

دراسة تأثير اختلاف نوع مادة الغشاء على كفاءة تطهير المياه

فاطمة التركي * محمد هلال ** محمد أسعد ***

*طالبة دكتوراه، قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة حمص

**أستاذ دكتور في قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة حمص

***أستاذ مساعد قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة حمص

ملخص

تم في هذا البحث دراسة تأثير عدة مركبات بوليميرية مستخدمة في تصنيع أغشية الترشيح النانوي لمعالجة المياه، وذلك بعد تطعيمها بالفضة الغروانية من أجل دمج عمليتي التطهير والترشيح في مرحلة واحدة. حيث استخدمت ثلاثة مواد في التصنيع هي: بولي ستايرن (PS)، بولي لاكتيك أسيد (PLA)، بولي أكريلونتريل بوتاديين ستايرن (ABS). حيث تم تصنيع الأغشية باستخدام تقنية الغزل بالنفخ والتي يتم من خلالها الحصول على شبكات من الألياف النانوية.

أظهرت النتائج أن غشاء البولي أكريلونتريل بوتاديين ستايرن (ABS) أعطى أفضل نتيجة لتطهير المياه عند تركيز 0.06 mg/l للفضة الغروانية، كما أعطى كفاءة ترشيح للأملاح المنحلة بنسبة 48.05%. علماً أن قطر ألياف غشاء ABS كانت الأصغر وفق المقياس النانوي بقطر متوسط 302.3 نانومتر، وبمسامية 10.63%. يليه غشاء البولي ستايرن (PS) عند تركيز 0.07 mg/l للفضة الغروانية، وبكفاءة ترشيح للأملاح بنسبة 11.4%. علماً أن متوسط قطر الألياف 381.9 نانومتر، وبمسامية 9.17%. بينما غشاء بولي لاكتيك أسيد (PLA) أظهر كفاءة أقل من حيث الترشيح والتطهير، وكان لهذا الغشاء أعلى قطر متوسط للألياف من بين الأغشية بقيمة 518.1 نانومتر، وبمسامية عالية 15.8%.

كلمات مفتاحية: غشاء، معالجة المياه، تطهير، ترشيح، ألياف نانوية.

Studying the Effect of Different Membrane Material Types on the Efficiency of Water Purification

Abstract

This research investigated the effect of several polymeric compounds used in the manufacture of nanofiltration membranes for water treatment after doping them with colloidal silver to combine the purification and filtration processes in a single stage. Three materials were used in the manufacture: polystyrene (PS), polylactic acid (PLA), and polyacrylonitrile butadiene styrene (ABS). The membranes were manufactured using the blow-spinning technique, which produces nanofiber networks

The results showed that the polyacrylonitrile butadiene styrene (ABS) membrane provided the best water disinfection results at a colloidal silver concentration of 0.06 mg/L, and also achieved a filtration efficiency of 48.05% for dissolved salts. Note that the (ABS) membrane fiber diameter was the smallest on the nanoscale, with an average diameter of 302.3 nm and a porosity of 10.63%. The polystyrene (PS) membrane followed at a colloidal silver concentration of 0.07 mg/L, with a salt filtration efficiency of 11.4%. Note that the average fiber diameter was 381.9 nm and a porosity of 9.17%. Meanwhile, the polylactic acid (PLA) membrane showed lower filtration and disinfection efficiency. This membrane had the highest average fiber diameter of 518.1 nm, with high porosity 15.8%.

Keywords: Membrane, Water Treatment, Filtration Purification, Nanofibers.

1. مقدمة:

تأتي عمليات معالجة المياه بهدف التخلص من هذه الملوثات بشكل أو بآخر، بواسطة طرائق متعددة، أحدثها التطهير باستخدام جسيمات نانوية كالفضة. وقد تم الاعتماد في الآونة الأخيرة

على تقنيات الفصل بالأغشية من أجل تنقية المياه ومعالجتها، حيث يمكن استخدام هذه الطريقة على مستوى ضيق كمحطات تنقية المياه المنزلية أو نطاق واسع كمحطات تنقية مياه ضخمة، ويتكاثف مقبولة نسبياً، فتطور علم الأغشية يوماً بعد يوم، وتم تصنيع الأغشية بأشكال وأنواع كثيرة ومتعددة ومن مواد كثيرة طبيعية وأخرى صناعية وتم إدخال مواد لتركيبات تلك الأغشية لتحسين وظائفها.

إن سبب تلوث المياه وجود مركبات تغير نوعية المياه الجوفية والسطحية، وبالتالي نقل من صلاحية المياه الطبيعية للاستخدام البشري وغير ذلك من العمليات الحيوية. تنتج هذه المركبات عن الأنشطة البشرية، وخاصة تلك الصناعية والزراعية والمنزلية [1].

تتم معالجة المياه بهدف الحصول على مياه الشرب، ومياه صناعية، ومياه للري، ومياه للاستحمام وغيرها العديد من الاستخدامات الأخرى، بحيث تستطيع هذه المعالجة أن تزيل أو تقلل ملوثات ومكونات غير مرغوب بها. ويصبح الماء مناسباً للاستخدام النهائي المطلوب [2].

تعد طريقة الترشيح الغشائي طريقة فعالة في معالجة مياه الصرف حيث تعيد استخدام حوالي 80% من المياه [3]. يستخدم الترشيح الغشائي بشكل متزايد كعملية معالجة للمياه ومياه الصرف الصحي والصناعي لإزالة المعادن الثقيلة، ويوجد عدة أنواع للترشيح منها الفائق، والتناضح العكسي [4,5].

تختلف الأغشية عن بعضها البعض بعوامل رئيسية منها: نوعية مادة الغشاء، والشكل الهندسي لنموذج الغشاء، وحجم المسام.

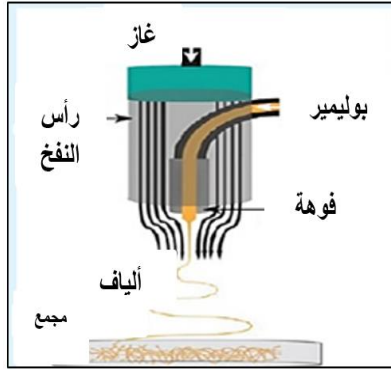
المادة التي يصنع منها الغشاء تتوضع ضمن غلاف خارجي يعطي الشكل الهندسي النهائي الذي يباع للمستهلك وهو ما يسمى بنموذج الغشاء. تصنع مادة الغشاء من أنواع مختلفة من المواد لتلبي الاحتياجات الصناعية المختلفة. يمكن أن تصنع الأغشية من مواد أولية طبيعية أو مواد أولية صناعية. تعتبر الأغشية السيراميكية أهم أنواع الأغشية المنتجة من مواد طبيعية وهي

تستخدم صناعياً في الترشيح الميكروبي والترشيح الفائق، وكذلك الأغشية المصنعة من بعض المعادن كالبالاديوم والمستخدم في فصل الهيدروجين من المزائج الغازية. أما الأغشية المنتجة من مواد أولية صناعية فهي الأكثر انتشاراً اليوم على المستوى الصناعي، حيث تصنع مادة الغشاء من بوليميرات عضوية مختلفة كالبولي إيثيلين [6].

تعتمد طريقة الترشيح الفائق على استخدام أغشية نانوية، حيث تمتلك الألياف النانوية خصائص فريدة عن غيرها من الألياف الأخرى مثل السطح النوعي الكبير، والمسامية العالية، إمكانية الحصول على طبقات رقيقة جداً منها، النفوذية العالية والوزن المنخفض مما يجعلها مهمة جداً في كثير من التطبيقات مثل: التطبيقات الطبية، التطبيقات التقنية، الفلاتر، المكثفات وغيرها [7].

يتم تطبيق الترشيح النانوي (NF) على نطاق واسع لمعالجة مياه الصرف الصناعي الناتج عن عملية الصباغة وتتميز هذه الأغشية بمسام قطرها المتوسط صغير، وكفاءة عالية وتكلفة منخفضة. يمكن تطبيق تقنيات معالجة الغشاء الهجين (MF / NF) في مياه المنصرفات الصناعية للنسيج وأشارت النتائج إلى نسبة إزالة الألوان حوالي 99% بالإضافة إلى تخفيض في العكارة حتى القيمة 0.2 [8-10].

يتكون جهاز الغزل بالنفخ بصورة عامة من فوهة يتم من خلالها حقن محلول البوليمير مع تيار من الغاز المتسارع والذي يخرج من مصدر للغاز المضغوط، ومجهز بمنظم ضغط، ومحقنة، ومضخة للتحكم في معدل الحقن، رأس النفخ يتكون من فوهات متحدة المركز، ومجمع مع سرعة دوران يمكن التحكم فيها [12]. وتعتمد نظرية الغزل بالنفخ على مبدأ برنولي الذي يتم فيه تحويل التغيرات في الضغط إلى طاقة حركية [11].



الشكل (1): نموذج داخلي لرأس غزل بالنفخ [11]

يتم تشكيل الشبكات النانوية عبر جهاز النفخ انطلاقاً من مادة بوليميرية ما. حيث أن البوليميرات هي مركبات تنتج عن ضم جزيئات كثيرة (مونوميرات) إلى بعضها البعض لتشكيل مركبات ذات كتلة مولية كبيرة (جزيئات عملاقة) تدعى البوليميرات.

تنتج البوليميرات الصناعية مثل بولي بروبيلين (polypropylene) والبولي استر (polyester) من خلال عملية تعرف باسم البلمرة التي تتضمن البدء وتكاثر (نمو) وحدات المونومير (monomeric) حتى تشكيل البوليمير [13].

إن البوليميرات الحيوية تعمل كمادة مازة لذا فقد تم البحث فيها على نطاق واسع لإزالة المعادن الثقيلة عند معالجة المياه. حيث أجريت دراسات حول قدرة البوليميرات الحيوية على الامتزاز، بما في ذلك الكيتوزان [14] والسليولوز [15] وحمض الألجينيك [16] وحمض البولي- γ -جلوتاميك والعديد من المواد الحيوية الأخرى [17].

إن مرحلة تجديد البوليمر خطوة أساسية بعد عمليات التعقيد والترشيح أثناء معالجة المياه أو مياه الصرف الصناعي. يمكن العثور على العديد من الطرق لتجديد البوليمر، بما في ذلك التجديد الكيميائي التقليدي والتجديد الكهروكيميائي [18].

انطلاقاً من تعدد المواد البوليميرية التي يمكن استخدامها في تصنيع الأغشية واختلاف خصائصها، جاء هذا البحث ليبين تأثير استخدام مواد أولية متنوعة في تصنيع أغشية بوليميرية مناسبة لترشيح المياه وتطهيرها.

2. دراسات مرجعية:

قام Christiaens Eam وفريقه في عام 2008 بدراسة تطهير المياه من الفيروسات بالفضة النانوية المحملة في أغشية بولي فينيلدين فلوريد، تم تحضير الغشاء بطريقة الغزل بالطرد المركزي، حيث تم تحضير المزيج وخلطه عند درجة حرارة 50 لمدة 10 دقائق. من ثم غزله عند شروط تشغيل تدفق 185 cm^3 في كل دقيقة واحدة. تم تحميل الغشاء بالفضة النانوية بطريقة الغمر والترسيب في سائل يحوي الفضة النانوية لفترة زمنية محددة من ثم تجفيف الغشاء. تم تحديد نفوذية الأغشية المدروسة للماء من ثم فحصه باستخدام المجهر الإلكتروني، وإجراء تقنية للمياه باستخدام تلك الأغشية لدراسة فعاليتها للقضاء على الفيروسات بطريقة الترشيح.

بينت نتائج فعالية هذه الطريقة للقضاء على أنواع مختلفة من الفيروسات، حيث تفوقت الأغشية المحملة بالفضة على غشاء الشاهد وتبين أنه زادت فعالية التطهير بازدياد تركيز الفضة الممتزة على الغشاء [19].

قام De Gussemé وآخرون عام 2011 بدراسة ارتباط الجسيمات النانوية الفضية بسطح الخلية البكتيرية والفيروسات المتواجدة على سطح غشاء مصنع من بولي فينيلدين فلوريد PVDF نانوي باستخدام معالجتين مختلفتين: الغمر والترسيب. تم إثبات تعطيل البكتيريا باستخدام هذه الأغشية بنجاح وكان على الأرجح مرتبطاً بإطلاق بطيء لـ Ag من الأغشية [19].

قام Hajdu وآخرون في عام 2012 بإزالة أيونات الرصاص السامة من المحلول المائي بواسطة تقنية فصل الغشاء النانوي المشترك. تم استخدام حمض بولي جاما غلوتاميك القابل للتحلل

الحيوي (gamma-PGA)، وهو بوليمر حيوي خطي، جسيماته النانوية المترابطة تحتجز أيونات المعدن عن طريق تكوين جزيئات نانوية الحجم. حيث تمت إزالة جزيئات أيون البوليمر المعدني، بأحجام تتراوح بين 80-350 نانومتر، عن طريق الفصل الغشائي. تمت دراسة تقنيتين للترشيح الفائق بهدف تطوير عملية فصل معززة بالجسيمات النانوية لإزالة أيونات الرصاص من المحلول المائي بكفاءة، ودراسة تأثير المعلمات مثل أيونات الرصاص المغذية وتركيزات gamma-PGA ونسبها، ونسبة الارتباط المتبادل لـ gamma-PGA ودرجة حموضة المحلول على كفاءة إزالة الرصاص وتدفق النفاذية. أظهرت النتائج أن مادة gamma-PGA قادرة على ربط وإزالة أكثر من 99.8% من أيونات الرصاص من الماء من خلال تقنية الترشيح الفائق الملائمة ذات الضغط المنخفض، مما يؤدي إلى نفاذية تلبى معيار مياه الشرب الذي أوصت به منظمة الصحة العالمية [1].

قام Rashidi وآخرون في عام 2014 بتقييم تطبيق غشاء النانو المصنوع من البولي أميد لإزالة الأصباغ لخمسة أنواع من مياه صرف صحي مختلفة تحوي أصباغ تفاعلية للألياف، وهي الأزرق التفاعلي، والأحمر التفاعلي، والأصفر التفاعلي، والأسود التفاعلي، والبرتقالي التفاعلي. تم اختبار الأصباغ التي تمت دراستها عند تركيز منخفض (16 ملغ / لتر) أثناء عملية ترشيح مدتها 60 دقيقة. تم حساب كفاءة الترشيح بناءً على التجارب التحليلية قبل العملية وبعدها. تراوحت التدفقات لجميع العينات بين 7.8 و 9.2 مل/سم². ثانياً. ولوحظ أن قيمة الرقم الهيدروجيني لنفوذية العينات قد زادت قليلاً، في نطاق 6.4-7.1. وكانت كفاءة إزالة الصبغة أكثر من 90%، وبالتالي تلبية المعيار القانوني البيئي بنجاح [10].

قام Liu وآخرون في عام 2019 أيضاً بتصنيع أغشية مركبة من ألياف نانوية باستخدام طريقة الغزل الكهربائي ذات الفوهتين، حيث تم دمج ألياف نانوية من بولي فينيل الكحول (PVA) وبولي أكريلونيتريل (PAN).

تم تحديد الخصائص الهندسية للغشاء المركب من حيث قطر الألياف وحجم المسام وتوزيعاتها، والتي تأثرت بمتغيرات عملية الغزل الكهربائي. تم تحسين الخصائص الميكانيكية ومتانة الغشاء المركب الذي يحتوي على هيكل بولي (فينيل الكحول) المترابط مع دعامة بولي أكريلونيتريل فائقة الدقة بشكل كبير مقارنة بالغشاء الأحادي، وتم اقتراح نموذج لشبكات نانوية ليفية متداخلة. أظهر الغشاء المركب الناتج نفاذية عالية للمياه بالإضافة إلى امتزاز عالٍ للكروم (VI) من المياه الملوثة بعد تفعيل مكون PAN عن طريق تطعيم السطح بأنواع مشحونة موجبة [20].

قام Singh and Mishra عام 2020 بدراسة تنقية مياه الصرف الصحي باستخدام أغشية نانوية قاموا بتصنيعها من عدة بوليميرات، تم تصنيع أغشية نانوية من ألياف نانوية بأقطار نانوية متعددة.

عند اختبار فعالية الأغشية في تنقية المياه، تبين أنها ذات فعالية عالية في إزالة ملوثات الأصبغة بنسبة 80%، كما أثبت قدرة عالية على إزالة العناصر الثقيلة كالرصاص والكاديوم وغيرها، بالإضافة لقدرته على خفض الزيت بنسبة 99% و 80% من الشحوم وخفض نسبة BOD بنسبة 76% وخفض COD بنسبة 92% [21].

3. هدف البحث:

الهدف من البحث دراسة كفاءة معالجة المياه باستخدام أغشية مصنعة من بوليميرات مختلفة هي: بولي ستايرن، بولي لاكتيك أسيد، بولي أكريلونيتريل بوتاديين ستايرن ABS، وذلك بدمج عمليتي التطهير والترشيح في مرحلة واحدة من خلال تطعيم الأغشية بالفضة الغروانية.

4. الدراسة التجريبية:

1.4. المواد والأجهزة:

- المواد المستخدمة في البحث:

بولي لاكتيك أسيد PLA (متعدد حمض اللبنيك): وهو بوليمير ذو كتلة جزيئية عالية، بنيته التركيبية هي $-O-CH-CO-$ ، وهو متعدد إستر أليفاتي، يتحلل حيويًا. خصائص مادة PLA: تستخدم في الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي عبارة عن بكرة وزنها الصافي 1kg، تحوي شريط ذو قطر 1,75mm، لونه شفاف (CC Transparent)، الكثافة: 1,25 gr/cm³، صنع الصين، وإعادة تدويرها للحصول على ألياف.

PS بولي ستايرين: تم الحصول عليه بإعادة تدوير حبيبات من الفلين المستخدمة تجارياً وإذابتها باستخدام ثنائي ميثيل الفورم أميد DMF. ABS بولي أكريلونتريل بوتاديين ستايرين: نوع من البوليميرات الحرارية المشتركة، يتمتع بخصائص متانة عالية، مقاوم للصدمات. تم الحصول عليه على شكل شريط كثافته: 1.06-1.04 g/cm³، درجة انصهاره: 210-250 درجة مئوية.

الأسيتون: كثافته 0.78 g/ml نقاوته 99%.

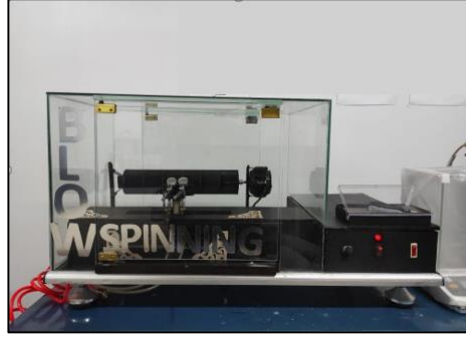
ثنائي ميثيل الفورم أميد DMF: وزنه المولي 73.09 g/mol، كثافته 30.94 g/cm³.

• الأجهزة:

جهاز الغزل بالنفخ:

استخدم جهاز غزل حديث في إنتاج شبكات من الألياف النانوية، موجود في مخبر الألياف النانوية في قسم هندسة الغزل والنسيج-جامعة حمص، الشكل (2).

مبدأ عمله: عند فتح صمام الضاغط الهوائي يخرج تيار الهواء المضغوط عبر الأنابيب إلى رأس النفخ والذي يتم تثبيته على وضعية التشغيل ليتم نفخ المحلول البوليميري، من جهة أخرى فإن تشغيل أزرار لوحة التحكم ستؤدي إلى تشغيل الحركة الترددية لحامل رأس النفخ، والحركة الدورانية لأسطوانة التجميع، حيث أن المحرك يعطي الحركة لأسطوانة التجميع لتبدأ بالدوران، أما المحرك يعطي الحركة عن طريق الذراع إلى الحامل ليبدأ بالحركة الترددية [11].



الشكل (2): جهاز الغزل بالنفخ في مخبر الألياف النانوية في قسم الغزل والنسيج

حجرة التجفيف:

وهي حجرة من تصنيع شركة Wira موديل S/N 041101، وتستخدم في تكييف العينات. تعتمد على نظام تسخين هوائي موزع بانتظام على 4 رفوف متوازية ضمن الحجرة توضع العينات عليها، وتحوي على مؤشر للتحكم بدرجة حرارة هواء التكييف ضمن المجال (10-50) درجة مئوية. الجهاز موجود في مخبر النسيج - كلية الهندسة الكيميائية والبترولية.



الشكل (3): حجرة التجفيف في مخبر النسيج

المجهر الإلكتروني الماسح SEM:

أجري فحص العينات المنتجة باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح الموجود في هيئة الطاقة الذرية بدمشق، والذي يلتقط صوراً مكبرة للعينات.

يعتبر المجهر الإلكتروني من أهم أجهزة التصوير المجهرية والتي لها الكثير من الاستخدامات في العلوم الهندسية والطبية الحديثة، يتميز بقدرته التكبيرية العالية والسبب في ذلك هو استخدام إشعاع الكتروني مكون من حزمة من الإلكترونات عالية الطاقة تصطدم عمودياً بسطح العينة المدروسة، ويتم جمع الإشارات المنعكسة والصادرة عن العينة باستخدام كواشف مختلفة.

معالجة الصور المجهرية:

تمت معالجة الصور المجهرية الناتجة باستخدام برنامج Image j. حيث يعتبر من البرامج الهامة في تحليل ومعالجة الصور العلمية، حيث يمكن من خلاله حساب أبعاد ومسافات على الصورة وفقاً لمقياس رسم مناسب يعطي القيمة الحقيقية لهذا البعد وفقاً للواحدة المستخدمة، كما يمكن من خلاله حساب زوايا وانحرافات معينة ضمن الصورة إضافة إلى وظائف أخرى. وقد تم استخدامه لتحليل صور العينات المجهرية الناتجة.

جهاز الفضة الغروانية:

وهو جهاز مولد لأيونات الفضة الغروانية، روسي الصنع. يتألف من مسبار يحتوي على الكتروليد من الفضة فائق النقاوة بنسبة % 99.99 موصول على الوحدة المركزية للجهاز المسؤولة عن تشتريد جزيئات هذا الالكتروليد، يبين الشكل (4) جهاز الفضة الغروانية.



الشكل (4): جهاز الفضة الغروانية

مبدأ عمل الجهاز يعمل على مبدأ تشريد جزيئات الفضة الموجودة في الالكترود، حيث يمكن التحكم بتركيز شوارد الفضة، وذلك تبعاً لحجم السائل المراد معالجته، كما يقوم الجهاز تلقائياً بإيقاف عملية التشريد عندما يتحقق التركيز المطلوب للحجم المراد تنقيته.

2.4. مرحلة تصنيع الأغشية:

أولاً: تحضير المحاليل البوليميرية:

تم تحضير مجموعة من المحاليل البوليميرية بتركيز 10 wt% وفق شروط موضحة في الجدول (2)، حيث تم استخدام البوليميرات التالية:

- بولي لاكتيك أسيد مع مذيب مزيج من (75% أسيتون+25% DMF).

- بولي ستايرين مع مذيب 100% DMF.

- بولي ABS مع مذيب مزيج من (50% DMF +50% أسيتون).

تم وزن مقدار معين من مادة كل بوليمير بحسب التركيز المراد الوصول إليه، وحلها ضمن حجم محدد من المذيب، وتحريك المزيج بوجود حرارة باستخدام خلاط مغناطيسي.

ثانياً: إجراء تجارب الغزل بالنفخ لتصنيع الأغشية:

أجريت التجارب على جهاز الغزل بالنفخ الموجود في مخبر الألياف النانوية في قسم هندسة الغزل والنسيج بجامعة حمص.

خطوات التشغيل والعمل:

تم تحضير الجهاز للقيام بتجارب الغزل بالنفخ وفق الخطوات التالية:

- وضع المحلول البوليميري ضمن حجرة البوليمير في رأس النفخ وإغلاقها بإحكام.
- تم وضع طبقة من زيت تشحيم (خاص بماكينات الخياطة) على سطح التجميع من أجل تسهيل إزالة العينة.
- تشغيل الضاغط عند قيمة الضغط المدروسة.

تم تصنيع ثلاثة عينات من الأغشية ببارامترات تشغيل مختلفة موضحة في الجدول (2). وتم تجفيف العينات لمدة ساعة عند درجة حرارة 50 درجة مئوية للتخلص من بقايا المذيب.

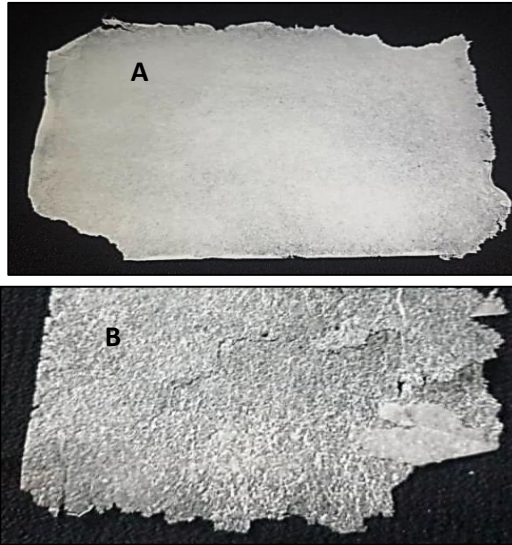
الجدول (2): بارامترات تشغيل العينات على جهاز الغزل بالنفخ

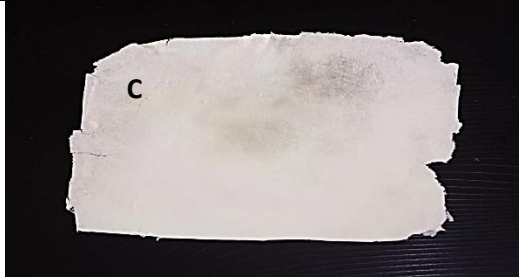
العينة	مادة الغشاء	ضغط الهواء	قطر الفوهة	مسافة الرأس عن المجمع	تركيز المحلول	حجم المحلول
		bar	mm	cm	%wt	ml
1	بولي ستايرن	2	1.8	20	10	15
2	PLA	2	1.8	20	10	15
3	ABS	2	1.8	20	10	15

دراسة تأثير اختلاف نوع مادة الغشاء على كفاءة تطهير المياه



الشكل (5): عملية تشكيل الأعشبية بتقنية الغزل بالنفخ





الشكل (6): الأغشية المصنعة: A: بولي ستايرين، B: بولي لاكتيك أسيد، C: بولي أكريلونتريل

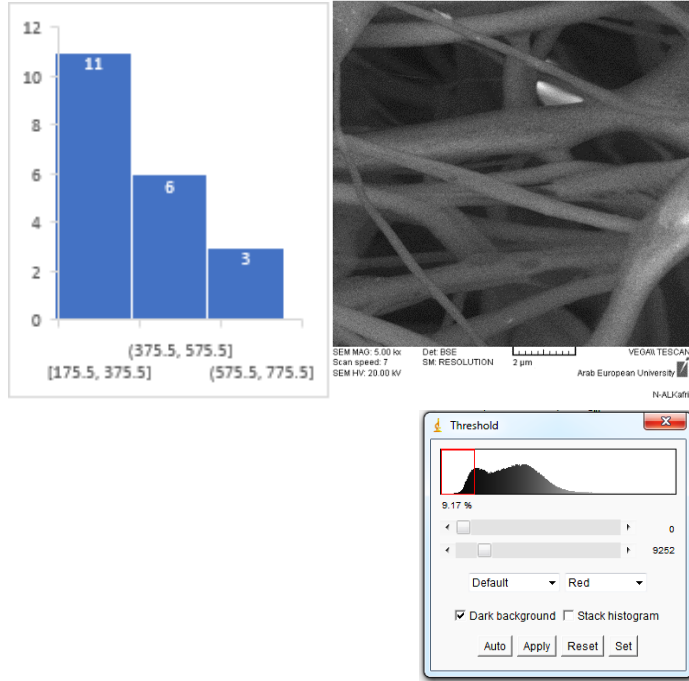
بوتاديين ستايرين

ثالثاً: فحص الأغشية المحضرة وتحليلها مجهرياً:

بعد انتهاء عملية تصنيع الأغشية النانوية بالغزل بالنفخ، تم إرسال العينات إلى هيئة الطاقة الذرية في دمشق، وفحصها مجهرياً باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح، ثم معالجتها باستخدام برنامج Image z وحساب أقطار الألياف، وكثافتها السطحية ومساميتها بناء على طرق مذكورة في المراجع. فيما يلي الصور المجهرية للعينات، ومخططات توزيع الأقطار في كل عينة.

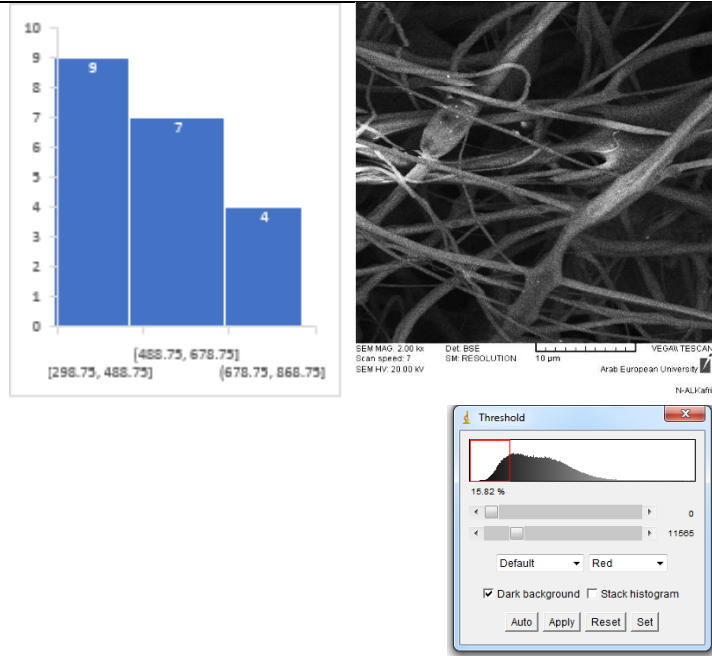
العينة 1: بولي ستايرين:

دراسة تأثير اختلاف نوع مادة الغشاء على كفاءة تطهير المياه



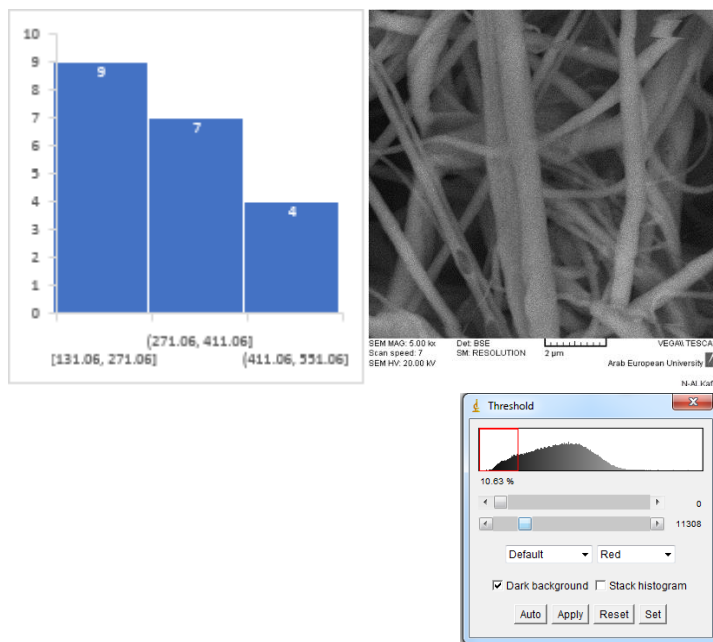
الشكل (7): الصورة المجهرية للعينة 1 ومخطط توزع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام

العينة 2: بولي لاكتيك أسيد:



الشكل (8): الصورة المجهرية للعينة 2 ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام

العينة 3: ABS:

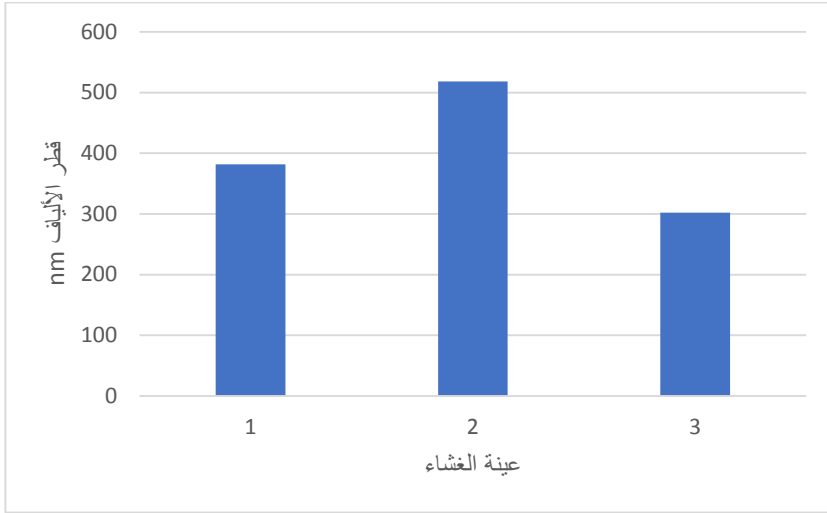


الشكل (9): الصورة المجهرية للعينة 3 ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام

الجدول (3): نتائج الفحص المجهرية للأغشية

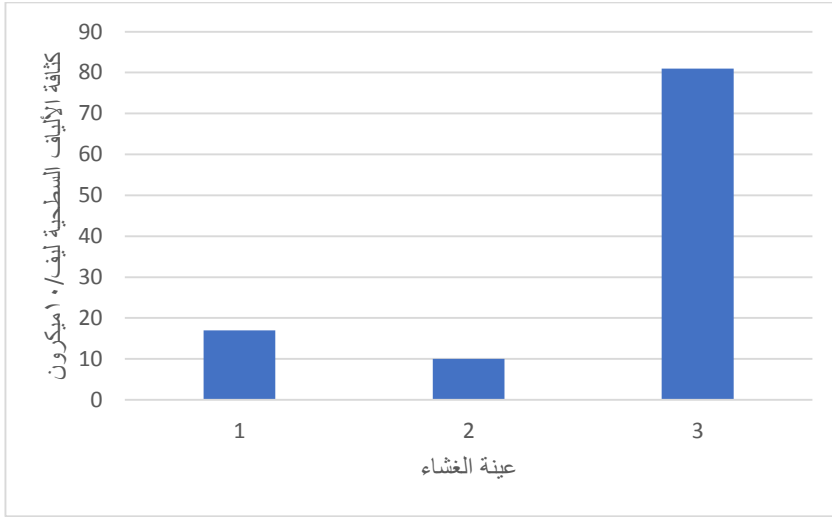
المسامية (المساحة المظلمة) %	الكثافة السطحية للألياف ليف/ 10 مكرون	متوسط قطر الألياف nm	مجال الأقطار nm	عينة الغشاء
9.17	17	381.9	753.6-175.5	1 بولي ستايرين
15.8	10	518.1	777.8-298.7	2 PLA
10.63	81	302.3	499-131	3

				ABS
--	--	--	--	-----



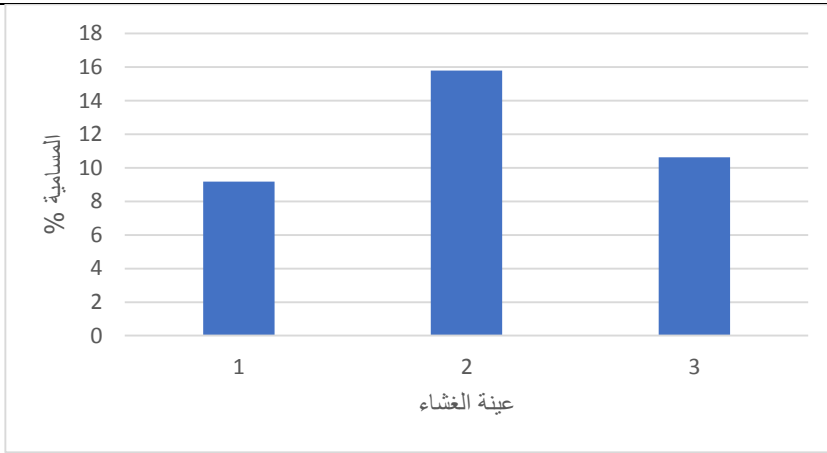
الشكل (10): مقارنة أقطار ألياف الأغشية المصنعة

من حيث قطر الألياف: يلاحظ من الشكل (10) أن نوع المادة البوليميرية أثر على قطر ألياف الغشاء المصنع، وبلغ أصغر متوسط قطر للألياف 302.3 نانومتر في غشاء ABS وأصغر قطر تم قياسه ضمن الغشاء كان 131 نانومتر. أما غشاء البولي ستايرن فقد أظهر متوسط قطر نانوي بمقدار 381.9 نانومتر لأليافه وأصغر قطر تم قياسه في الغشاء 175.5 نانومتر. بينما غشاء PLA أظهر متوسط أقطار أعلى وصل حتى 518.1 نانومتر وأصغر قطر تم قياسه كان 298.7 نانومتر. بالتالي فإن الأغشية الثلاث المصنعة أبدت خصائص نانوية من حيث القياس.



الشكل (11): مقارنة كثافة ألياف الأغشية المصنعة

من حيث الكثافة: يلاحظ من الشكل (11) أن نتائج الكثافة متوافقة مع قيم أقطار الألياف لكل غشاء، حيث أنه من أجل قطر أصغر للألياف تكون الكثافة أعلى لأن الليف في هذه الحالة يشغل عرضاً أقل ضمن الشبكة. ومنه فإن غشاء ABS أظهر أعلى كثافة وصلت حتى 81 ليف/10ميكرون، يليه غشاء البولي ستايرن بمقدار 17 ليف/10ميكرون، ثم غشاء PLA بكثافة مقدارها 10 ليف/10ميكرون.



الشكل (12): مقارنة مسامية الأغشية المصنعة

ليس هناك مقياس دقيق لحساب مسامية الشبكات النانوية، خاصة أن الألياف تتجمع على شكل طبقات فوق بعضها بشكل عشوائي ضمن الشبكة الليفية. لكن من خلال تطبيق تباين لوني على الصورة المجهرية باستخدام برنامج Image J يمكن التنبؤ بنسبة المساحة المظلمة (الفراغات بين الألياف) والتي تعتبر مؤشراً تقريبياً لمسامية العينة.

يلاحظ من الشكل (12) أن مسامية PLA كانت الأعلى بين الأغشية المصنعة ووصلت حتى 15.8% من مساحة العينة، يليه غشاء ABS بمسامية 10.63% ثم البولي ستايرن 9.17%.

3.4. اختبار الغشاء:

تم القيام باختبار الأغشية المصنعة وتحديد فعاليتها في تخفيض تركيز الأملاح المنحلة وتطهير عينة المياه المخبرية معاً.

1.3.4. تحديد مصدر المياه المدروسة:

تم أخذ عينة المياه من بحيرة عين التتور والتي هي بحيرة صغيرة متشكلة نتيجة تجميع مياه الصادرة من نبع عين التتور، ويقع هذا النبع على بعد حوالي 35 Km جنوب غرب مدينة حمص السورية.

2.3.4. طريقة جمع العينات:

تم ملئ العبوات الزجاجية المعقمة بالمياه، الشكل (13). وتغطيتها بأغطية زجاجية مصنفة ومعقمة من ثم لفها بورق الألمنيوم، وتم إغلاقها بشكل محكم وحفظها في حاوية العينات بعيداً عن الضوء والمؤثرات الخارجية لحين وصولها إلى المختبر، والبدء بإجراء التجارب.



الشكل (13): يظهر طريقة قطف العينات من البحيرة

3.3.4. التحاليل الأولية (طريقة التحليل الجرثومي):

يقصد بالتحليل الجرثومي للماء تحليل الماء بهدف تقدير عدد الجراثيم الموجودة بكل 1 cm^3 منه.

بعد التأكد من جاهزية وتعقيم الأدوات للفحص الجرثومي تم التحليل وفق مايلي:

- يوضع بحدود 3-5 ml ماء مقطر في الوسط المغذي لترطبيه مع الحرص على تعقيم القطارة جيداً قبل أخذ الماء المقطر منها، وضع عينة بمقدار 100 ml في وعاء زجاجي معقم مسبقاً بتعريضه للهب، ومن ثم تعقيم القاعدة التي يوضع عليها الفلتر الورقي بتعريضه للهب أيضاً، وتعريض الملقط للهب، ثم أخذ الفلتر الورقي (ورق الترشيح)، ووضع الفلتر الورقي على القاعدة الزجاجية ثم يوضع عليها وعاء العينة وسكب العينة داخل الوعاء لغاية 100 ml مل حيث أن الفلتر الورقي أو ورق الترشيح ذو مسامية 0.45 ميكرومتر. عند نزع ورقة الترشيح عن الغطاء الذي يغلفها يتم ذلك من خلال الملقط المعقم مع الحذر من ملامسة ورقة الترشيح باليد أو بالإصبع.

- يجهز طبق التحضير (طبق بتري) حيث تكون علبة الأطباق معقمة ومغلقة بإحكام حتى لا يحدث أي تلوث بكتيري ويأخذ 3 مل ماء مقطر بواسطة الماصة ويرطب بها طبق التحضير حتى يصبح جاهز لاستقبال عينة الفحص البكتيري.
- توضع العينة المراد فحصها في كأس زجاجي خاص محكم الإغلاق ومعقم سابقاً، حيث تمدد عينة الماء داخل الوعاء الزجاجي لغاية 100 مل.
- يتم تشغيل المضخة (vacuum pump) لسحب عينة الماء اللازم للفحص، حيث تسحب عينة الماء للأسفل ويكون قد نفذ الماء من ورقة الترشيح التي لا تسمح بنفاذ البكتيريا وإمساكها على سطحها.
- تؤخذ ورقة الترشيح بواسطة ملقط وتوضع في داخل طبق الفحص البكتيري.
- أطباق بتري التي تعد وسط مغذي وهنا الوسط المستخدم لمياه الشرب هو ترجيتول آغار Tregaitol agar.
- يوضع طبق بتري في جهاز الإنكوبيتر (Incubator) الحاضنة الجرثومية وتضبط درجة حرارة 37 مئوية لمدة 24 ساعة. وتتم قراءة النتائج بعد مضي 24 ساعة عن طريق عدد المربعات الموجودة على الورقة.

4.3.4. اختبار كفاءة الغشاء المصنع في تطهير المياه:

في هذه الدراسة تم العمل على تطعيم الأغشية المصنعة باستخدام جهاز الفضة الغروانية من خلال غمرها في عينات المياه المفضضة.

في عملية تحضير تراكيز مختلفة من الفضة الغروانية تم الاعتماد على تركيز الفضة المسموح به في مياه الشرب وفقاً للمواصفات القياسية السورية لمياه الشرب [22] كنقطة انطلاق، حيث أن تركيز الفضة المسموح به كحد أقصى وفقاً للمواصفة السورية هو 0.1 mg/L لذلك تم الاعتماد

على هذا الحد كأقصى قيمة من تركيز الفضة في عملية التطهير، والتراكيز التي اعتمد عليها هي (0.04-0.05-0.06-0.07-0.08-0.1) mg/L ، وجرت عملية التطهير باستخدام هذه التقنية باستخدام جهاز تشريد فضة غروانية.

بعد الانتهاء من عملية تطعيم الأغشية بالمياه المفضضة، تم معالجة المياه بالترشيح باستخدام الأغشية المطعمة من خلال إجراء التحاليل الجرثومية عليها وذلك لمعرفة فعالية التطهير والترشيح الذي جرى في الطرق المذكورة عند كل تركيز. التحاليل المجرأة هي:

1- التعداد العام Total count

2- تعداد الكولونيات Colony count

3- تعداد الاشيرشياكولي E.coli count

4- نسبة الأملاح المنحلة TDS

نتائج التحليل الجرثومي موضحة في الجدول (4) وفقاً لكل غشاء.

الجدول (4): نتائج تطهير المياه من خلال الأغشية المطعمة بالفضة الغروانية

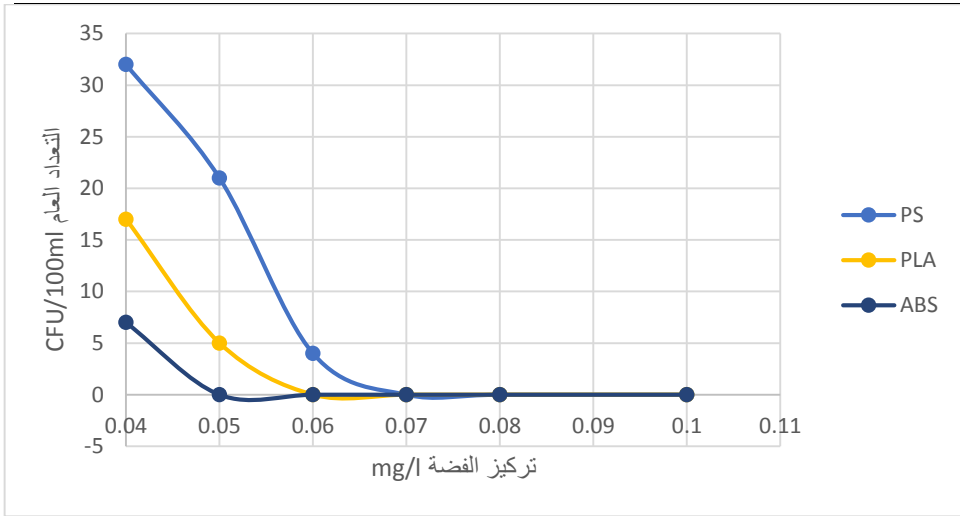
تعداد الأشيرشياكولي CFU/100ml	تعداد الكولونيات CFU/100ml	التعداد العام CFU/100ml	تركيز الفضة mg/l		
75	800	1000	-	التحليل الأولي	نوع البوليمير المصنع منه الغشاء
0	0	0	0.1	التحليل النهائي	1 بولي ستايرن
0	0	0	0.08		
0	0	0	0.07		
3	8	4	0.06		
7	15	21	0.05		
11	23	32	0.04		
0	0	0	0.1	التحليل النهائي	2 بولي لاكتيك أسيد
0	0	0	0.08		
3	7	0	0.07		
5	8	0	0.06		
8	10	5	0.05		

دراسة تأثير اختلاف نوع مادة الغشاء على كفاءة تطهير المياه

13	22	17	0.04		
0	0	0	0.1	التحليل النهائي	3 ABS
0	0	0	0.08		
0	0	0	0.07		
0	0	0	0.06		
2	5	0	0.05		
9	3	7	0.04		

تأثير تغيير تركيز الفضة الغروانية على التعداد العام للجراثيم لجميع الأغشية:

يلاحظ على الشكل (14) تغيير التعداد العام للجراثيم لجميع الأغشية مع تغيير تراكيز الفضة الغروانية المطبقة، ولوحظ أن أكثر الأغشية فعالية هو ABS.



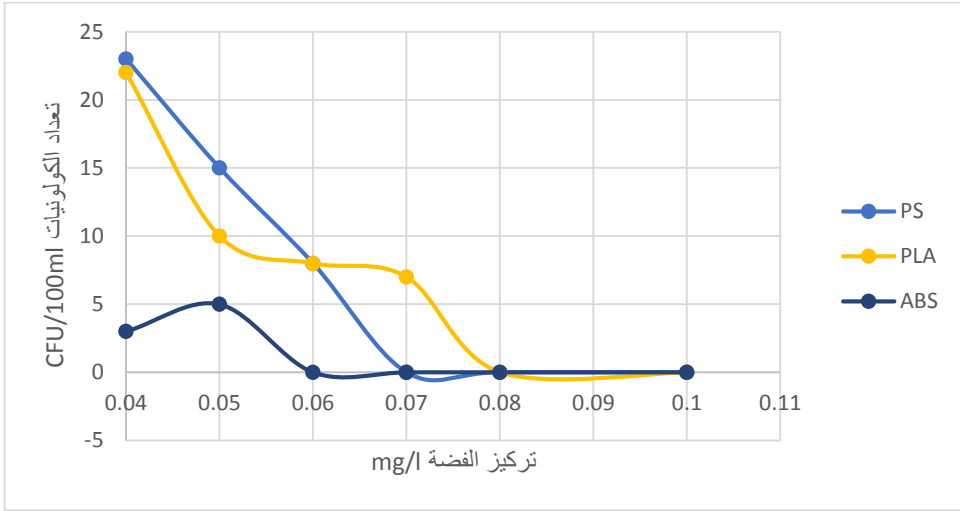
الشكل (14): تأثير تركيز الفضة على التعداد العام للجراثيم لجميع الأغشية

يلاحظ من الشكل (14) أيضاً أنه بازيدياد تركيز الفضة الغروانية ينخفض التعداد العام للجراثيم، بالنظر إلى المنحني الممثل لكل غشاء يلاحظ أن الغشاء 3 أظهر أفضل نتائج من حيث تعداد الجراثيم، حيث كانت قيمة التعداد (0) عند تركيز 0.05 mg/l، يليه الغشاء 2 ثم 1.

تأثير تغيير تركيز الفضة الغروانية على تعداد الكولونيات لجميع الأغشية:

تم توضيح نتائج تعداد الكولونيات لجميع الأغشية عند كل تركيز من تراكيز الفضة الغروانية المطبق، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الشكل (15).

دراسة تأثير اختلاف نوع مادة الغشاء على كفاءة تطهير المياه

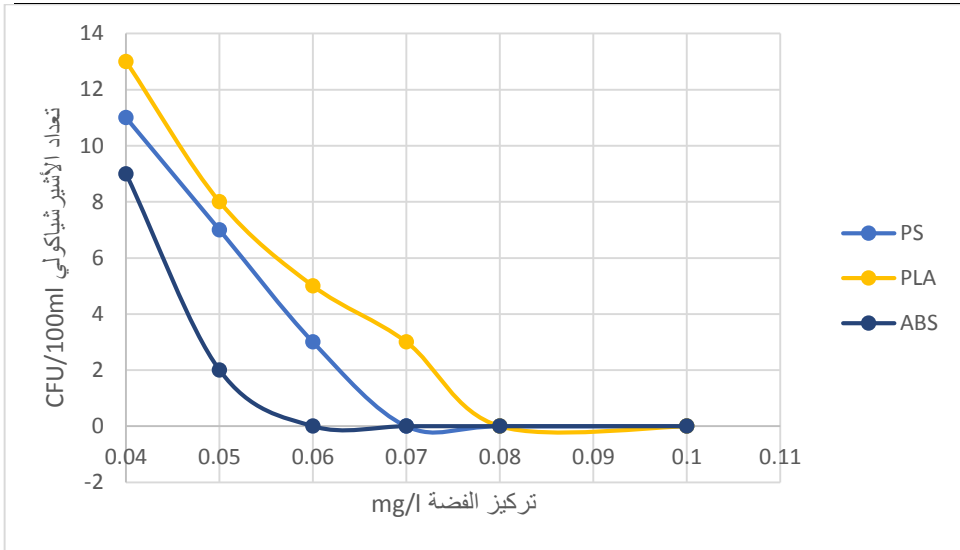


الشكل (15): تأثير تركيز الفضة على تعداد الكولونيات لجميع الأغشية

يلاحظ من الشكل (15) أنه بزيادة تركيز الفضة الغروانية ينخفض تعداد الكولونيات، بالنظر إلى المنحني الممثل لكل غشاء يلاحظ أن الغشاء 3 أظهر أفضل نتيجة حيث كانت قيمة التعداد (0) عند تركيز 0.06 mg/l. يليه الغشاء 1 حيث كانت قيمة التعداد (0) عند تركيز 0.07 mg/l. يليه الغشاء 2.

تأثير تغير تركيز الفضة الغروانية على تعداد الأشيرشياكولي لجميع الأغشية:

يلاحظ أن تغير تعداد الأشيرشياكولي يتناقص مع زيادة تركيز الفضة الغروانية المطبق، يوضح الشكل (16) النتائج التجريبية للدراسة.



الشكل (16): تأثير تركيز الفضة على تعداد الأشيرشياكولي لجميع الأغشية

يلاحظ من الشكل (16) أنه بزيادة تركيز الفضة الغروانية ينخفض تعداد الكولونيات، بالنظر إلى المنحني الممثل لكل غشاء يلاحظ أن الغشاء 3 أظهر أفضل نتيجة حيث كانت قيمة التعداد (0) عند تركيز 0.06 mg/l. يليه الغشاء 1 حيث كانت قيمة التعداد (0) عند تركيز 0.07 mg/l. ثم الغشاء 2.

نلاحظ من خلال النتائج الثلاثة السابقة أن الغشاء رقم 3 (ABS) هو الأكثر كفاءة بين جميع الأغشية المدروسة في القضاء على الجراثيم عامةً، وعلى الكولونيات، وعلى بكتيريا E.coli تحديداً السبب في ذلك قد يكون طبيعة المادة المكوّنة للغشاء (ABS) التي تسمح بارتباط أفضل لجسيمات الفضة الغروانية وتوزعها بشكل متجانس ضمن الألياف النانوية ضمن الغشاء. عملياً، هذا يعني أن استخدام غشاء ABS مع إضافة تراكيز منخفضة من الفضة 0.05 – 0.06 mg/l كافٍ للحصول على مياه معقمة تقريباً.

بالمقابل، الأغشية الأخرى تحتاج إلى تراكيز أعلى لتحقيق نفس النتيجة، وهذا قد يزيد من التكلفة أو من احتمالية تراكم الفضة في الماء.

بالنتيجة فإن أفضل الأغشية كفاءة في عملية التطهير هو الغشاء 3 ABS.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

• الاستنتاجات:

أظهرت الدراسة أن تغيير المادة الأولية لتصنيع الغشاء يغير من خصائص الغشاء النسيجية، حيث تبين أن قياس أقطار ألياف الغشاء وفق المقياس النانوي ومساميته تؤثران على كفاءة المعالجة وفقاً لما يلي:

- أعطى غشاء البولي أكريلونتريل بوتاديين ستايرن المشترك ABS أفضل نتيجة لتطهير المياه عند تركيز 0.06 mg/l للفضة الغروانية، كما أعطى أقل نسبة للأملاح المنحلة بعد الترشيح بكفاءة إزالة 48.05%. علماً أن قطر ألياف غشاء ABS كانت الأصغر وفق المقياس النانوي بمتوسط قطر 302.3 نانومتر، وبمسامية 10.63%.
- بالمرتبة الثانية أعطى غشاء البولي ستايرن أفضل تطهير للمياه عند تركيز 0.07 mg/l للفضة الغروانية، وكانت كفاءة إزالة الأملاح المنحلة بهذا الغشاء 11.4%. علماً أن متوسط قطر الألياف 381.9 نانومتر، وبمسامية 9.17%.
- أخيراً أظهر غشاء PLA كفاءة أقل من حيث الترشيح والتطهير، وكان لهذا الغشاء أعلى متوسط قطر للألياف من بين الأغشية بقيمة 518.1 نانومتر، وبمسامية عالية 15.8%.

التوصيات:

- 1- اعتماد غشاء ABS المصنوع من بولي أكريلونتريل بوتاديين ستايرن في تطبيقات ترشيح وتطهير المياه، نظراً لما أظهره من كفاءة عالية في إزالة الجراثيم وتقليل نسبة الأملاح المنحلة.

- 2- استخدام تركيز من الفضة لا يتجاوز 0.06 mg/L داخل الأغشية النانوية، حيث أظهرت النتائج أن هذا التركيز يحقق أعلى فاعلية تطهيرية دون تجاوز الحدود المسموح بها صحياً.
- 3- استخدام تقنية الغزل بالنفخ كوسيلة فعالة لتصنيع الأغشية النانوية، لما تنتجه من مرونة في التحكم بخصائص الغشاء كقطر الألياف والمسامية.
- 4- تجنب استخدام غشاء PLA بولي لاكتيك أسيد في التطبيقات التي تتطلب أعلى كفاءة ترشيح وتطهير، بسبب أدائه الأقل نسبياً من حيث إزالة الجراثيم ونسبة الأملاح المنحلة.
- 5- توسيع البحث في مجال الأغشية النانوية المركبة والحيوية، ودراسة تأثير الاستخدام المتكرر ومتانة الأغشية.

6. المراجع:

- 1- I. Hajdu, M. Bodnár, Z. Csikós, S. Wei, L. Daróczi, B. Kovács, Z. Gyori, J. Tamás, J. Borbély. (2012). Combined nano-membrane technology for removal of lead ions. *Journal of Membrane Science* 409-410 (2012) 44-53.
- 2- D. Othman, Z. Saffour, M. Issa. (2020). Studying the feasibility of manufacturing water treatment membranes using electrospinning technology. Al-Baath University.
- 3- J. Z. Barisha, M. A. El-Sherif. (2018). Book – Water Pollutants, Their Sources and Treatment Methods. University Publishing House, Cairo.
- 4- W. Walkowiak, C.A. Kozlowski, Macrocyclic carriers for separation of metal ions in liquid membrane processes – a review, *Desalination* 240 (2009) 186-197.
- 5- A. Figoli, A. Cassano, A. Criscuoli, M.S.I. Mozumder, M.T. Uddin, M.A. Islam, E.Drioli, Influence of operating parameters on the arsenic removal by nanofiltration, *Water Res.* 44 (2010) 97-104.
- 6- M. W. Issa. (2014). Water Treatment Book for Third Year Students, Department of Chemical Engineering, Al-Baath University.
- 7- Sh. Hossen, G. Tuhmaz, R. Al-Muhammad. (2020). Development of an electrospinning device with a conical collector for producing three-dimensional networks of nanofibers. Al-Baath University.
- 8- I. Petricic, N.P.R. Andersen, S. Šostar-Turk, A.M. Le Marechal, The removal of reactive dye printing compounds using nanofiltration, *Dyes Pigm.* 74 (2007) 512-518.

- 9- G. Ciardelli, L. Corsi, M. Marcucci, Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry, Re-sour. Conserv. Recycl. 31 (2001) 189-197.
- 10- H. Reza Rashidia, N. Meriam Nik Sulaimana, N. Awanis Hashima, C. Rosmani Che Hassana & M. Redzuan Ramli. (2014). Synthetic reactive dye wastewater treatment by using nano-membrane filtration. No: 1072954, London W1T 3JH, UK.
- 11- Sh. Hossen, G. Tuhmaz, A. A. Hamoud. (2024). Development of a spinning device that works with blowing technology and combining it with electrospinning to produce non-woven networks from polymeric materials. Al-Baath University.
- 12- Eliton, S. M., Gregory, M. G., Artur, P. K., William, J. O., Luiz, H. C. M., (2009) – Solution Blow Spinning: A New Method to Produce Micro- and Nanofibers from Polymer Solutions – SP 13560-970, Brazil.
- 13- Hirte, R., 1984. Textile science and technology: Production and applications of polypropylene textiles. Elsevier Scientific Publishing Company, Akademie Verlag GmbH, Germany.
- 14- P. Miretzky, F.A. Cirelli, Hg (II) removal from water by chitosan and chitosan derivatives: a review, J. Hazard. Mater. 167 (2009) 10-23.
- 15- D.W. O'Conelli, C. Birkinshaw, T.F. O'Dwyer, Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: a review, Bioresour. Technol. 99 (2008) 6709-6724.

- 16- C. Jeon, J.Y. Park, Y.J. Yoo, Novel immobilization of alginic acid for heavy metal removal, *Biochem. Eng. J.* 11 (2002) 159–166.
- 17- B.S. Inbaraj, J.S. Wang, J.F. Lu, F.Y. Siao, B.H. Chen, Adsorption of toxic mercury (II) by an extracellular biopolymer poly (g-glutamic acid), *Bioresour. Technol.* 100 (2009) 200–207.
- 18- R. Camarillo, J. Llanos, L. Garcia-Fernandez, A. Perez, P. Canizares, Treatment of copper (II)-loaded aqueous nitrate solutions by polymer enhanced ultrafiltration and electrodeposition, *Sep. Purif. Technol.* 70 (2010) 320–328.
- 19- B. De Gusseme, T. Hennebel, E. Christiaens, H. Saveyn, K. Verbeken, J. P. Fitts, N. Boon, W. Verstraete. (2011). Virus disinfection in water by biogenic silver immobilized in polyvinylidene fluoride membranes. 45, 2011, P: 1856–1864.
- 20- X. Liu, H. Ma, B. S. Hsiao. (2019). Interpenetrating Nanofibrous Composite Membranes for Water Purification. 2, 3606–3614.
- 21- Singh I and Mishra P., (2020). Nano-membrane Filtration a Novel Application of Nanotechnology for Waste Water Treatment. *Science Direct, Materials Today: Proceedings* 29, page 327–332.
- 22- Syrian Standard Specification No. 45 of 2007.