ود. قصي الصالحي**

تاريخ التسلم:3/10/2010
تاريخ القبول:7/4/2011

الخلاصة

تلقى عملية تحليه المياه بأغشية النانو (Nanofiltration, NF) اهتمام كبير عالميا لأسباب عديدة منها قابليتها الجيدة على طرد الأملاح من المياه وارتفاع إنتاجيتها. تبنى هذا البحث تقييم استخدام هذا النوع من الأغشية في تحلية المياه السطحية العراقية، حيث تم استخدام منظومة ريادية صغيرة مع غشاء واحد بقطر 4 بوصة وطول 1 متر لتقييم أداء غشاء NF لتحلية مياه نهر دجلة في بغداد، ومقارنته مع أداء غشاء التناضح العكسي (Reverse Osmosis, RO). أظهرت النتائج إمكانية الحصول على تقريبا ضعف معدل تدفق المياه المنتجة وبتركيز ملحي اعلى من أغشية ال RO ولكن ضمن الحدود المنطقية وإنفاق ما يقرب من 20٪ أقل من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المنظومة عند استخدام أغشية NF بدلا من أغشية RO. التركيز الملحي في المياه المنتجة عبر غشاء NF مازال منخفض بما يكفي للسماح لمزيد من التعديل لنوعية مياه الشرب. بين غشاء NF قدرة لرفض الأيونات أحادية التكافؤ أقل من تلك للأيونات ثنائية التكافؤ، وبصفة عامة فإن قدرة الرفض للأملاح كانت أكثر من 88 ٪.

الكلمات الدالة : Nanofiltration، التناضح العكسي، المياه السطحية، تحلية المياه، العسرة

الزيادة في مساحة المجمع الشمسي تؤدي إلى زيادة في قيمة الكسر الشمسي(f) والذي قد تصل قيمته إلى (0.97) عندما تكون مساحة المجمع الشمسي $400m^2$ وحجم الخزان $20m^3$.

Comparison Between Nanofilters and Reverse Osmosis Membrane In Desalination Iraqi Surface Water

Abstract

Nanofiltration (NF) has received increased attention as a possible treatment process providing high rejection of solutes and high water flux rate. Using NF as a desalination process for Iraqi surface water is considered in this research. A small system with one membrane of 4 inch diameter and 1 meter long was used to evaluate the performance of NF membrane for the desalination of Tigris River water in Baghdad, and compare it with a reverse osmosis (RO) membrane. The results showed that one could get double the permeate flow rate and spend about 20% less electric power when using NF membranes instead of RO membranes. Permeated water TDS values for NF membrane are low enough to allow for further adjustment for drinking water quality. NF rejection capacity for monovalent ions is lower than that of the divalent ions, and in general the salt rejection capacity is above 88%.

1- المقدمة

الماء ضروري للحياة، ومع ذلك فإن الملايين من الناس في جميع أنحاء العالم يواجهون نقص في المياه ويكافحون لتأمين المياه الصالحة للشرب ولاحتياجاتهم الأساسية اليومية. سبب ذلك هو وجود فقط أقل من 0.5% من موارد المياه في الأرض متاح كميـــاه عذبـــة للاســـتهلاك البشـــري أو

* وزارة العلوم والتكنولوجيا/ بغداد
** قسم الهندسة الكيمياوية، الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/ etj.29.7.17
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

للاستخدامات الزراعية والصناعية. في الوقت الحاضر أصبحت عملية تحلية المياه ضرورية في جميع أنحاء العالم وأصبح سعرها ينافس الخيارات الأخرى المتاحة لمعالجة المياه [1].

تم تطوير العديد من الأساليب لمعالجة وتنقية المياه وهذه الأساليب تسعى لتوفير إمدادات مياه صالحة للشرب وخالية من الرواسب والمعادن والمواد الكيميائية الضارة والشوائب الميكروبيولوجية. من بين هذه الأساليب، تعتبر تكنولوجيا الأغشية واحدة من أكثر الوسائل الهامة في هذا المجال، وهناك توسع في تطبيقها في جميع أنحاء العالم. تم إصدار العديد من الكتب والمنشورات لتوضيح الآليات الأساسية والتطبيقات المختلفة لهذه العمليات منذ ستينات القرن الماضي [2-6]. وعلى الرغم من ارتفاع الكلف الثابتة الأولية لتقنيات تحلية المياه بالأغشية، فإن إعادة استخدام المياه المالحة أو العادمة يمثل تعويضا جزئيا مهما لهذه الكلف [7].

تم استخدام العديد من الأغشية التي تعمل على فصل الشوائب من المياه على أساس حجم هذه الشوائب، ويمكن أن يتم توصيفها على النحو التالي [8]:

1. أغشية الترشيح الجزيئي (Micron Filters, MF): وهي أغشية ذات نفاذية مسامية بحجم يتراوح بين 0.1-3 مايكرون وضغوط التشغيل لها أقل من 2 بار. تعزل هذه المرشحات كمية كبيرة من المواد الصلبة العالقة، في حين تمرر الصغيرة منها وجميع المواد الصلبة الذائبة والمواد العضوية.
2. أغشية فائقة الترشيح (Ultrafilters, UF): وهي أغشية ذات نفاذية مسامية بحجم يتراوح بين 0.005-0.1 مايكرون وضغوط التشغيل لها بين 1 و 10 بار. تعزل أغشية الترشيح الفائق المواد الصلبة والزيوت والبكتيريا، والجزيئات الكبيرة والبروتينات، في حين تمر معظم المركبات العضوية الصغيرة، والأحماض، والمركبات القلوية.
3. أغشية النانو (Nanofilters, NF): وهي أغشية ذات نفاذية مسامية بحجم يتراوح بين ما يقرب من 0.0005-0.005 مايكرون وضغوط التشغيل لها بين 5 و 40 بار. تعزل أغشية NF جميع المواد الصلبة، والبكتيريا، والمركبات العضوية، وألأملاح ثنائية التكافؤ، في حين تمر نسبة عالية نسبيا من ألأملاح أحادية التكافؤ والأحماض والمركبات القلوية.
4. أغشية التناضح العكسي (Reverse Osmosis, RO): وهي أغشية ذات نفاذية مسامية بحجم يتراوح في نطاق 0.0005 مايكرون وضغوط التشغيل لها عموما ما بين 10 و 100 بار. تعزل هذه الأغشية جميع المواد الصلبة، والبكتيريا، والجزيئات، والمركبات العضوية والأملاح ثنائية التكافؤ، والأملاح أحادية التكافؤ، والأحماض والمركبات القلوية، بينما يمر الماء النقي من خلالها.

على الرغم من انخفاض تكاليف أغشية RO بشكل كبير، فإن كلف المياه المنتجة لا يزال مرتفعا إلى حد ما، بالمقارنة مع غيرها من مصادر المياه الصالحة للشرب، ويرجع ذلك أساسا إلى كلف التشغيل العالية المطلوبة. بناء عليه فقد اجتذب غشاء NF قدرا كبيرا من الاهتمام لاستخدامه في تخفيض العسرة أو إزالة الملوثات المختلفة من مصادر مياه الشرب. يمكن استخدام هذه الأغشية في تقليل أو إزالة المواد الصلبة الذائبة (TDS)، والعسرة واللون والمواد الكيميائية المختلفة، والمواد العضوية ذات الوزن الجزيئي العالي مثل أحماض الفولفك والهيومك (والتي يمكن أن تؤدي الى تكوين نواتج ثانوية عند تعقيم المياه بالكلور؛ مثل Trihalomethanes) [9].

منذ سبعينات القرن الماضي نمت تكنولوجيا الأغشية في عمليات تصنيع مياه الشرب نموا مطردا [8]، حيث انحصرت في البداية في الولايات المتحدة والشرق الأوسط. أما اليوم فإن هذه التطبيقات آخذة في التوسع بسرعة في جميع أنحاء العالم. عالميا، حيث يتم يوميا إنتاج 9 مليون $م^3$ من المياه المعالجة باستخدام أغشية RO و مليون $م^3$ باستخدام أغشية NF و UF [8].

المياه السطحية في العراق

المصدر الرئيسي للمياه السطحية في العراق هو نهري دجلة والفرات والتي تنبع من تركيا وتمر بسوريا قبل الدخول إلى الأراضي العراقية لتنتهي بشط العرب جنوبا ثم الخليج العربي. تختلف نوعية هذه المياه في جميع أنحاء البلاد على نطاق واسع، ويمكن أن تتميز باحتوائها على تركيز عالي من المواد الصلبة الذائبة والعالقة وأحيانا المعادن الثقيلة، وتشمل الكربونات والكبريتات والكلوريدات والكالسيوم والمغنيسيوم، وفي بعض المواقع، النترات. تتميز مياه الأنهار العراقية بعسرتها العالية واحتواءها على مواد بيولوجية، وملوثات مختلفة، ومحملة بالبكتيريا، وما لم يتم تنقية هذه المياه والتعقيم بالكلور فمن الممكن انتشار أوبئة وأمراض مثل الكوليرا والتهاب الكبد الوبائي والتيفوئيد. تراقب وزارة البيئة العراقية نهري دجلة والفرات من خلال مراكز اختبار موزعة على طول عمود النهرين من دخولها إلى العراق (في شمال العراق) حتى يجتمعان معا ويشكلان نهر "شط العرب" (في جنوب العراق). أظهرت البيانات التي تم جمعها أن عسرة الماء تتراوح بين 200-1000 ملغم/لتر $CaCO_3$، وكما مبين في الشكل-1 [10]. ونتيجة لهذه العسرة العالية ، فإنه يعتقد أن أغشية NF ستعمل جيداً وتنافس أغشية التناضح العكسي لإنتاج مياه الشرب من المياه السطحية بسبب ارتفاع معدلات رفض الأيونات ثنائية التكافؤ، مثل أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

منذ عدة سنوات وحتى الآن، يعاني العراق، فضلا عن غيره من بلدان الشرق الأوسط، من انخفاض حاد في كميات مياه الأمطار رافقه زيادة في القدرات التخزينية لمياه النهرين في دول الجوار. أدت هذه الأسباب إلى تقليل كمية المياه المتاحة في الأنهار وأسهمت في خفض مناسيب المياه وتدهور نوعيتها وزيادة العسرة بشكل كبير في نهري دجلة والفرات. يساهم هذا البحث في الجهود المبذولة نحو تحقيق كفاءة استخدام تكنولوجيات لإنتاج مياه الشرب في العراق بأسعار معقولة وباستخدام أقل مقدار من الطاقة الكهربائية. يتم في هذا البحث دراسة الظروف التشغيلية لمنظومات التحلية التي تستخدم الأغشية بنوعيها RO و NF ومقارنتها من اجل تقييم كفاءة استخدامها في معالجة المياه السطحية العراقية لإنتاج مياه صالحة للشرب بتراكيز ملحية مقبولة.

2- المواد وطرق العمل

2-1 المياه السطحية

جمعت عينات المياه من شبكة التوزيع البلدية في بغداد-الرصافة، وهي مياه معالجة لأغراض الشرب من مياه نهر دجلة. تم استخدام هذه المياه لتغذية منظومة التحلية في حالتين؛ مرة مع أغشية RO وأخرى مع أغشية NF بعد معالجتها بشكل أولي لضمان عدم وجود الكلور الحر فيها لما له من تأثيرات ضارة على سلامة الأغشية ذاتها. تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) في هذه المياه تم تغييره بشكل صناعي من خلال إعادة تدوير المياه المرفوضة من المنظومة إلى خزان التغذية، وبالتالي فإن إعادة تدوير المياه المرفوضة سيزيد من قيمة ال TDS في مياه التغذية عن طريق إضافة أيونات عسرة أكثر للمياه الخام. هذا سيعزز تقييم أداء الأغشية لمدى واسع من مواصفات مياه التغذية مع زيادة في عسرتها. تم إجراء التجارب على مدى واسع من تركيز المواد الصلبة الذائبة لتغطية المدى الموجود عادة في مياه الأنهر العراقية، أي من 800 إلى 2000 ملغم/لتر وعلى مدى من العسرة يصل إلى 1500 ملغم/لتر كـ $CaCO_3$. مواصفات مياه التغذية (المسحوبة من نهر دجلة) مبينة في الجدول-1.

2-2 المعدات و الأغشية المستخدمة

أجريت جميع التجارب في منظومة ريادية تم تنصيبها في مختبرات الجامعة التكنولوجية- قسم الهندسة الكيمياوية. المنظومة عبارة عن وحدة تحلية موضوعة على حامل معدني ومرتبة كما هو مبين في الشكل-2. تتكون المنظومة من مضخة ضغط منخفض، ومرشحات مايكروية عدد/2 (حجم 5 و 1 مايكرون)، ومضخة ضغط العالي ووعاء خاص بالأغشية المستخدمة مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) بقطر 4 بوصة وطول 1.0 متر. تم تجهيز وعاء الغشاء لكل تجربة إما بغشاء

RO نـــوع Hydranautics ESPA1-4040، أو غشاء NF نوع Hydranautics ESNA1-4040، حيث يستخدم غشاء واحد فقط في المنظومة في كل تجربة. تشترك هذه الأغشية بـأن لها مساحة تبلغ 85 ft^2 وتعمل بحرارة لاتتجاوز 45 درجة مئوية و تتحمل ضغط لغاية 41.6 بار. لكنها تختلف بمقدار رفض الملح فقدرة ال RO تصل لغاية 99% بينما قدرة ال NF تصل إلى 90% (حسب استمارة المعلومات المصنعية للشركة المنتجة). تم تجهيز المنظومة بالعديد من أجهزة القياس؛ مثل مقياس تدفق المياه عدد/3، ومقاييس الضغط عدد/3، ومقياس الموصلية الكهربائية (Electric conductivity, Ec) للمياه المنتجة والمغذية للمنظومة. تم استخدام خزانات من البولي ايثيلين لتهيئة المياه المغذية أو تجميع المياه المنتجة.

3-2 التحاليل

تم قياس الموصلية الكهربائية (Ec) باستخدام أجهزة قياس ملحقة بالمنظومة. يتم تدقيق القياسات باستخدام جهاز محمول لقياس الموصلية الكهربائية وقياس تركيز لمواد الصلبة الذائبة وقياس الأس الهيدروجيني pH من إنتاج شركة Hanna-USA. تم تأكيد قياس المواد الصلبة الذائبة (TDS) باستخدام الطريقة القياسية رقم C2540 [11]، معدلات تدفق المياه والضغوط تم قياسها باستخدام أجهزة قياس ملحقة بالمنظومة. تم قياس العسرة وتركيز أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم باستخدام أسلوب التسحيح Titrimetric [11]. تم إجراء التحاليل التفصيلية لنماذج المياه في مختبرات وزارة العلوم والتكنولوجيا- مركز بحوث المياه.

معاملات أخرى تم حسابها من أجل تقييم الأغشية؛ مثل

نسبة رفض الأملاح (Salt rejection)، وهو عامل يعبر عن قدرة أغشية التناضح العكسي لطرد المواد الصلبة مع المياه المرفوضة، ويمكن حسابه للتركيز الملحي الأجمالي في المياه أو لآيون معين وكما يلي:

$$Salt\ rejection = 1 - \frac{Permeate\ water\ TDS}{Feed\ Water\ TDS}$$

$$Ions\ rejection = 1 - \frac{Permeate\ Water\ Concentration}{Feed\ Water\ Concentration}$$

- وعامل استعادة المنظومة أو الوحدة (Unit Recovery) يحسب على النحو التالي:

$$Unit\ recovery = 1 - \frac{Permeate\ water\ Flow\ rate}{Feed\ Water\ Flow\ rate}$$

- أما معدل استهلاك الطاقة الكهربائية فيتم تقديره مباشرة من العلاقة النسبية لقيم ضغط المياه الداخل إلى الغشاء.
- علاقة معدل التدفق مع الضغط التشغيلي أو الضغط عبر الغشاء (P_{tm}) والضغط الأزموزي ($\pi\Delta$) هي:

$$Flowrate = Constant\ (P_{tm} - \Delta\pi)$$

3- النتائج والمناقشة

أجريت التجارب في الفترة من تموز إلى تشرين الثاني من عام 2009، في مختبرات قسم الهندسة الكيميائية في الجامعة التكنولوجيا في بغداد، وكانت النتائج كما مبين في الأشكال 3-11.

يبين الشكل-3 العلاقة بين معدلات تدفق المياه المنتجة في المنظومة باستخدام غشاء NF أو غشاء RO لمختلف قيم الضغط لمياه التغذية (ضغط مضخة الضغط العالي). تكررت التجارب لمدى من تراكيز المواد الصلبة الذائبة لمياه التغذية تراوح بين 800 و 2000 ملغم/لتر. يمكن ملاحظة إن كمية المياه المنتجة في المنظومة عند استخدام أغشية NF هو أكثر من ضعف ما تنتجه المنظومة مع غشاء التناضح العكسي RO. كما يمكن ملاحظة أن لتركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية تأثير طفيف على الأداء النسبي للمنظومة عند استخدام أي من الغشاءين. تم حساب معدل استعادة المنظومة (Unit Recovery) من معدلات تدفق المياه، والنتائج معروضة في الشكل-4. تطابق النتائج تلك التي تم الحصول عليها في الشكل-3 لأن معدل تدفق المياه حصل لمعدلات تغذية ثابتة تقريبا على طول التجارب. هنا أيضا يمكن للمرء أن يستنتج أن إن إنتاجية المنظومة عند استخدام أغشية NF هو أكثر من ضعف ما تنتجه المنظومة مع غشاء التناضح العكسي

من البديهي إن تقليل ضغط مياه التغذية له تأثير مباشر على مقدار استهلاك الطاقة الكهربائية. وبعبارة أخرى، يمكن للمرء

الحصول على حوالي ضعف معدل تدفق المياه المنتجة باستهلاك ما يقرب من 20٪ أقل من الطاقة الكهربائية على منظومات تحلية المياه باستخدام أغشية NF بدلا من أغشية التناضح العكسي RO عند تحلية المياه السطحية في العراق. أوصت الشركة المصنعة للأغشية باستخدام ضغط 5 بار لتشغيل غشاء NF، وبالتالي سيتم اعتماد هذه القيمة في التجارب القادمة وضغط بقيمة 6 بار لغشاء التناضح العكسي.

يوضح الشكل-5 العلاقة بين تدفق المياه المنتجة في غشاء NF أو غشاء RO لمدى من تركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية. يمكن ملاحظة انخفاض تدفق المياه المنتجة في كلتي الحالتين بنحو 16٪ عند زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية من 800-2000 ملغم/لتر. هذا له ما يبرره نظرا لحقيقة أن زيادة المواد الصلبة الذائبة في الماء يؤدي إلى استهلاك الطاقة من خلال ارتفاع الضغط التنافذي (Osmotic pressure) بغض النظر عن نوع الغشاء المستخدم. بناء عليه ستعمل منظومات تحلية المياه في المحافظات الجنوبية في العراق بمعدلات إنتاج أقل من تلك العاملة في وسط أو في شمال العراق. مرة أخرى، تبرز أهمية استخدام غشاء NF وذلك بالاستفادة إنتاجيته العالية بالمقارنة مع المنظومات التي تعمل بأغشية التناضح العكسي RO لتعويض هذا الانخفاض في الإنتاجية. يبين الشكل-6 تأثير زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية على نوعية المياه المنتجة. يلاحظ وجود علاقة خطية بين تركيز المواد الصلبة الذائبة في المياه المنتجة مع تلك التي في مياه التغذية، حيث يزداد التركيز الملحي في المياه المنتجة مع زيادة المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية. ميل هذه العلاقة الخطية لأغشية NF اكبر منه في حالة أغشية RO ، وهذا يؤكد ما خرج به العديد من الباحثين في زيادة التركيز الملحي في المياه المنتجة في أغشية NF أكثر من تلك المنتجة في غشاء RO. يرجع ذلك إلى كبر حجم المسامات في غشاء NF مقارنة مع غشاء RO. على الرغم من ذلك، فإن المياه المنتجة في المنظومة تعتبر ذات نوعية جيدة عند التشغيل في أي نوع من الأغشية على حد سواء، وقيم المواد الصلبة الذائبة كانت منخفضة للغاية، مما يسمح بمرونة عالية في تعديل مياه الشرب النهائية، وبغض النظر عن قيمة عسرة مياه التغذية.

كفاءة الأغشية من ناحية قدرتها على رفض الملح (Salt rejection) مبينة في الأشكال 7- 9. الشكل-7 يبين أثر زيادة ضغط مياه التغذية وتركيز المواد الصلبة الذائبة فيها على أداء الأغشية. أظهر غشاء RO رفض للملح (99٪) أعلى من غشاء NF (حوالي 96٪). قدرة غشاء NF العالية سببها نسبة الأملاح الموجودة في المياه العراقية والتي يكون تركيز الأملاح الثنائية التكافوء فيها أبر من تركيز الأملاح الأحادية التكافوء. بينت النتائج انخفاض قدرة الأغشية على رفض الملح مع زيادة المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية، بينما أظهرت زيادة ضغط مياه التغذية تغييرات طفيفة في رفض الملح لكلا الغشاءين. فيما يخص غشاء NF فإن قيمة الرفض تزداد مع زيادة ضغط التغذية (وبالتالي زيادة تدفق المياه المنتجة)، مما يدل على أهمية مساهمة النقل بالانتشار (Diffusion transport) عند التدفق المنخفض والنقل بالحمل (Convection transport) في حالة التدفق العالي [8]. الشكل-8 و الشكل-9 يظهران مقارنة بين قدرة الأغشية على رفض الأيونات ثنائية التكافؤ والأيونات أحادية التكافؤ في حالة تغيير ضغط مياه التغذية ولحالتين من تركيز المواد الصلبة الذائبة في المياه 800 و 2000 ملغم/لتر على التوالي. تم اختيار ايونات الكالسيوم (Ca) والصوديوم (Na) لتمثيل قيم الأيونات ثنائية التكافؤ و الأيونات أحادية التكافؤ على التوالي. يتضح من الشكلين أن لغشاء RO قدرة رفض عالية (أكبر من 98٪) للأيونات ثنائية التكافؤ والأحادية التكافؤ على حد سواء، بينما كان لزيادة الضغط تأثير بسيط يتضح أكثر عند زيادة الضغط حتى 10 بار حيث يلاحظ انخفاض طفيف بهذه القدرة لاسيما للأيونات أحادية التكافؤ (97٪). فيما يخص غشاء NF، فمن الملاحظ وجود فرق واضح بين قدرة الرفض للأيونات أحادية التكافؤ (88٪) والقدرة على الرفض الأيونات ثنائية التكافؤ (96٪). يمكن

تعليل هذه الحالة بمايلي: إن زيادة الضغط ستؤدي إلى زيادة التدفق وبالتالي زيادة سرعة نفاذ الماء بالمقارنة مع سرعة الأملاح وبالتالي ستزداد قدرة الغشاء على الرفض. لكن هناك حد أعلى يزداد بعده مرور الملح مع زيادة التدفق وبالتالي تقل قدرة الغشاء على الرفض وبالتالي تقل نوعية المياه المنتجة. مرة أخرى، لم يكن لزيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية تأثير واضح على هذه القدرة، بينما أدت زيادة ضغط المياه إلى 7 بار إلى تقليل هذه القدرة قليلا وخاصة بالنسبة للأيونات الأحادية التكافؤ (86٪). هذه النتائج مهمة لأن المعالجة بأغشية NF للمياه السطحية العراقية بدلا من أغشية RO سيؤدي الى تخفيض العسرة إلى الحدود المقبولة حتى في تركيز عالي من عسرة مياه التغذية (حتى 1500 ملغم/لتر كـ CaCO3) في عملية تحلية المياه.

4- **الاستنتاجات**

على الرغم من إن العديد من النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل قد يكون واضحا للخبراء في مجال تكنولوجيا تحلية المياه باستخدام الأغشية، إلا إن تطبيق أغشية NF في مجال تحلية المياه السطحية العراقي يحتاج إلى دليل من هذا القبيل لحساب فوائد تطبيقه والاستفادة من منظومات التحلية الحالية والحد من الكلف التشغيلية والاستهلاك العالي للطاقة الكهربائية. نستنتج من البحث ما يلي:

1- يمكن الحصول على ضعف تدفق المياه المنتجة وإنفاق ما يقرب من 20٪ أقل من الطاقة الكهربائية على منظومات تحلية المياه باستخدام أغشية NF بدلا من أغشية التناضح العكسي RO.
2- قيم المواد الصلبة الذائبة في المياه المنتجة في كلا الغشاءين تزداد مع زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية، ولكن رغم ذلك فإن نوعية المياه المنتجة كانت جيدة، وقيم تركيز المواد الصلبة الذائبة فيها كانت منخفضة للغاية، وبما يسمح لمزيد من التعديل لنوعية مياه الشرب النهائية.
3- قدرة غشاء RO لرفض الملح، بصورة عامة، أعلى من تلك لغشاء NF، وإن زيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة لمياه التغذية أو تغيير ضغطها يخلق اختلافات صغيرة في قدرة الرفض هذه. قدرة الرفض لغشاء NF لأيونات أحادية التكافؤ (88٪) وهي أقل من قدرة الرفض لأيونات ثنائية التكافؤ (96٪). هذا يضمن امكانية أغشية NF على تخفيض عسرة المياه المنتجة إلى ما دون الحدود المقبولة حتى في القيم العسرة المرتفعة من المياه السطحية العراقية.

5. References

[1] Ian C. Watson; O.J. Morin, Jr.; and Lisa Henthorne, (2003) Desalting Handbook for Planners, Third Edition, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 72, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Water Treatment Engineering and Research Group.

[2] Ulirch Merten (1966), "Desalination by Reverse Osmosis", MIT press, USA

[3] M. Cheryan, (1998) "Ultrafiltration and microfiltration handbook", Technomic Publishing Company, Lancaster

[4] Hisham T. El-Dessouky and Hisham M. Ettouney, (2002), "Fundamentals of Salt Water Desalination", Elsevier B.V.

[5] United States Army, (2005) "Water Desalination". University Press of the Pacific

[6] Norman N. Li, Anthony G. Fane, W. S. Winston Ho, and T. Matsuura (2008) "Advanced membrane technology and applications", John Wiley & Sons, Inc.

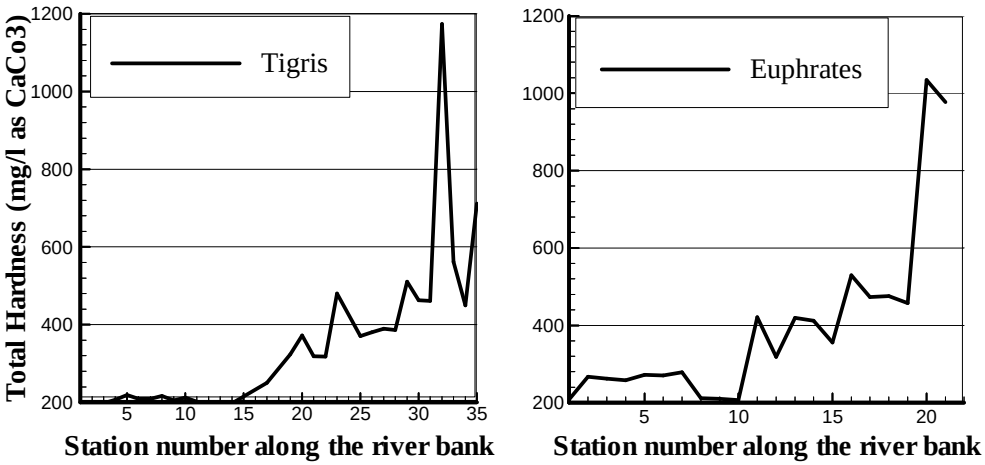
7. A. H. Hassani; R. Mirzayee; S. Nasseri; M. Borghei; M. Gholami;

Selected Applications", in Membrane Handbook, W.S.W. Ho and K.K. Sirkar, ed., pp. 312-354, Van Nostrand Reinhold, New York
10. Report on Environmental Status in Iraq, Ministry of Environment, Iraq, 2007.
11. APHA, AWWA, and WEF, (1999) "Standard Methods for the Examination of Water.

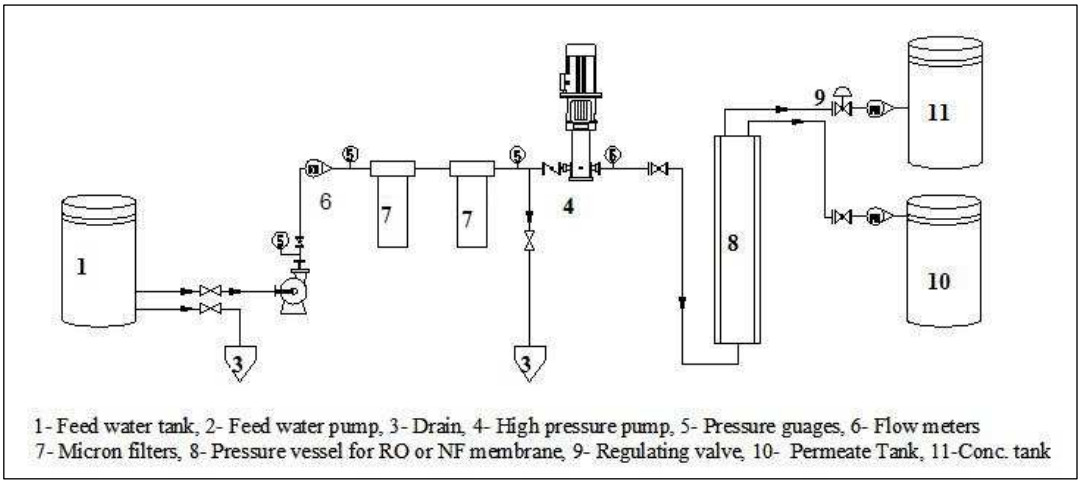
and B. Torabifar (2008) Nanofiltration process on dye removal from simulated textile wastewater, Int. J. Environ. Sci. Tech., 5 (3), 401-408
8. Johannes M.K. Timmer, (2001) "Properties of nanofiltration membranes; model development and industrial application" PhD thesis, Tecnische Universiteit Eindhoven
9. Williams, M.; Bhattacharyya, D.; Ray, R., and McCray, S.(1992),"

الجدول-1: التحليل الفيزيائي والكيميائي لمياه التغذية المستخدمة في منظومة اختبار الغشاء

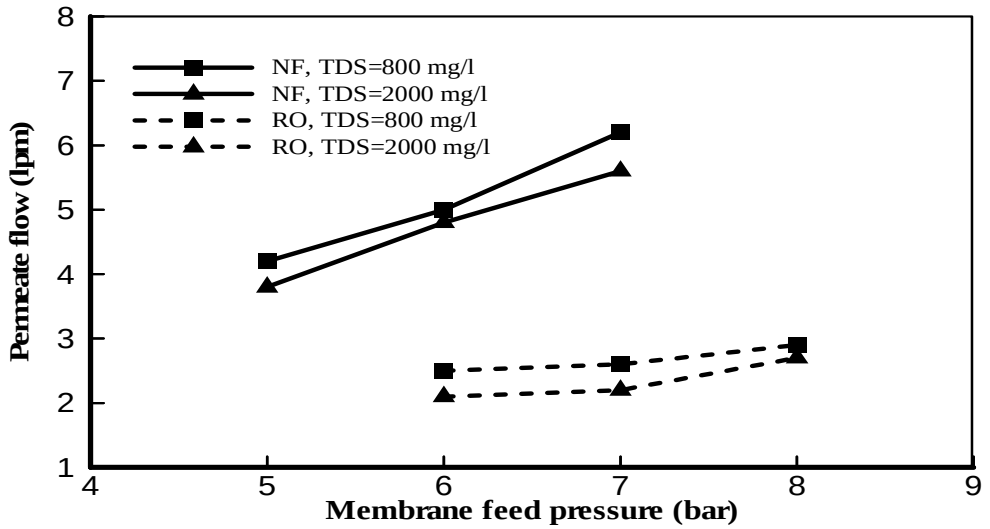
Measured values during the tests (2009)	Iraqi Drinking water guideline (2009)	Units	Parameter
5	5	NTU	Turbidity
7.4 – 8.0	6.5-8.5		pH
800 -2000	1000	mg/l	TDS
1400 – 3700		µS/cm	Elec. Cond.
590 - 1500	500	mg/l as $CaCO_3$	T. Hardness
90 – 240	300	mg/l	Sodium (Na)
2.6 – 4.0		mg/l	Potassium (K)
88 – 220	5050	mg/l	Calcium (Ca)
57 – 160	5050	mg/l	Magnesium (Mg)
270 - 900	250	mg/l	Chloride (Cl)
90 – 240	250	mg/l	Sulphate (SO_4)
177- 230		mg/l	Bicarbonate



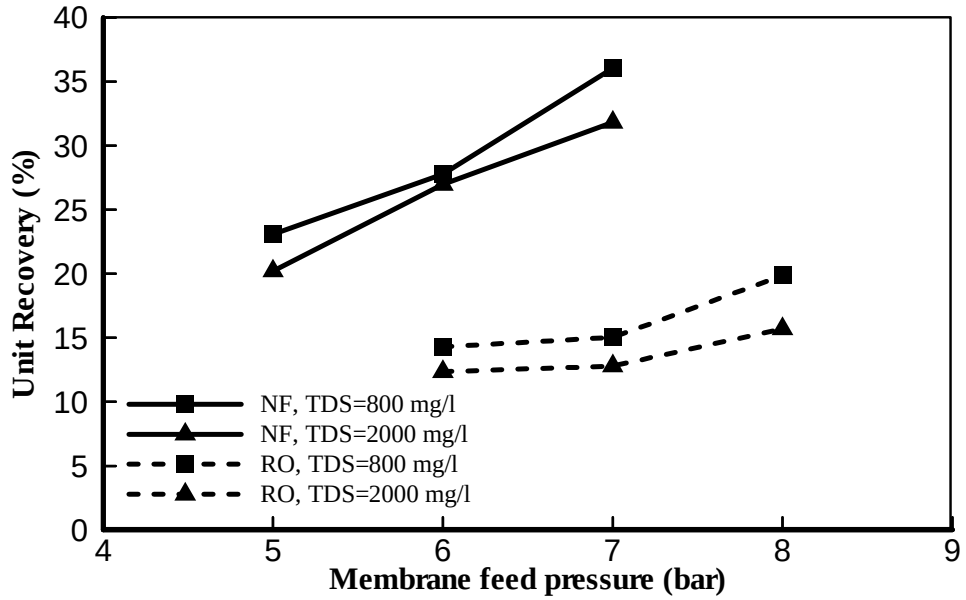
شكل-1: قيم العسرة لنهري دجلة والفرات كما مقاسه في عام 2007 في مراكز اختبار موزعة على طول ضفاف نهري دجلة والفرات [10]



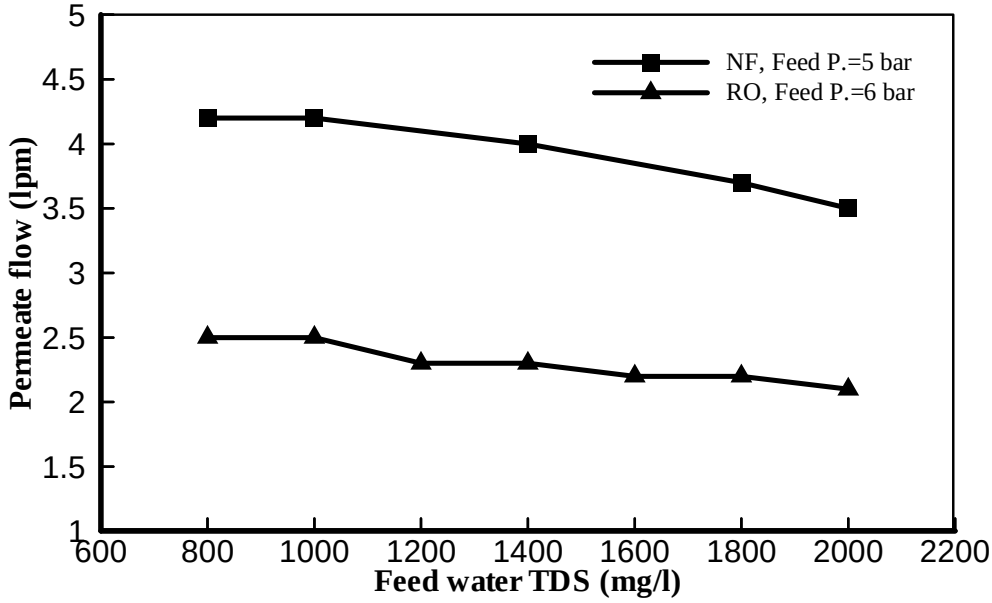
الشكل-2 : رسم بياني تخطيطي لمنظومة اختبار الأغشية



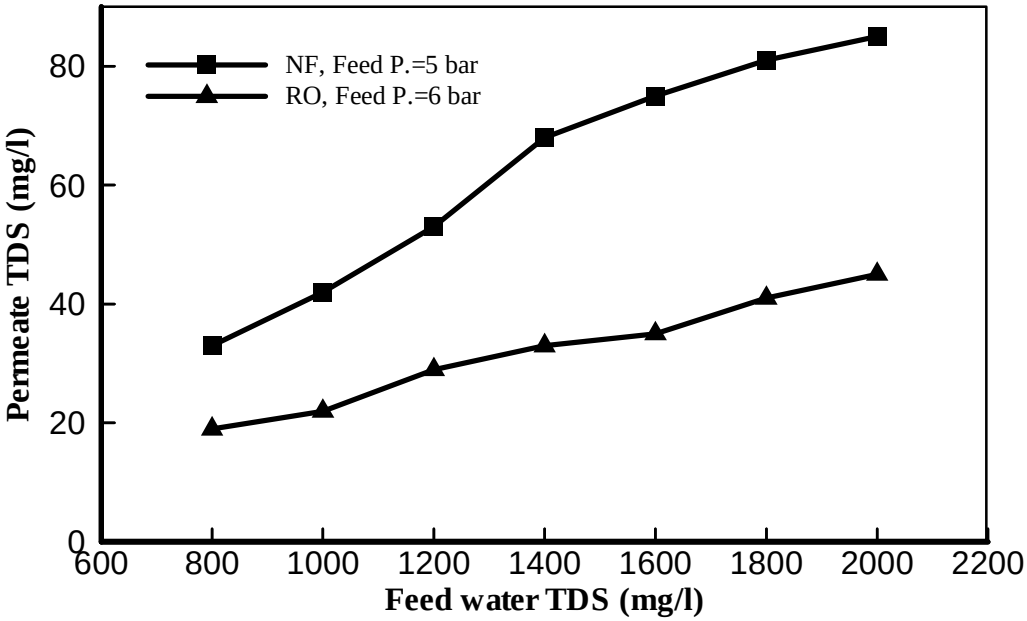
الشكل-3: العلاقة بين معدل تدفق المياه المنتجة مع غشاء NF أو RO عند ضغوط مختلفة لمياه التغذية وتراكيز مختلفة للمواد الصلبة الذائبة فيها



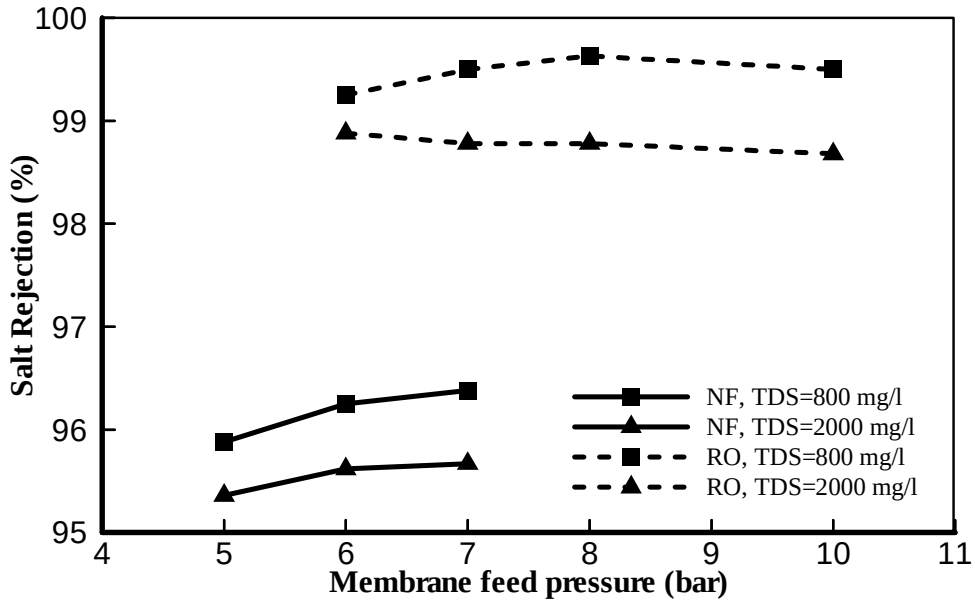
الشكل-4: العلاقة بين إنتاجية المنظومة (Unit recovery) مع غشاء NF أو RO عند ضغوط مختلفة لمياه التغذية وتراكيز مختلفة للمواد الصلبة الذائبة فيها



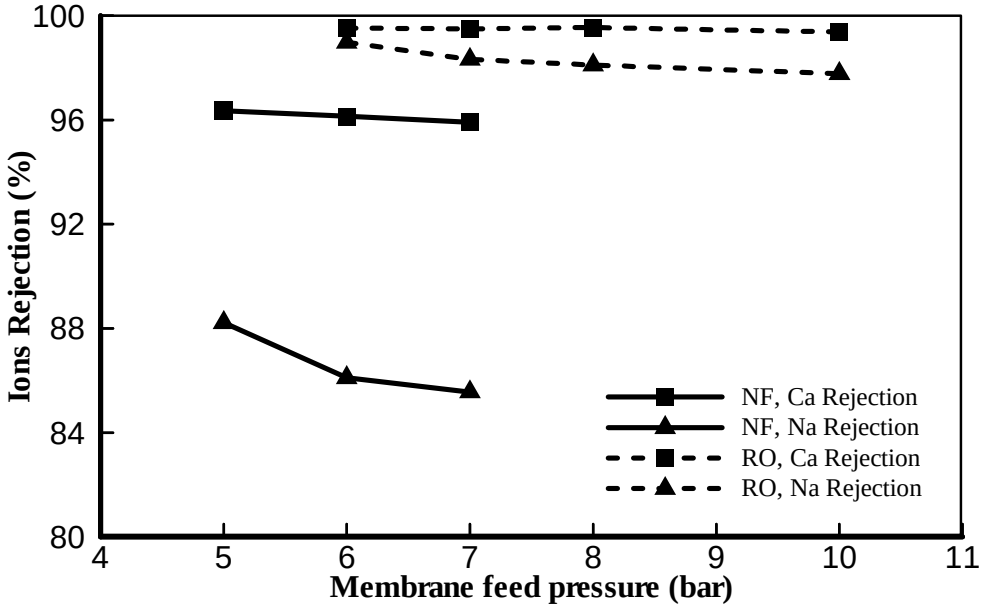
الشكل-5: العلاقة بين معدل تدفق المياه المنتجة مع غشاء NF أو RO عند تراكيز مختلفة للمواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية (TDS)



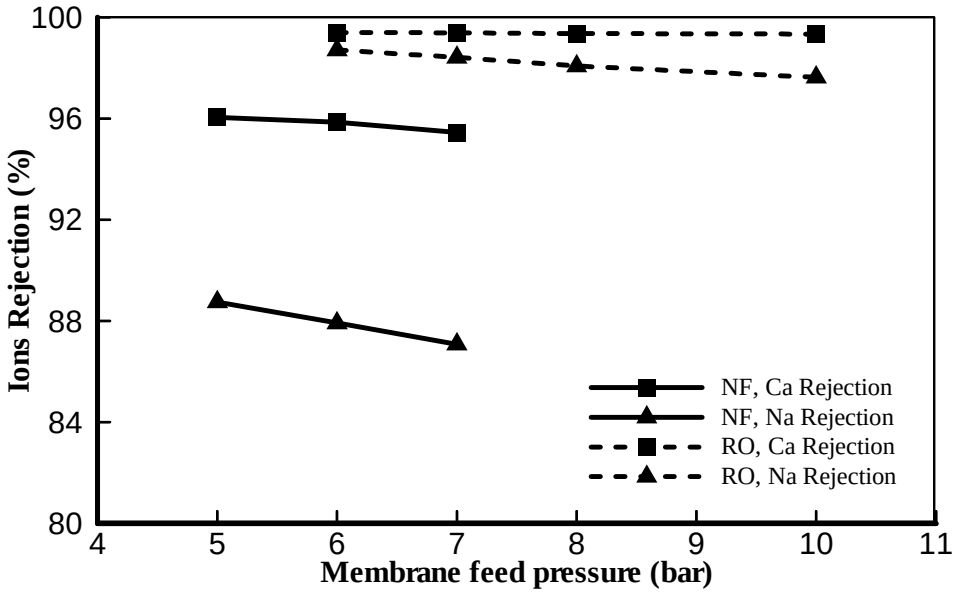
الشكل-6: العلاقة بين قيمة تركيز المواد الصلبة (TDS) للمياه المنتجة مع غشاء NF أو RO عند تراكيز مختلفة للمواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية



الشكل-7: العلاقة بين قيمة رفض الملح (Salt rejection) مع غشاء NF أو RO عند ضغوط مختلفة لمياه التغذية وتراكيز مختلفة للمواد الصلبة الذائبة فيها



الشكل-8: العلاقة بين قدرة الرفض للكالسيوم والصوديوم مع غشاء NF أو RO عند ضغوط مختلفة لمياه التغذية وتركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية = 800 ملغم/لتر



الشكل-9: العلاقة بين قدرة الرفض للكالسيوم والصوديوم مع غشاء NF أو RO عند ضغوط مختلفة لمياه التغذية وتركيز المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية = 2000 ملغم/لتر