

## معالجة المياه الملوثة باستخدام أغشية تعمل بتقنية التناضح العكسي

الدكتور محمد غانم\*

الدكتور علي علي\*\*

مصعب غانم\*\*\*

(تاريخ الإيداع 15 / 6 / 2016. قُبل للنشر في 3 / 8 / 2016)

### □ ملخص □

تم في هذا البحث تصنيع غشاء مكون من طبقتين: طبقة سطحية أساسها البولي فنيل الكحولي وطبقة قاعدية من أسيتات السللوز، وقد تم تعديل الطبقة السطحية بإضافة البولي إيثيلين غليكول والجليسيرين لتحسين انتقائيتها تجاه نبيذ الشوارد المعدنية، ومن ثم عرضت لجرعة ضوئية ثابتة  $32 [J/cm^2]$  بهدف تحقيق تشابك بنيته، ورفع كفاءتها في عملية معالجة المياه المحتوية على شوارد الرصاص والنحاس والكوبالت وذلك باستخدام تقنية التناضح العكسي، وتم مقارنة أداء الغشاء المركب بأداء غشاء مصنع من البولي فنيل الكحولي المعدل بالبولي إيثيلين غليكول والجليسيرين وآخر مصنع من أسيتات السللوز.

وقد بينت نتائج الدراسة ازدياد التدفق عبر الأغشية مع زيادة الضغط المطبق على مياه التغذية، وقد تم الحصول على أعلى قيمة للتدفق في الغشاء المصنوع من البولي فنيل الكحولي  $200 [L/m^2.h]$  عند ضغط  $4 [bar]$ . لوحظ تمزق الغشاء المصنوع من البولي فنيل الكحولي عند تطبيق ضغوط تزيد عن  $4 [bar]$ ، في حين عمل الغشاء المركب والغشاء المصنوع من أسيتات السللوز بكفاءة عند ضغوط أعلى من  $4 [bar]$ .

انخفض نبيذ الأغشية للشوارد بزيادة الضغط المطبق على مياه التغذية، وتم الحصول على أعلى نسب نبيذ للشوارد المعدنية: للرصاص (97%)، يليه للنحاس (96%)، ثم الكوبالت (95%) في الغشاء المركب عند ضغط  $2 [bar]$ .

**الكلمات المفتاحية:** أغشية، تناضح عكسي، جرعة ضوئية، البولي فنيل الكحولي، أسيتات السللوز، معادن الثقيلة.

\* أستاذ - قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

\*\* أستاذ - قسم تقانة الأغذية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

\*\*\* طالب دكتوراه - قسم التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

## wastewater treatment using Reverse osmosis membranes

Dr. Mohammad Ghanem\*

Dr. Ali Ali\*\*

Mosab Ghanem\*\*\*

(Received 15 / 6 / 2016. Accepted 3 / 8 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Poly(vinyl alcohol)(PVA)/cellulose acetate(CA) composite membranes were prepared for metal ions removal from water.

The top layer was modified by polyethylene glycol and glycerin, then irradiated with 32[J/cm<sup>2</sup>] photo dose to improve adequate selectivity for metal ions separation.

The flux of water increased with increasing operating pressure, and the maximum value of flux was 200[L/m<sup>2</sup>.h] at 4[bar] for the membrane(PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>), but this membrane tear after applying pressure above 4[bar], while composite and CA membranes served for long time at pressures higher than (4[bar]).

The rejection of ions decreased as the feed water pressure increased. The maximum percent retention of ions was found to be 97% for Pb<sup>+2</sup>, 96% for Cu<sup>+2</sup>, and 95% for Co<sup>+2</sup> at pressure of 2[bar] in composite membrane.

**Key words:** membranes, Reverse osmosis, photo-dose, poly(vinyl alcohol), acetate cellulose, heavy metals.

---

\* Professor , Department of Mechanical Design, Faculty of Mechanical Engineering– Damascus University, Damascus, Syria.

\*\* Professor , Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering, Tartus University, Tartus, Syria.

\*\*\* Postgraduate student, Department of Mechanical Design, Faculty of Mechanical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

## مقدمة:

مع تطور الصناعة وتقدمها يجري تصريف كميات كبيرة من المعادن الثقيلة السامة مثل (Cu, Cd, Pb, Hg, Co, Zn)، وهذه المعادن تنتج من صناعات متنوعة كصناعة الخلائط، والتعدين، وطلاء المعادن، والدباغة وصناعة البطاريات وغيرها، ويسبب تصريف هذه المعادن إلى الوسط الخارجي مشكلة بيئية خطيرة [1]. وخلال العقود الماضية اكتسبت التقانة الغشائية اهتماماً وانتشاراً واسعاً في إزالة المعادن الثقيلة نظراً للمزايا الكثيرة التي تتمتع بها، كالكلفة المنخفضة، وسهولة التصنيع، كما أنها تجري عند درجة الحرارة العادية، ودون الحاجة لإضافة مواد كيميائية، وهي تتميز بمرودود إزالة مرتفع للمعادن الثقيلة [2].

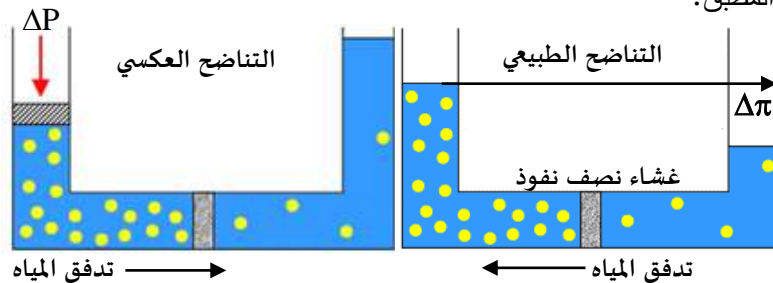
ويعتبر البولي فينيل الكحولي من المواد البوليميرية المناسبة والجاذبة لتصنيع الأغشية المستخدمة في معالجة المياه الملوثة نظراً لطبيعته الهيدروفيلية الذاتية المتأصلة (ألفته للماء) بالتوازي مع خواص الثبات الحراري والميكانيكي والكيميائي المرتفع، وتؤدي ألفته العالية للماء لامتصاصه كمية كبيرة من الماء، مما يستلزم تحقيق تشابك بنيته للحفاظ على استقرار بنيته ضمن الأوساط المائية [3]. ويؤدي استخدام عوامل تشابك كيميائية مثل الغلترألدهيد (GA) لتحقيق تشابك بنية البولي فينيل الكحولي لتوليد مجموعات الخلال (Acetal) ونصف أسيتال (hemi-acetal)، وهو تفاعل يستغرق حوالي ست ساعات، كما تزداد لزوجة محلول الصب بسرعة كبيرة خلال عملية التفاعل مما يجعل عملية إنتاج أغشية بوليميرية بهذه الطريقة غير ناجحة [4]. بينما تؤدي معالجة الغشاء باستخدام الأشعة (UV) إلى توفير في الزمن والطاقة على حد سواء، وتؤدي للحصول على درجة التشابك المطلوبة دون توليد أي نواتج كيميائية ضارة [5].

وتمتاز الأغشية المصنعة من أسيتات السللوز بسعرها المنخفض، وطبيعتها الهيدروفيلية التي تجعلها أقل ميلاً للانسداد، كما تتميز بمقاومة جيدة للكور حتى تركيز [6] 5[mg/l].

تحدث ظاهرة التناضح المباشر عندما يقوم غشاء نصف نفوذ بفصل محلولين مائيين ذي تركيزين مختلفين، حيث يتدفق الماء من الجانب الأقل تركيزاً إلى الجانب الأعلى تركيزاً حتى يصل المحلولان إلى حالة التوازن [7]. تحدث عملية التناضح العكسي عندما يتم تطبيق ضغط أعلى من الضغط الطبيعي على الجانب الأعلى تركيزاً، وبالتالي يتم عكس اتجاه التناضح الطبيعي، ويجري الماء من الجانب المركّز إلى الجانب الأقل تركيزاً [8,9]. تسمح الأغشية العاملة بتقنية التناضح العكسي للماء بالمرور عبرها، بينما تنبذ الأملاح والشوارد وبقية الأجسام المنحلة.

ويظهر الشكل (1) جريان الماء باستخدام تقنية التناضح الطبيعي والعكسي حيث  $\Delta\pi$ : ضغط التناضح الطبيعي،

$\Delta P$ : الضغط المطبق.



الشكل (1) التناضح الطبيعي والعكسي

## أهمية البحث وأهدافه:

### أهمية البحث:

يعتبر تلوث المياه من المشاكل الرئيسية التي تشكل خطراً كبيراً على البيئة والكائنات الحيّة، وقد تمّ وضع قوانين مشدّدة لتنظيم وضبط المياه الملوّثة وذلك بهدف تخفيض تأثير المواد الكيميائية الخطرة على البيئة والإنسان إلى الحدّ الأدنى.

ويعتبر كل من البولي فنيل الكحولي وأسيئات السللوز من أكثر المواد الجاذبة في صناعة الأغشية البوليميرية، ولمحاولة كسب الخصائص المميزة لكلا البوليميرين في غشاءٍ واحدٍ، جرى تصنيع غشاء مكون من طبقتين يلعب فيه البولي فنيل الكحولي دور الطبقة السطحية.

### أهداف البحث:

- تصنيع أغشية بوليميرية مركبة من طبقتين: طبقة سطحية من البولي فينيل الكحولي (PVA)، وطبقة قاعدية مصنّعة من أسيئات السللوز بهدف جمع الخصائص المميزة لكلا البوليميرين في غشاء واحد، والاستفادة من الموصفات الإيجابية التي تمنحها كل طبقة.
- المقارنة بين أداء الأغشية المركبة وأداء الأغشية المصنّعة من طبقة واحدة من البولي فنيل الكحولي والأغشية المصنّعة من أسيئات السللوز في عملية معالجة المياه باستخدام تقنية التناضح العكسي.

## طرائق البحث ومواده:

### 1- المواد المستخدمة في البحث:

الجدول (1) المواد المستخدمة في البحث وبعض مواصفاتها الهامة

نوع المادة	مواصفات المادّة
البولي فينيل الكحولي (PVA)	الوزن الجزيئي ( $M_n$ ): 1.15.000 اللزوجة: (32) سنتي بواز.
أسيئات السللوز (CA)	درجة الأستلة: (39.6%). الوزن الجزيئي ( $M_n$ ): 50000
حمض الأكريليك	درجة النقاء: 99% الكثافة عند درجة الحرارة (20°C): 1.049
البولي إيثيلين غليكول	الوزن الجزيئي (M.W): 4000 دليل شوارد الهيدروجين (pH) لمحلولة المائي: 4.5-7.5
الجليسيرين	درجة النقاء: 100%

## 2- تصنيع الأغشية:

- تم تصنيع الأغشية المركبة من طبقتين: طبقة سطحية أساسها البولي فنيل الكحولي، وطبقة سفلية من أسيتات السللوز، وقد تم تصنيع الطبقة السطحية وفق التسلسل الآتي [10]:
- تم حل كمية من البولي إيثيلين غليكول (PEG) في 100[ml] من الماء المقطر عند الدرجة 120°C والتحرك لمدة ساعة بالمازج، ومن ثم تم إضافة كمية من مسحوق البولي فنيل الكحولي والتحرك بالمازج عند درجة الحرارة 90°C لمدة (4) ساعات، بحيث تشكل النسبة الوزنية للبوليميرين من وزن الماء المقطر (10%).
  - إضافة الغليسيرين (G) إلى مزيج البولي فنيل الكحولي والبولي إيثيلين غليكول والتحرك بالمازج حتى تمام التجانس بحيث يتم الحصول على الغشاء (PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>)، حيث يشير الدليل السفلي إلى النسبة المئوية لوزن المكون ضمن الغشاء المصنوع، وقد تم اختيار هذه النسبة كونها تحقق الثبات الأعلى للغشاء ضمن الأوساط المائية، وأقل امتصاصية للماء [11].
  - تم الحصول على الغشاء المطلوب من خلال صب المحلول المحضّر على لوح زجاجي نظيف.
  - عرض الغشاء المصنوع لجرعة ضوئية ثابتة  $32\text{J}/\text{cm}^2$  من خلال جهاز التشعيع الضوئي المحتوي على ستة مصابيح زئبقية من النوع (Philips TUV 15W/G15) وهي الجرعة الأنسب لتحقيق تشابك بنيته الجزيئية [11]، ويوضح الشكل (2) جهاز التشعيع الضوئي المستخدم:



الشكل (2) الجهاز المصدر للأشعة فوق البنفسجية

- غمرت الأغشية المعالجة ضوئياً بالماء المقطر لمدة (24) ساعة لإزالة بقايا بعض المواد غير المتفاعلة.
- أما طبقة أسيتات السللوز فقد تم تصنيعها وفق التسلسل التالي [12]:
- يتم حل (13g) من أسيتات السللوز في (200[ml]) من حمض النمل عند درجة حرارة الغرفة باستخدام مازج ميكانيكي عند سرعة دوران لرأس المازج (290[rpm])، حيث تم إضافة أسيتات السللوز بشكل تدريجي إلى المحلول المذيب لتجنب تجمع البوليمير في كتل تعيق حركة رأس المازج، وتستمر عملية التحريك لمدة (4) ساعات حتى تمام الانحلال والتجانس، ومن ثم يستمر التحريك عند درجة حرارة الغرفة حتى تمام التجانس، ويستغرق ذلك حوالي نصف ساعة.
- بعد ذلك يترك المحلول لمدة (24) ساعة ضمن ورق زجاجي لتختفي كامل الفقاعات، ثم يجري صب المحلول المحضّر على لوح زجاجي نظيف بمساعدة مديّة صب كما هو موضّح بالشكل (3):



الشكل(3) صبّ الغشاء على لوح زجاجي بمساعدة مديّة صب

بعد ذلك يوضع اللوح الزجاجي بعد صب المحلول مباشرةً في مغطس للماء المقطر عند الدرجة  $0^{\circ}\text{C}$ ، بحيث يحدث تصلب سريع لمحلول الصب، ويتم تصنيع الأغشية المفردة بسماكة  $200[\mu\text{m}]$ ، أما في حالة الغشاء المركب فيتم تصنيع كل طبقة بسماكة  $100[\mu\text{m}]$  من خلال التحكم بحجم محلول الصب ومساحة اللوح الزجاجي، ويتم التأكد من السماكة باستخدام ميكرومتر رقمي.

### 3- تدفق الماء عبر الغشاء ونسبة نبذه للشوارد المعدنية:

تمّ تحضير محاليل مختلفة من الشوارد المعدنية (Co, Cu, Pb)، بحيث يحتوي كل محلول على شاردة من الشوارد السابقة بتركيز  $(1000[\text{g/l}])$  ضمن الماء المقطر، وقد تمّ حساب تدفق الماء النافذ عبر الغشاء والذي يشار له عادة في الدراسات بالرمز (J) ويعبر عنه بالوحدة  $[\text{L}/\text{m}^2\text{h}]$  بالعلاقة:

$$J = \frac{Q}{A \cdot t}$$

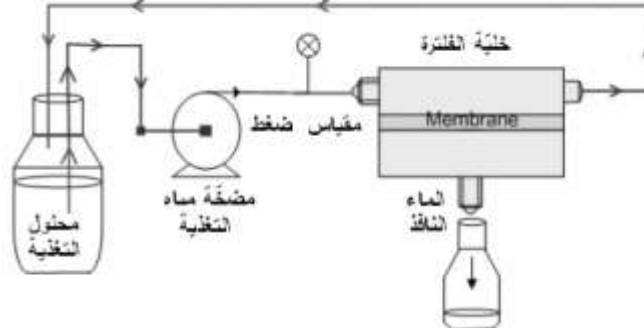
حيث (Q) حجم الماء النافذ عبر الغشاء بالتر (L)، t: الزمن بالساعة (h)، A: مساحة سطح الغشاء  $[\text{m}^2]$ .

بينما تمّ حساب نبذ الأغشية للشوارد (R) بالعلاقة:

$$R = (C_f - C_p) / C_p \times 100\%$$

حيث  $(C_f)$  و  $(C_p)$  يمثلان تركيز الشوارد في مياه التغذية وتركيز الشوارد في الماء المعالج على التوالي. وقد تمّ أخذ العينات بعد ساعة من عملية المعالجة حيث يستقر خلال هذه الفترة أداء الأغشية المصنّعة، ويبين

الشكل(4) مخطط لوحدة التناضح العكسي البسيطة المستخدمة في اختبار الأغشية:



الشكل (4) رسم تخطيطي لوحدة التناضح العكسي المصممة لاختبار كفاءة الأغشية

وقد تمّ قياس تراكيز الشوارد المعدنية في عينات المياه المعالجة بواسطة جهاز الامتصاص الذري من النوع (Shimadzu) الموضّح بالشكل (5): حيث تمّت معايرة الجهاز بواسطة محاليل عيارية لكل من الشوارد المدروسة، وقد تمّ استخدام تقنية اللهب خلال عملية قياس تراكيز الشوارد المعدنية (F-AAS).

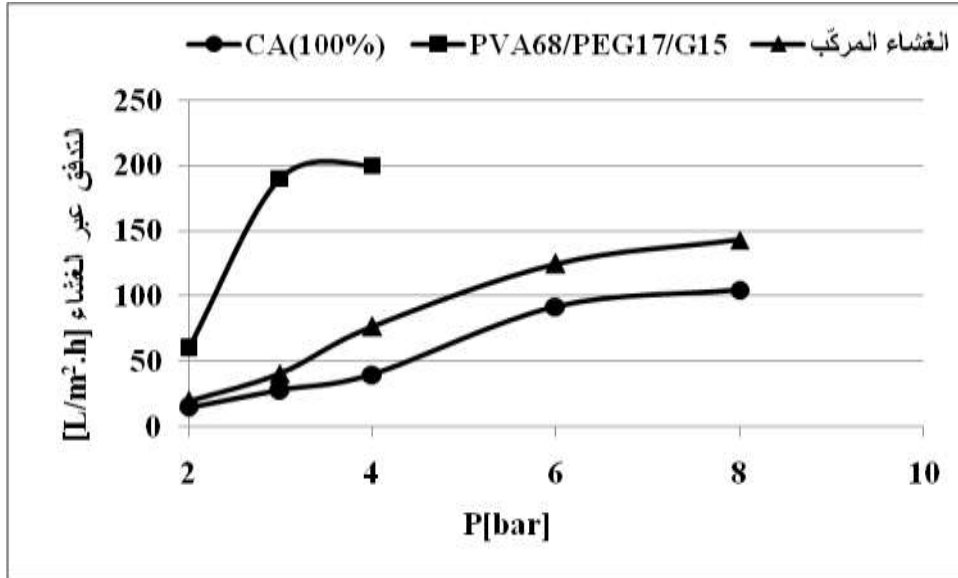


الشكل (5) جهاز الامتصاص الذري

## النتائج والمناقشة:

### 1- التدفق عبر الغشاء:

يوضح الشكل (6) العلاقة بين التدفق عبر الغشاء والضغط المطبق على مياه التغذية في المجال (2-8bar)، وذلك للغشاء المركب والأغشية المصنعة من البولي فنيل الكحولي وأسيئات السللوز، ويتضح من الشكل أن التدفق عبر الأغشية يزداد بزيادة الضغط المطبق، حيث أنّ زيادة الضغط يعزز القوة الدافعة التي تتغلب على المقاومة الهيدروديناميكية للغشاء، وعلى التناضح الأسموزي الطبيعي لمياه التغذية [13]، ويتمّ الحصول على أعلى معدل للتدفق في الغشاء المصنوع من البولي فنيل الكحولي المعدّل بالبولي إيثيلين غليكول والجليسيرين والمعالج ضوئياً بالجرعة  $[32 \text{ J/cm}^2]$ ، إذ يصل التدفق عبر الغشاء (PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>) إلى  $200 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$  عند الضغط  $4 \text{ bar}$ ، في حين أنّه لا يتجاوز  $40 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$  في الغشاء المصنوع من أسيئات السللوز عند نفس الضغط، ويرجع ذلك إلى أنّ البولي فنيل الكحولي أكثر هيدروفيلية مقارنة بأسيئات السللوز، بينما التدفق عبر الغشاء المركب هو  $78 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ ، وبالتالي فإن الأغشية المصنّعة من البولي فنيل الكحولي تتميز بتدفق مرتفع عبر الغشاء، بينما الأغشية المصنّعة من أسيئات السللوز هي الأعلى ثباتاً وصموداً للعمل في الأوساط المائية عند مختلف الضغوط المطبّقة، ففي حين تتفكك الأغشية المصنّعة من البولي فنيل الكحولي بعد فترة قصيرة من تطبيق ضغوط تزيد عن  $4 \text{ bar}$ ، فإنّ الأغشية المصنّعة من أسيئات السللوز تستمر بالعمل عند ضغوط مرتفعة للغاية كما يتضح من الشكل (6):



الشكل (6) المقارنة بين التدفق عبر غشاء مصنع من أسيتات السللوز وآخر من (PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>) معالج بالجرعة الضوئية [32 J/cm<sup>2</sup>]، والغشاء المركب (CA-PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>) فيه الطبقة (PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>) معالجة بالجرعة [32 J/cm<sup>2</sup>]

## 2-نسبة استبقاء الأغشية للشوارد المعدنية:

يتبين من خلال الجدول (2) أنّ نسب إزالة الغشاء للشوارد المعدنية ينخفض بشكل ملحوظ مع زيادة الضغط المطبق، كما أنّ نسب إزالة الغشاء المركب للشوارد المعدنية متقاربة مع نسب إزالة الغشاء (PVA<sub>68</sub>/PEG<sub>17</sub>/G<sub>15</sub>) المعالج بالجرعة الضوئية [32 J/cm<sup>2</sup>] مما يدل على أنّ الطبقة المصنعة من البولي فينيل الكحولي تلعب الدور الأكبر في زيادة انتقائية الغشاء تجاه إزالة الشوارد المعدنية، وبالتالي يمكن ضبط أبعاد وحجوم مسام أغشية البولي فينيل الكحولي من خلال المعالجة الإشعاعية وتشكيل شبكة بوليميرية ثلاثية الأبعاد ناتجة عن التشابكات العرضية بين سلاسل الجزيئات البوليميرية [14]، بينما لا يمكن القيام بهذا الإجراء في أغشية أسيتات السللوز كونه يصنف من البوليميرات المتفككة إشعاعياً [15]، كما يمكن من خلال المعالجة الإشعاعية تجاوز المشاكل التي تسببها التفاعلات الناتجة عن أنظمة التشابك الكيميائية، والتي تجري عند درجات حرارة عالية، وتؤدي لتفكك مواد الإضافة الداخلة بتركيب الغشاء، لاسيما المواد التي تمتلك حساسية عالية تجاه الحرارة مثل الغليسيرين.

الجدول (2) نبذ الأغشية لشوارد المعادن الثقيلة عند ضغوط مختلفة تركيز الشوارد في محلول التغذية سماكة الأغشية المصنعة 200[μm]، تركيز الشوارد في محلول التغذية C<sub>0</sub>=1000[mg/l]، pH=6.

الضغط [bar]				Co	الغشاء المركب (CA <sub>100</sub> -PVA <sub>68</sub> /PEG <sub>17</sub> /G <sub>15</sub> )	تركيب الغشاء
8	6	4	2			
نبد الشوارد (R%)						
88	90	92	95			
91	92	93	96			
93	94	96	97			



55	63	71	80	Co	(CA <sub>100</sub> /G <sub>0</sub> / AA <sub>0</sub> )
50	55	66	75	Cu	
64	72	80	87	Pb	
89	91	91.5	92	Co	PVA <sub>68</sub> /PEG <sub>17</sub> /G <sub>15</sub>
88	92.5	93.1	94	Cu	
91.5	93.5	95	95.5	Pb	

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

- يزداد تدفق الماء النقي عبر الأغشية بزيادة الضغط المطبق، ويتم الحصول على أعلى قيمة للتدفق في الغشاء المصنوع من البولي فنيل الكحولي [200L/m<sup>2</sup>.h] عند ضغط 4[bar].
- يتمزق الغشاء المصنوع من البولي فنيل الكحولي عند تطبيق ضغوط تزيد عن 4[bar] بعد فترة قصيرة من عملية المعالجة، في حين يعمل الغشاء المركب والغشاء المصنوع من أسيتات السللوز عند ضغط 8[bar].
- ينخفض نبذ الأغشية للشوارد بزيادة الضغط المطبق ويتم الحصول على أعلى نسبة نبذ للشوارد المعدنية: للرماس (97%) يليه للنحاس (96%) ثم للكويالت (95%) في الغشاء المركب عند الضغط الأقل: 2[bar].

### التوصيات:

- يوصى باستخدام الغشاء المركب في تطبيقات معالجة المياه كونه يجمع بين ثبات مرتفع ضمن الأوساط المائية، وتدفق جيد للماء عبره، ونسبة إزالة مرتفعة للشوارد المعدنية.
- تصنيع أغشية ذات سماكات مختلفة لمعرفة تأثير سماكة الأغشية على أدائها في عملية معالجة المياه.
- يوصى بإضافة مواد مضادة للبكتيريا والفطريات التي قد تنمو على سطوح الأغشية لإطالة العمر التشغيلي المفترض لها.

## المراجع

- 1- ESCOBAR, I., BRUGGEN, B. (2011) "Modern applications in membrane science and technology" American Chemical Society Books, p(220-225).
- 2- BHATTARYYA, D., HESTEKIN, J., RITCHIE, S., (2002) "An overview of selected membrane techniques for environmental applications" Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 33(6)310-330.
- 3- BOLTO, B., TRAN, T., HOANG, M., XIE, Z., (2009) "Crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes" Prog. Polym. Sci. 34(3) 969-981.
- 4- WANG, X., FANG, D., YOON, K., (2006) "High performance ultrafiltration composite membranes based on poly(vinyl alcohol) hydrogel coating on crosslinked nanofibrous poly(vinyl alcohol) scaffold" J. Membr. Sci. 278 (6)(160-175).
- 5- YASUSI, O., YOSHIKI, I., MIKIJI, M., (2001) "Photo-Cross-linking of Polyvinyl Alcohol" J. Photopolym. Sci, Technol., Vol.14, No.2, (105-112).

- 6- ELIMELECH, M., ZHU, X., CHILDRESS, A., HONG, S.,(1997)"Role of membrane surface morphology in colloidal fouling of cellulose acetate and composite aromatic polyamide reverse osmosis membranes" J. Membr. Sci. 127 (1),101–109.
- 7- CATH, T., CHILDRESS, A.,(2006) " Forward Osmosis: Principles, Applications and Recent Developments" Journal of Membrane Science 281(2) 70-87.
- 8- SOURIRAJAN, S., LANG, K., CHOWDHURY, G., Matsuura, T.,(1994) "Reverse osmosis performance of modified polyvinyl alcohol thin-film composite membranes" Journal of Colloid and Interface Science, 166(1): p.239-244.
- 9- NORBERG, D., HONG, S., TAYLOR, J., (2007) "performance of commercial fouling resistant low-pressure RO membranes" Desalination 202 (20) 45–52.
- 10- AYMAN, M., GAMA, A. "Electrochemical Behavior of Self-Assembly Monodisperse Nanogels Based on Poly (vinyl alcohol) / Poly (acrylic acid) Semi-Interpenetrating Networks" J. Electrochem. Sci., 10 (2015) 3584 – 3599.
- 11- علي، ع.، غانم، م.، تصنيع أغشية بوليميرية متشابكة ضوئياً من مزيج (البولي فنيل الكحولي والبولي إيثيلين غليكول) لمعالجة المياه المحتوية على شوارد المعادن الثقيلة" مجلة جامعة تشرين المجلد (37) العدد (2).
- 12- LANG, K., CHOWDHURY, G., MATSUURA, T., "(1994) Reverse-osmosis performance of modified polyvinyl-alcohol thin-film composite membranes" J. Colloid Interface Sci. 166(25)239–244.
- 13- DARUNEE, B., TRIPOB, B., "Preparation of Cellulose Acetate Membranes for wastewater treatment" Kasetsart J. (Nat. Sci.) 42 : 311 - 317 (2008)
- 14- ZHAOHUI, T., LEWIS, Y., BOWEI, H., "UV-cured poly(vinyl alcohol) ultrafiltration nanofibrous membrane based on electrospun nanofiberscaffolds" Journal of Membrane Science 328 (2009) 1–5.
- 15- JUERGEN, P., STEVEN, A., WILSON, D.,(2011)"Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review" J. Polym. Environ 19(66):152–165