

## تحسين خصائص الأغشية المصنعة والمستخدمة في معالجة 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 تحسين خصائص الأغشية المصنعة والمستخدمة في معالجة المياه بالترشيح من خلال ثلاث طرق: تغيير مسافة العمل على جهاز الغزل، وتشكيل طبقتين من الألياف، وتشكيل الغشاء على طبقة داعمة. ثم مقارنتها بغشاء مرجعي من البولي ستايرن. حيث تم تصنيع أربعة أغشية من البولي ستايرن: (1) غشاء مرجعي على مسافة عمل 20 cm على جهاز الغزل، (2) غشاء على مسافة عمل 15 cm، (3) غشاء مكون من طبقتين من الألياف، (4) غشاء مع طبقة داعمة.

أظهرت النتائج أن الغشاء المصنع من البولي ستايرن مع طبقة داعمة أعطى أفضل الخصائص الميكانيكية بين الأغشية الأربعة من حيث قوة شد أعلى بقيمة 28.5 N واستطالة 8.2%، بالإضافة إلى كفاءة ترشيح المعوقات الصلبة TSS بنسبة 85%. وقابلية ممتازة للبلل. يليه الغشاء المصنع من البولي ستايرن ذو طبقتين بخصائص ميكانيكية جيدة من حيث قوة شد بقيمة 8.2 N واستطالة 3.5%. مع كفاءة ترشيح 70%. أما الغشاء المصنع من البولي ستايرن على مسافة عمل 15 cm، كان الأقل كفاءة في الترشيح بنسبة 45%، وبقوة شد منخفضة بقيمة 7 N واستطالة 3.5%. وبالتالي فإن جميع الأغشية المحسنة أظهرت خصائص ميكانيكية أفضل بالمقارنة مع الغشاء المصنع من البولي

ستايرن على مسافة عمل 20 cm، بالمقابل أبدى الغشاء المرجعي قابلية ممتازة للبلل مقارنة بباقي الأغشية.

**كلمات مفتاحية:** معالجة المياه، الترشيح، ألياف نانوية، أغشية، بولي ستايرن.

## **Improving the properties of manufactured and used membranes in water treatment**

### **Abstract**

In this research, the properties of manufactured membranes used in water filtration treatment were improved by three methods: changing the working distance on the spinning machine, forming two layers of fibers, and forming the membrane on a support layer. Then, they were compared with a reference polystyrene membrane. Four polystyrene membranes were manufactured: (1) a reference membrane with a working distance of 20 cm on the spinning machine, (2) a membrane with a working distance of 15 cm, (3) a membrane consisting of two layers of fibers, (4) a membrane with a support layer.

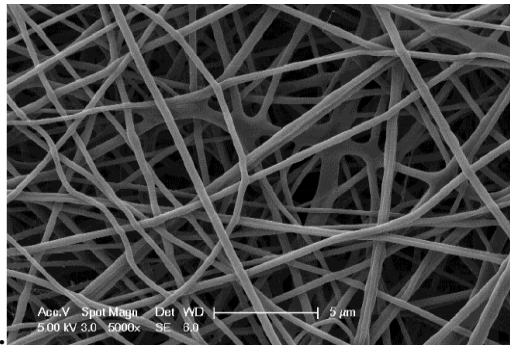
The results showed that the polystyrene membrane with a support layer had the best mechanical properties among the four membranes, with a higher tensile strength of 28.5 N and an elongation of 8.2%, as well as a TSS filtration efficiency of 85% and excellent wettability. The two-layer polystyrene membrane followed with good mechanical properties, with a tensile strength of 8.2 N and an elongation of 3.5%, and a filtration efficiency of 70%. The polystyrene membrane at a working distance of 15 cm had the lowest filtration efficiency, at 45%, and a lower tensile strength of 7 N and an elongation of 3.5%. Thus, all improved membranes exhibited better mechanical properties compared to the polystyrene membrane at a working distance of 20 cm. In contrast, the reference membrane demonstrated excellent wettability compared to the other membranes.

**Keywords:** Water treatment, filtration, nanofibers, membranes, polystyrene.

## 1. مقدمة:

تُستخدم الترشيحات الفائقة والنانوية على نطاق واسع بسبب انتقائيتها العالية للفصل ومعايير التشغيل منخفضة الطاقة والضغط. وقد بُذلت جهود كبيرة مؤخرًا لدراسة إزالة المعادن الثقيلة من خلال الترشيح السطحي [1,2] أو الترشيح بمساعدة المعقدات أو الترشيح الغشائي المعزز بالبوليمر [3,4].

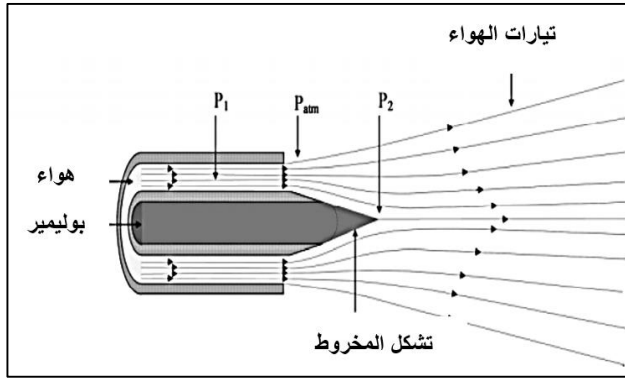
تعرف الأغشية بأنها عبارة عن حاجز يسمح لبعض المواد بالعبور اعتماداً على خصائصها الفيزيائية والكيميائية ويمكن تحضير الأغشية من مواد سيراميكية أو مواد بوليميرية [5,6]. وتختلف الأغشية عن بعضها البعض بعوامل رئيسية منها: نوعية مادة الغشاء، الشكل الهندسي لنموذج الغشاء، حجم المسام [7]. تعتبر الألياف النانومترية منتجاً جديداً من المواد التي تمتلك أقطار في مجال النانو ويمكن تعريفها وفق المواصفة ISO/TS 80004-2:2015 بأنها ألياف تمتلك بعدين من رتبة النانو والبعد الثالث يكون أكبر بشكل ملحوظ، وهي لا ترى بالعين المجردة وإنما ترى بالمجهر الإلكتروني ويظهر الشكل (1) صور مجهرية لألياف نانومترية [8].



الشكل (1): الألياف النانومترية تحت المجهر

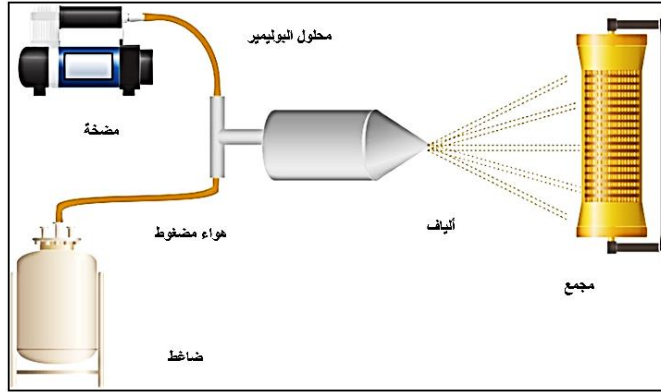
يمكن إنتاج الشبكات غير المنسوجة المكونة من الألياف الميكرومترية والنانومترية انطلاقاً من المواد البوليميرية باستخدام عدد من التقنيات المختلفة مثل: السحب، وتصنيع القوالب، وفصل الطور، والغزل الكهربائي. وتعتبر طريقة الغزل بالنفخ طريقة حديثة الاستخدام في مخبرنا المحلية [8].

تعتمد نظرية الغزل بالنفخ على مبدأ برنولي الذي يتم فيه تحويل التغيرات في الضغط إلى طاقة حركية كما هو موضح في الشكل (2). عندما يخرج تيار الغاز عالي الضغط  $P_1$  من الفوهة الخارجية، ينخفض الضغط إلى  $P_{atm}$  مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للتيار وتؤدي إلى زيادة سرعة الغاز. هذه الزيادة في السرعة تعزز انخفاض الضغط في مركز فوهة البثق، مما يخلق قوة دافعة مسؤولة عن تسارع محلول البوليمر. كما تؤدي السرعة العالية للغاز إلى نشوء قوة قص هي المسؤولة عن تشويه المحلول الذي يخرج من الفوهة الداخلية إلى شكل مخروطي. وعندما يتم التغلب على التوتر السطحي بهذه القوى يبدأ المحلول بالتطاير ويتبخر المذيب وتتشكل الألياف [8].



الشكل (2): مبدأ الغزل بالنفخ وفقاً لبرنولي [8]

يعد معدل تدفق الغاز ودرجة الحرارة وتغذية الغاز في عملية الغزل بالنفخ من أهم المتغيرات اللازمة لبدء النفخ والاستطالة، يمكن اعتبار تقنية الغزل بالنفخ طريقة لتحضير ألياف منفصلة خاصة.



الشكل (3): الشكل العام لجهاز الغزل بالنفخ

تم تسليط الضوء على مجموعة من التطبيقات التي تتضمن بوليمرات نانوية تم تصنيعها بواسطة تقنية غزل المحلول بالنفخ (Solution Blow Spinning) (SBS) في المواد الحيوية وهندسة الأنسجة والمنسوجات والمواد المركبة. أظهرت المواد غير المنسوجة المغزولة بالنفخ حديثاً إمكانية الحصول على طبقات ترشيح للأفئعة التي يتم ارتداؤها يومياً في ظل جائحة كورونا، ويمكن أن تصل كفاءة الترشيح لهذه الشبكات إلى أكثر من 99.99%. كما تم إنتاج شبكات غير منسوجة مركبة باستخدام حصائر مغزولة بالنفخ الكهربائي للحصول على وسط مرشح بقطر ألياف ومسامية وكثافة تعبئة مختلفة، حيث تسبب الغشاء غير المنسوج متعدد الطبقات في حدوث اختلافات كبيرة في المسامية وكثافة التشكيل، مما أدى إلى تحسين أداء المرشح المصنوع منه [8].

تعتبر أغشية النانو الحل الأمثل لجميع أنواع التلوث الرئيسية ، وبشكل عام يقلل التلوث من تدفق الراشح عبر الغشاء أثناء عمليات الفصل إما على سطح الغشاء أو داخل مساماته [9]. إن التلوث الغرواني يكون الغرويات على سطح الغشاء حيث يحجز الغشاء الملوثات ، مثل الأصباغ والسيليكا وهي المشكلة الرئيسية أثناء استخدام غشاء النانو لمعالجات مياه الصرف الصناعي [10]. يتم استخدام مكونات البولي أميد في تصنيع الأغشية النانوية بسبب خصائصها الكيميائية والفيزيائية مثل الاستقرار الحراري العالي والخصائص الميكانيكية الممتازة [11]. بالتالي فإن تطبيق هذه الأنواع من طرق معالجة مياه الصرف الصناعي باستخدام غشاء النانو يمكن أن يكون فعالاً. إن الأغشية النانوية المطعمة بالفضة، والمصنعة من بوليميرات حيوية مثل البولي أميد والبولي لاكتيك أسيد هي الشائعة حالياً. كما تم التوجه إلى دمج المواد النانوية في الأغشية البوليميرية في العقود الأخيرة لأنه أعطى قيم نفوذية أفضل. تضم الجسيمات النانوية المدمجة في الغشاء طبقات تحوي على السيليكا  $SiO_2$  و  $TiO_2$  والزيوليت [12,13].

يهدف البحث إلى اقتراح طرق تحسين خصائص هذه الأغشية البوليميرية النانوية المصنعة لمعالجة مياه الصرف الصناعي.

## 2. دراسات مرجعية:

قام Chou. W.L عام 2005 بتصنيع غشاء مكون من ألياف مجوفة من الأسيتات (CA)، تم غزلها عن طريق تقنية الغزل الرطب. تم تحضير محاليل الغزل عن طريق إذابة  $AgNO_3$  و CA في ثنائي ميثيل الفورم أميد DMF وتم إضافة جسيمات نانوية فضوية إلى المحاليل ثم تم فحص الغشاء المصنوع. أظهرت النتائج أن حجم المسام أصغر من 10 نانومتر وفقاً للفحص المجهرى، أما محتوى الفضة ضمن الأغشية الليفية

والمضاف إلى المحلول وصل إلى حوالي 60% وأبدى الغشاء خصائص مضادة للبكتيريا الإشرشبية القولونية والمكورات العنقودية الذهبية [14].

قام Chen و Liu عام 2013 بدراسة إمكانية استخدام غشاء الزيوليت النانوي لتحلية مياه البحر باستخدام محاكاة ديناميكية جزيئية شاملة. تم استخدام نوعين من الزيوليت بخصائص ترطيب مختلفة كغشاء للتناضح العكسي (RO) حيث يمكن لكل منهما الوصول إلى احتجاز 100% تقريباً لأيونات الملح وذلك عندما يكون سمك الغشاء أصغر من 3.5 نانومتر [15].

أجري بحث صيني أمريكي مشترك من قبل ليو ورفاقه عام 2019 على دراسة تصنيع أغشية مركبة من الألياف النانوية بغرض تنقية المياه، استخدم الباحثون طريقة الغزل الكهربائي لإنتاج تلك الألياف، وتم إجراء تحسين الخواص الميكانيكية والهيكليّة للغشاء عن طريق استخدام ألياف متناهية في الصغر متداخلة فيما بينها، أظهر الغشاء الناتج نفوذية عالية للماء مع قدرة كبيرة على احتجاز ملوثات مختلفة وخاصة أيونات الكروم ، وخلص الباحثون أن الغشاء المركب أفضل من الغشاء الأحادي غير المركب [16].

قام Singh and Mishra عام 2020 بدراسة تنقية مياه الصرف الصحي باستخدام أغشية نانوية صنعت من عدة بوليمرات مركبة من ألياف نانوية بأقطار نانوية متعددة. تبين عند اختبار فعالية الأغشية في تنقية المياه، أنها ذات فعالية عالية في إزالة ملوثات الأصبغة بنسبة 80، كما أعطت قدرة عالية على إزالة العناصر الثقيلة كالرصاص والكاديوم وغيرها، بالإضافة لقدرتها على خفض الزيت بنسبة 99% و الشحوم بنسبة 80% وخفض نسبة BOD بنسبة 76% وكذلك COD بنسبة 92% [17].

قام Kuo Sun في عام 2024 بدراسة عمل غشاء التناضح الأمامي (FO) دون ضغوط هيدروليكية، مما يتيح المعالجة الفعالة لمياه الصرف الصحي مع تخفيف تلوث الغشاء وتعزيز الكفاءة. يعد تصميم طبقة بولي الأמיד عالي الأداء (PA) على ركائز السيراميك تحديًا لتطبيقات تحلية المياه بالتناضح الأمامي. أظهرت النتائج أنه يمكن للأغشية المصنعة التخلص من الأنواع الرئيسية (الأيونات والزيت والمواد العضوية) بنسبة أكثر من 94% وتراوح تدفق المياه ما بين  $14.35-22.62 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$  عند معالجة مياه الصرف الصناعي القلوية (pH 8.6) [18].

### 3. هدف البحث:

يهدف البحث إلى تصنيع أغشية ترشيح نانوية من البولي ستايرن لمعالجة المياه مع دراسة إمكانية تحسين خصائص الأغشية الفيزيائية والميكانيكية من حيث: قطر الألياف والمسامية، والشد والاستطالة، والبلل. واختبار كفاءتها في تخفيض المعوقات الصلبة .TSS

### 4. المواد والأجهزة المستخدمة:

#### المواد:

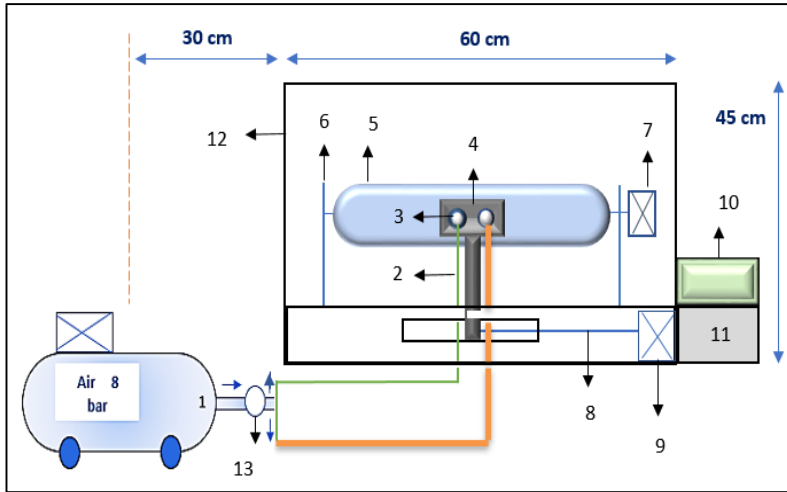
- بولي ستايرن PS: تم الحصول عليه بإعادة تدوير حبيبات من الفلين التجاري.
- ثنائي ميثيل فورم أميد DMF: وزنه المولي  $73.09 \text{ g/mol}$ ، كثافته  $30.94 \text{ g/cm}^3$ .

## الأجهزة:

### - جهاز الغزل بالنفخ:

يستخدم في إنتاج شبكات من الألياف النانوية، موجود في مخبر الألياف النانوية في قسم هندسة الغزل والنسيج-جامعة حمص. كما هو موضح في الشكل (4).

عند فتح صمام الضاغط الهوائي يخرج تيار الهواء المضغوط عبر الأنابيب إلى رأس النفخ والذي يتم وضعه على وضعية التشغيل ليتم نفخ المحلول البوليميري، من جهة أخرى فإن تشغيل لوحة التحكم يؤدي إلى تشغيل الحركة الترددية لحامل رأس النفخ، والحركة الدورانية لأسطوانة التجميع، حيث أن المحرك يعطي الحركة لأسطوانة التجميع لتبدأ بالدوران [14].



الشكل (4): مخطط صندوقي لجهاز الغزل بالنفخ في مخبر الألياف النانوية

### جهاز قوة الشد والاستطالة:

هو جهاز موجود في مخبر النسيج - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية في جامعة حمص، يعمل حسب المواصفة القياسية (ASTM D5035-95) بأبعاد مختلفة للعينة، ويشد أولي قيمته (200 N).

يتألف جهاز الشد من مقبضي الجهاز (سفلي ثابت وعلوي متحرك)، لإمساك عينة الغشاء أثناء الاختبار، ويرتبط الجهاز بحاسب يحوي على برنامج لإعطاء النتائج، وموصول إلى طابعة. كما هو موضح في الشكل (5).



الشكل (5): جهاز قوة الشد والاستطالة في مخبر النسيج

#### - المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

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

يعتبر المجهر الالكتروني 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. حيث يوضح الشكل (6) المجهر الالكتروني المستخدم وملحقاته.



الشكل (6): المجهر الالكتروني الماسح في هيئة الطاقة الذرية بدمشق VEGA II  
XMU

#### - 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 للوحدة المستخدمة، كما يمكن من خلاله حساب زوايا وانحرافات معينة ضمن الصورة إضافة إلى وظائف أخرى. وقد تم استخدامه لتحليل صور العينات المجهرية الناتجة.

#### تصنيع الأغشية:

تم تحضير مجموعة من المحاليل البوليميرية بتركيز وزني 10% وفق شروط معطاة في الجدول (1)، حيث تم استخدام بولي ستايرن مع مذيب 100% ثنائي ميثيل فورم أميد.

تم وزن مقدار معين من مادة البوليمير بحسب التركيز المراد الوصول إليه، وحلها ضمن حجم محدد من المذيب، وتحريك المزيج بوجود حرارة وباستخدام خلاط مغناطيسي لتحقيق التجانس الحراري والمادي.

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

تم تحضير الجهاز للقيام بتجارب الغزل بالنفخ حيث: وضع المحلول البوليميري ضمن حجرة البوليمير في رأس النفخ والمغلقة بإحكام. وتم وضع طبقة من زيت تشحيم على سطح التجميع من أجل تسهيل إزالة العينة. ثم تشغيل الضاغط عند قيمة مقدارها 2 bar.

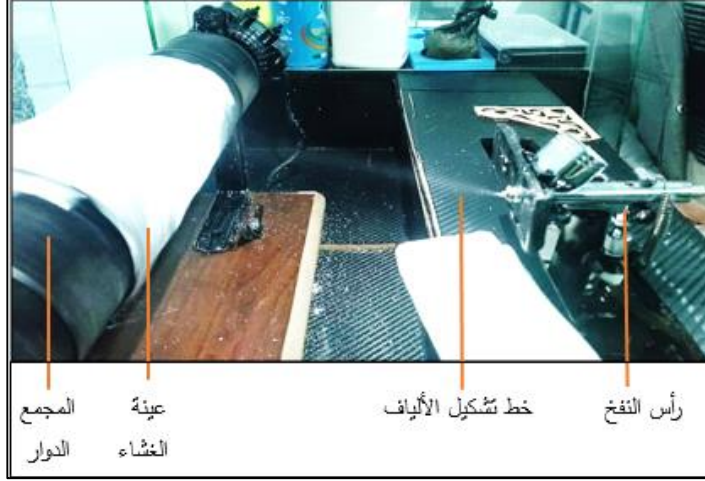
تم تصنيع 4 عينات من الأغشية ببارامترات تشغيل مختلفة موضحة في الجدول (1).

الجدول (1): 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	بولي ستايرن	2	1.8	15	10	15

سلسلة العلوم الهندسية الكيميائية والبتروولية				مجلة جامعة حمص		
د.محمد أسعد		أ.د.محمد هلال	فاطمة التركي	المجلد 47 العدد 5 عام 2025		
3	بولي ستايرن (طبقتين)	2	1.8	20	10	30
4	بولي ستايرن (مع طبقة داعمة)	2	1.8	20	10	15

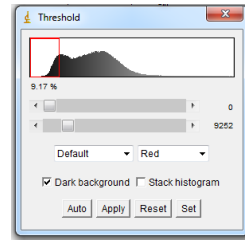
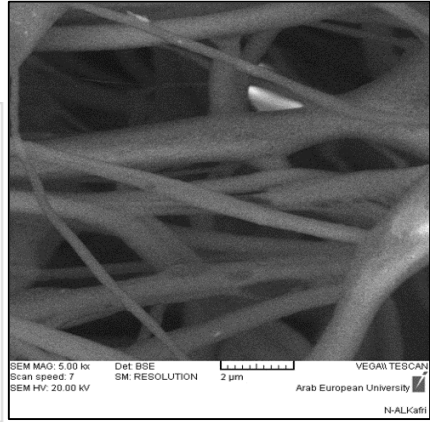
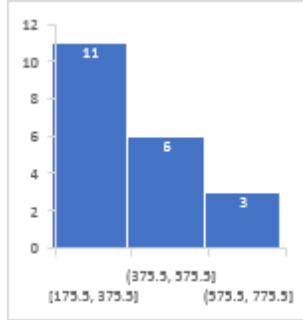
يوضح الشكل (7) عملية تشكيل الأغشية بتقنية الغزل بالنفخ



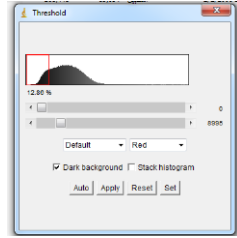
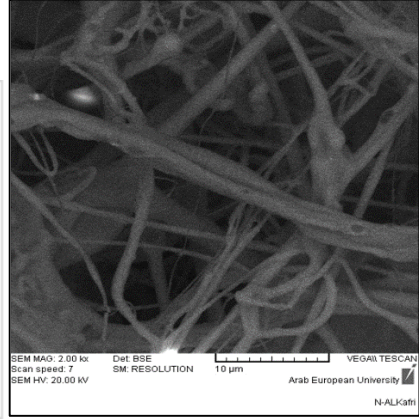
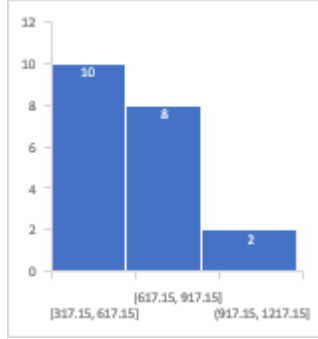
الشكل (7): عملية تشكيل الأغشية بتقنية الغزل بالنفخ

### الفحص المجهرى للأغشية المحضرة:

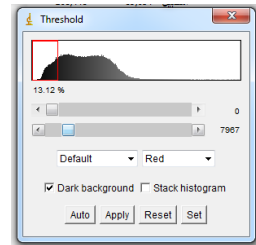
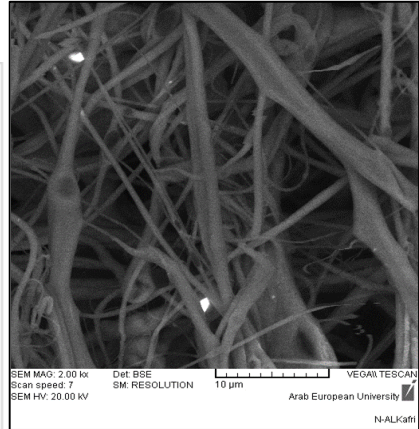
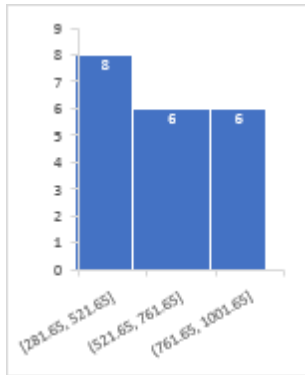
تم فحص الأغشية المصنعة في هيئة الطاقة الذرية في دمشق، وفحصها مجهرياً باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح، ثم معالجتها باستخدام برنامج Image z وحساب أقطار الألياف، وكتافتها السطحية ومساميتها. ونجد في الأشكال (8) و(9) و(10) و(11) الصور المجهرية للعينات، ومخططات توزيع الأقطار في كل عينة.



الشكل (8): الصورة المجهرية للعينة 1، ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام

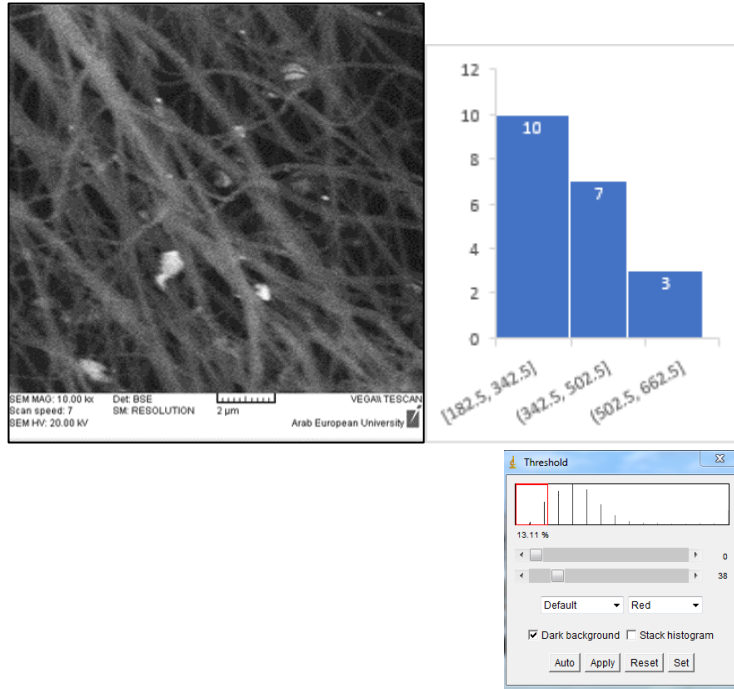


الشكل (9): الصورة المجهرية للعينة 2 ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام



الشكل (10): الصورة المجهرية للعينة 3، ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة

هستوغرام

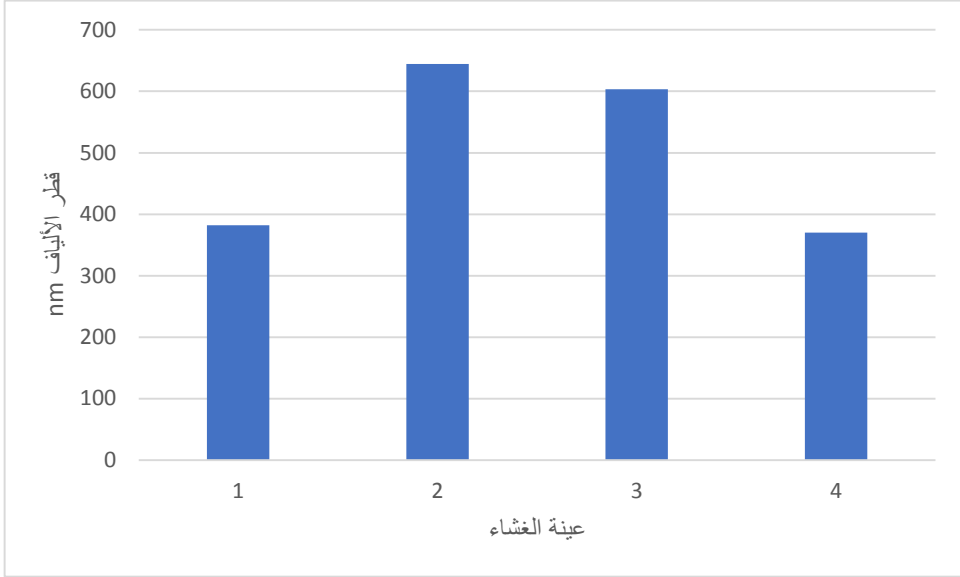


الشكل (11): الصورة المجهرية للعينة 4، ومخطط توزيع الأقطار، ومخطط المساحة هيستوغرام

إن مخطط توزيع الأقطار هو دليل إحصائي يوضح عدد الألياف ضمن مجال أقطار محدد (على المحور الأفقي للمخطط)، حيث تم قياس قطر 20 ليف في كل عينة. كما أن مخطط هيستوغرام والذي تم الحصول عليه وفقاً لبرنامج Image J لكل عينة يوضح النسبة المئوية للمساحة المظلمة التي لا تحتوي ألياف بالنسبة لمساحة الصورة المجهرية، والتي تعبر عن مسامية العينة. ونجد في الجدول (2) نتائج هذه القياسات.

الجدول (2): نتائج الفحص المجهرى للأغشية

المسامية (المساحة المظلمة) %	الكثافة السطحية للألياف 10 /fiber $\mu\text{m}$	متوسط قطر الألياف nm	مجال الأقطار nm	عينة الغشاء
9.17	17	381.9	-175.5 753.6	1 بولي ستايرن، 20cm
12.86	10	644.6	-317.1 1157.4	2 بولي ستايرن، 15cm
13.12	14	603.6	-281.6 978.3	3 بولي ستايرن ذو الطبقتين
13.11	89	370.2	-182.5 659.2	4 بولي ستايرن مع داعمة

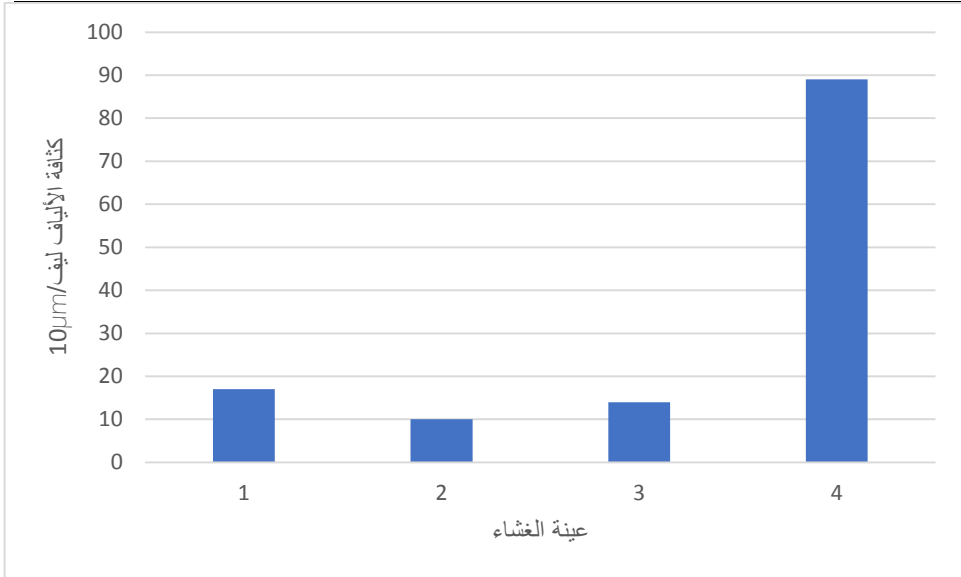


الشكل (12): مقارنة بين أقطار الألياف للأغشية

يلاحظ من الشكل (12) أن أقطار ألياف الغشاء 1 (مسافة عمل 20 cm) والغشاء 4 (ذو الطبقة الداعمة) كانت الأصغر وفق المقياس النانوي، بينما كانت أقطار الأغشية 2 و3 أعلى.

إن انخفاض مسافة التشغيل بين رأس النفخ والمجمع على جهاز الغزل بالنفخ أعطى أقطار أعلى، حيث كان متوسط قطر الغشاء 1 حوالي 381.9 nm ، بينما متوسط أقطار الغشاء 2 حوالي 644.6 nm .

أعطى الغشاء المؤلف من طبقتين متوسط قطر أكبر بمقدار 603.6 nm ، أما الغشاء ذو الطبقة الداعمة (ورقة الترشيح) فكان متوسط أقطار أليافه 370.2 nm وهو الأصغر بين الأغشية.

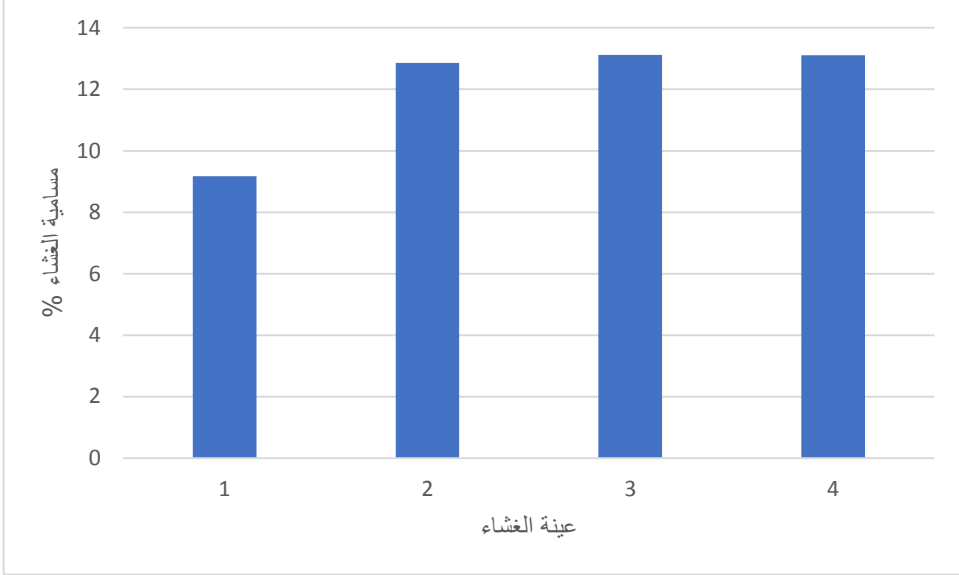


الشكل (13): مقارنة بين كثافة ألياف الأغشية

نجد من الشكل (13) أن قيم كثافة الألياف تتناسب مع قيم الأقطار، حيث أنه مع زيادة القطر تتخفف كثافة الألياف ضمن واحدة الطول.

بالنتيجة كانت كثافة الألياف في الغشاء 4 هي الأعلى بقيمة  $89 \mu\text{m}/\text{fiber}$ ، يليه الغشاء 1 بكثافة  $17 \mu\text{m}/\text{fiber}$ ، ثم الغشاء 3 بكثافة  $14 \mu\text{m}/\text{fiber}$ . وأصغر كثافة للألياف كانت للغشاء الأعلى قطراً بقيمة  $10 \mu\text{m}/\text{fiber}$ . كما هو موضح في الجدول (2).

## تحسين خصائص الأغشية المصنعة والمستخدمة في معالجة المياه



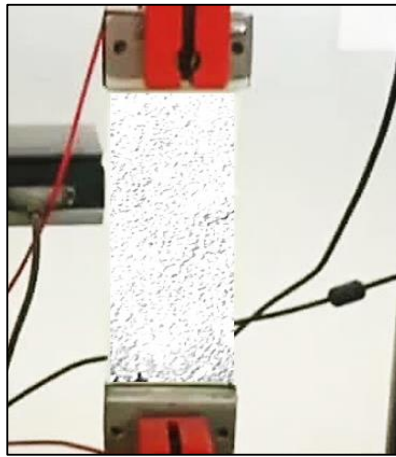
الشكل (14): مقارنة بين مسامية الأغشية

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. نجد من الشكل (14) أن قيم المسامية متقاربة للأغشية 2 و 3 و 4، بينما كانت منخفضة بشكل ملحوظ للغشاء 1 ونسبة 9.17%.

الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية على الأغشية المصنعة:

- اختبار الشد والاستطالة:

أجري اختبار الشد والاستطالة على عينات الأعشبية حسب المواصفة القياسية (ASTM D5035-95)، حيث تم تثبيت العينات بين مقبضي جهاز الشد كما في الشكل (15)، وتشغيل الجهاز بحمل أولي 200 N. تم تسجيل قوة الشد العظمى  $F_{max}$  وقيمة الاستطالة. وكانت أبعاد العينة المدروسة (10\*15 cm). نجد في الجدول (3) النتائج التجريبية لاختباري الشد و الاستطالة.

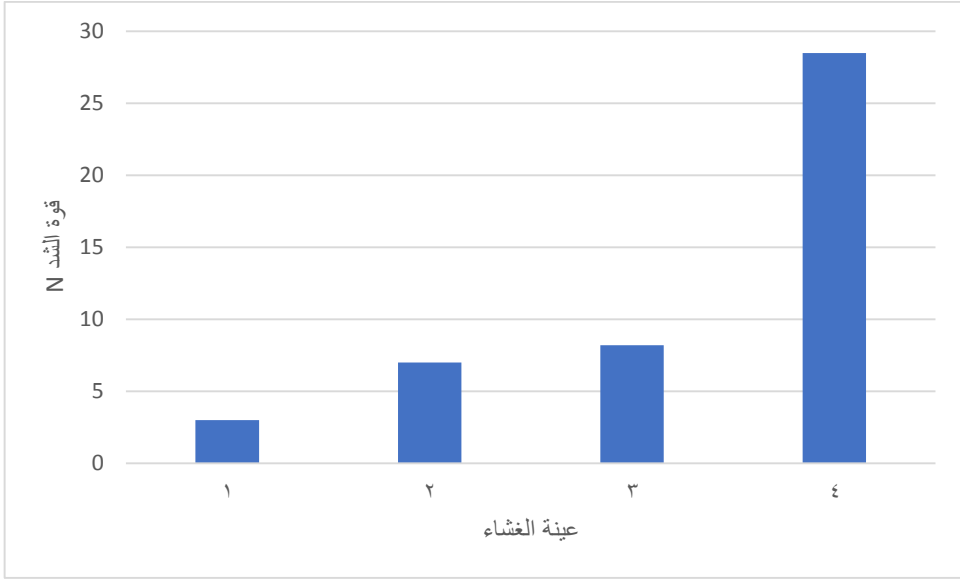


الشكل (15): أحد الأعشبية بين مقابض جهاز الشد

الجدول (3): نتائج اختبار قوة الشد والاستطالة للأعشبية

العينة	1	2	3	4
$F_{max}$	3	7	8.2	28.5
N				
الاستطالة %	3	3.5	3.5	8.2

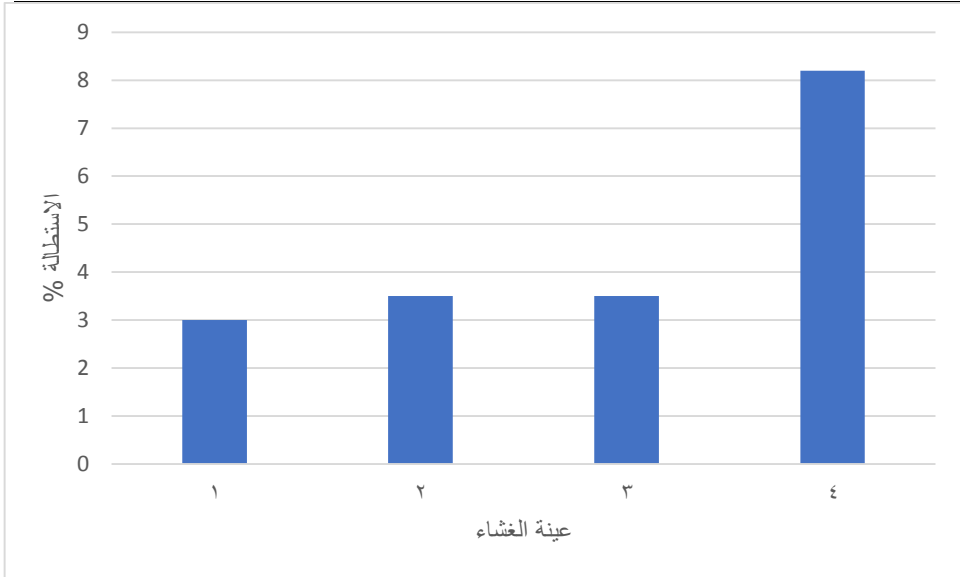
وجد في الشكل (16) نتائج الدراسة التجريبية للأغشية النانوية الأربع المصنعة مخبرياً" فيما يتعلق بقوة الشد و الاستطالة.



الشكل (16): مقارنة قوة الشد للأغشية

يلاحظ من الشكل (16) أن الغشاء النانوي رقم 4 أعطى أكبر قوة شد بقيمة 28.5 N ويعود ذلك لوجود الطبقة الداعمة، يليه الغشاء رقم 3 المكون من عدة طبقات من الألياف بقيمة 8.2N .

ويلاحظ بالنسبة للأغشية رقم 1 و2 أن قوة الشد للغشاء 2 أعطى أكبر من قوة شد الغشاء 1، حيث بلغت القيم على التوالي 7 N و 3 N.



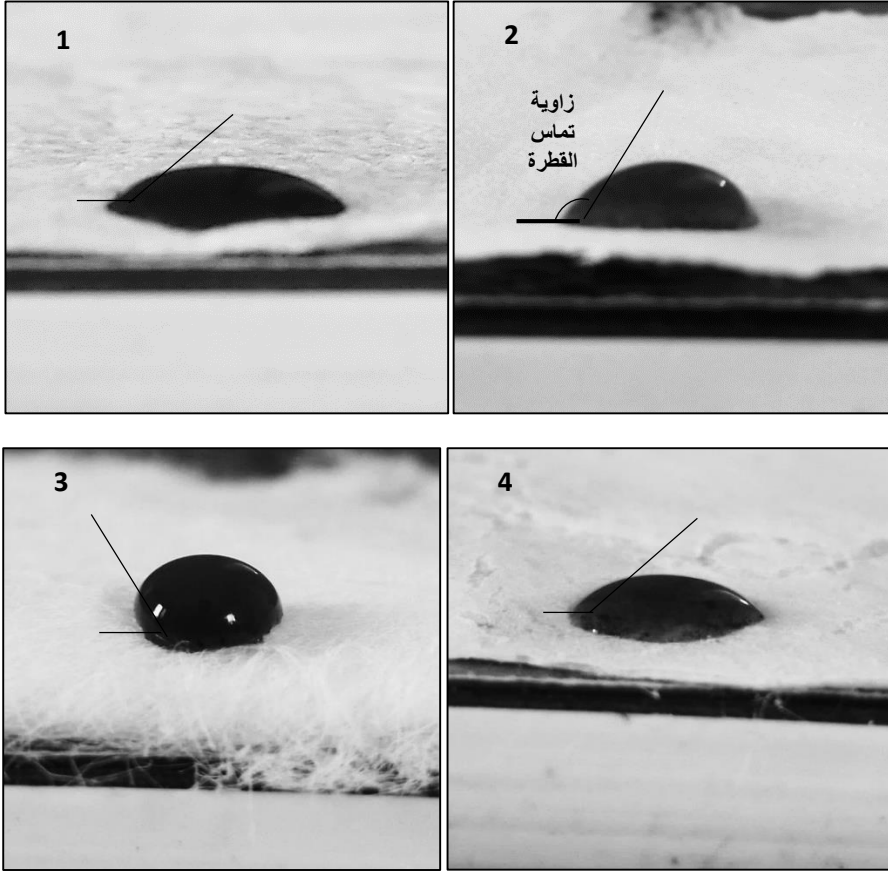
الشكل (17): مقارنة الاستطالة للأغشية

يلاحظ من الشكل (17) أن قيم الاستطالة كانت متقاربة للأغشية 1 و 2 و 3، بينما أظهر الغشاء 4 قيمة أكبر للاستطالة بمقدار 8.2% بسبب وجود الطبقة الداعمة.

#### - اختبار قابلية البلل :

يتم وضع قطرة من سائل الاختبار (الماء) على القماش كما في الشكل (18)، ثم يتم تقييم مقاومة البلل للنسيج بعد فترة زمنية معينة بقياس زاوية البلل باستخدام برنامج *mage jz*، وهي الزاوية بين محيط القطرة وخط التماس، وصولاً إلى تلاشي القطرة. حيث أنه بازدياد زاوية التماس تزداد قابلية الغشاء للتبلل وفق المواصفة (GB/T30693-2014).

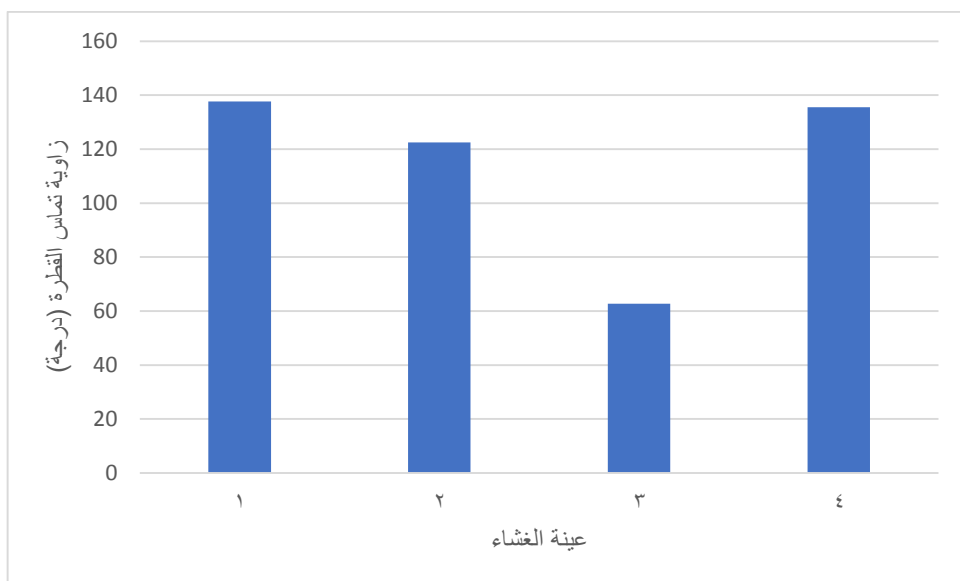
أما النتائج المتعلقة بحساب زاوية التماس موضحة في الجدول (4).



الشكل (18): صور العينات أثناء اختبار زاوية البلل

الجدول (4) يبين نتائج قياس زاوية التماس للأغشية

العينة	1	2	3	4
زاوية التماس (درجة)	137.6	122.5	62.7	135.5



الشكل (19): مقارنة قابلية البلل للأغشية

يلاحظ من الشكل (19) أن الغشاء 3 كان الأقل قابلية للبلل بزاوية تماس منخفضة 62.7 درجة، بينما أظهرت باقي الأغشية قابلية جيدة للبلل كانت أعلاها للغشاء 1 بزاوية تماس 137.6 درجة، يليه الغشاء 4 بزاوية تماس 135.5 درجة.

### 3.1. اختبار الأغشية المصنعة في ترشيح المعلقات الصلبة TSS:

تم القيام باختبار الأغشية المصنعة وتحديد فعاليتها في تخفيض نسبة المعلقات الصلبة في عينة مياه صناعية مأخوذة من المدينة الصناعية في حسياء.

تم أخذ عينات لمياه صناعية من محطة المياه الصناعية في مدينة حسياء موضحة في الشكل (20)، حيث تحتوي على نسبة عالية من المعلقات. وأظهر التحليل الأولي أن نسبة TSS قبل المعالجة كانت 200 mg/l.



الشكل (20): عينات من مياه المحطة قبل المعالجة

تم استخدام خلية ترشيح مكونة من: الغشاء المصنع، بيشر، أرلينة لتجميع الراشح، مخلية هواء بضغط 1 bar. وتم إجراء الاختبارات لكل غشاء على حدة، وحساب الزمن اللازم للترشيح. ثم حساب قيمة تدفق المياه عبر كل غشاء وفق القانون:

$$P_{wf} = V / (t.A)$$

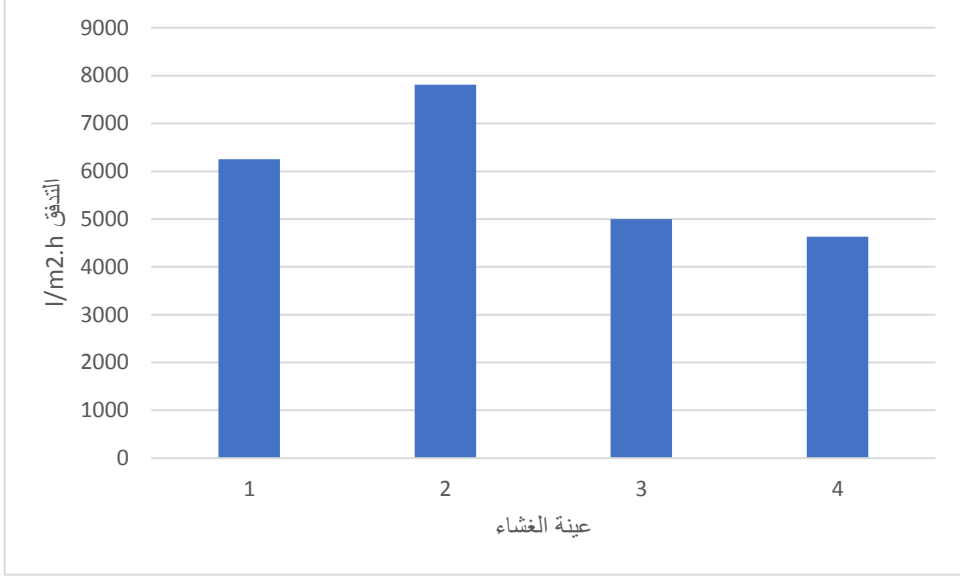
حيث:  $P_{wf}$ : معدل التدفق النوعي للراشح  $l/m^2.h$ ،  $V$ : حجم الماء  $l$ ،  $t$ : زمن الترشيح  $h$ ،  $A$ : مساحة السطح الفعال في الغشاء ضمن منطقة الترشيح  $3.2m^2$  وتساوي  $0.0008m^2$

(اعتماداً على قطر الغشاء المختبر). نتائج حساب التدفق عبر الأغشية موضحة في الجدول (5).

الجدول (5): حساب تدفق المياه عبر الأغشية

العينة	1	2	3	4
كمية الماء ml	100			
الزمن sec	72	60	93	97
التدفق النوعي الراشح l/m <sup>2</sup> .h	6250	7812.5	5000	4629.6

## تحسين خصائص الأغشية المصنعة والمستخدمة في معالجة المياه



الشكل (21): مقارنة التدفق الراشح عبر الأغشية

يلاحظ من الشكل (21) أن التدفق الراشح عبر الغشاء 2 كان الأكبر، يليه الغشاء 1. تعتمد كمية الماء النافذ على سماكة الأغشية لذا أظهرت الأغشية المتعددة الطبقات 3 و4 نسبة تدفق نوعي راشح أقل من بين الأغشية الأربعة.

تم حساب نسبة ترشيح المعلقات الصلبة TSS من القانون:

$$TSS = \frac{(w_2 - w_1) \cdot 1000}{v}$$

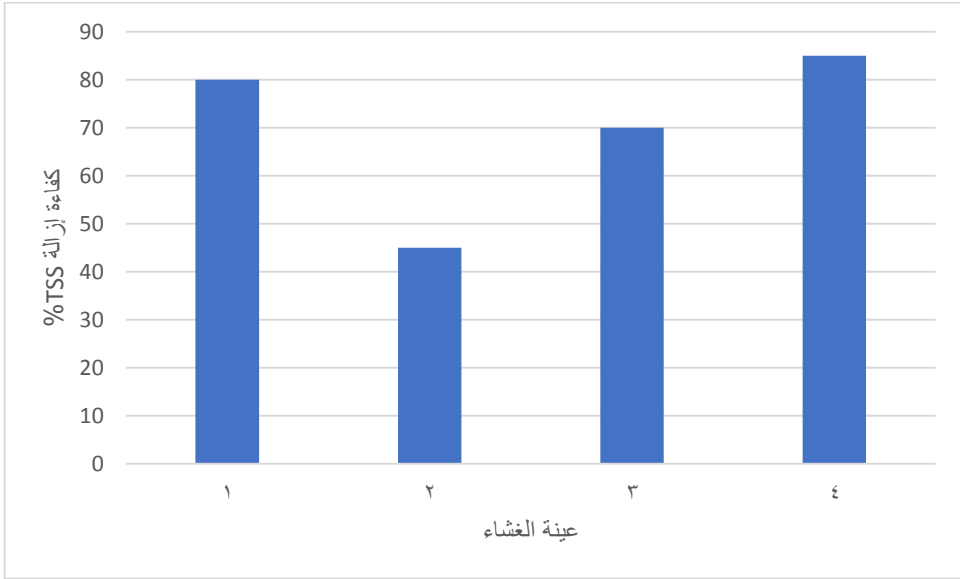
حيث:  $w_2$ : وزن الغشاء الجاف بعد الترشيح والتجفيف، mg،

$w_1$ : وزن الغشاء الجاف قبل الترشيح، mg،

$v$ : حجم المياه المرشحة ml. تم تدوين النتائج الحاصلة في الجدول (6).

الجدول (6): نتائج حساب كفاءة ترشيح TSS

كفاءة الإزالة %	TSS المحتجزة Mg/l	وزن الغشاء بعد الترشيح mg	وزن الغشاء قبل الترشيح mg	TSS الابتدائية Mg/l	نوع الغشاء
80	160	884	868	200	1 بولي ستايرن، 20 سم مسافة تشغيل
45	90	849	840	200	2 بولي ستايرن، 15 سم مسافة تشغيل
70	140	1744	1730	200	3 بولي ستايرن ذو طبقتين
85	170	1817	1800	200	4 بولي ستايرن مع طبقة داعمة



الشكل (22): مقارنة كفاءة الأغشية في إزالة TSS

يلاحظ من الشكل (22) أن كفاءة ترشيح المعوقات الصلبة TSS كانت الأعلى للغشاء 4 (ذو الطبقة الداعمة) حيث بلغت 85%، يليه الغشاء المرجعي من البولي ستايرن (مسافة عمل 20cm) وبلغت 80%. بينما أظهر غشاء البولي ستايرن (عند مسافة عمل 15cm) أقل كفاءة حيث بلغت 45%.

نجد في الجدول (7) مقارنة للأغشية النانوية المستخدمة في الدراسة التجريبية.

الجدول (7): خصائص الأغشية النانوية المختبرة الأفضل

الغشاء	قطر الألياف nm	الكثافة 1/fiber $\mu 0$	المسامية %	قوة الشد N	الاستطالة %	زاوية البلل	التدفق l/m <sup>2</sup> .h	كفاءة ترشيح TSS%
1	381.9	17	9.17	3	3	137.6	6250	80
2	644.6	10	12.86	7	3.5	122.5	7812.5	45
3	603.6	14	13.12	8.2	3.5	62.7	5000	70
4	370.2	89	13.11	28.5	8.2	135.5	4629.6	85

4. الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- أظهر الغشاء 4 (بولي ستايرن مع طبقة ترشيح داعمة) أفضل الخصائص الميكانيكية بين الأغشية من حيث قوة شد أعلى بقيمة 28.5 نيوتن واستطالة 8.2% ، بالإضافة إلى كفاءة ترشيح TSS بنسبة 85%. وقابلية ممتازة للبلل.
- أظهر الغشاء 3 (بولي ستايرن متعدد الطبقات) خصائص ميكانيكية جيدة أيضاً من حيث قوة شد بقيمة 8.2 N واستطالة 3.5 % مع كفاءة ترشيح TSS 70%.
- أما الغشاء 2 (بولي ستايرن، مسافة عمل 15 cm) كان الأقل كفاءة في الترشيح بنسبة 45%، وقوة شد منخفضة بقيمة 7 N واستطالة 3.5%.

- الغشاء 1 (بولي ستايرين، مسافة عمل 20 cm) كان الأقل جودة من حيث الخصائص الميكانيكية بقوة شد منخفضة وصلت حتى 3 N واستطالة % 3. إلا أنه أبدى قابلية ممتازة للبلل.

بالنتيجة إن تصنيع أغشية متعددة الطبقات يحسن بشكل جيد من خصائص تحمل الغشاء للشد والاستطالة، كما يزيد من كفاءة الترشيح. إلا أن زيادة عدد الطبقات يخفض قابلية البلل وتدفق الراشح عبر الغشاء.

#### التوصيات:

- 1- إجراء دراسات موسّعة على أنواع أخرى من البوليميرات والمواد المضافة (مثل أكاسيد المعادن أو الكربون النانوي) بهدف تحسين أداء الأغشية النانوية من حيث النفوذية والانتقائية وعمر الاستخدام.
- 2- دراسة تأثير العوامل البيئية مثل درجة الحرارة، والحموضة، والملوحة على كفاءة الأغشية النانوية، لتحديد الظروف الأفضل للتشغيل.
- 3- تحليل عمر الغشاء وجودته بعد الاستخدام المتكرر، لتقييم قدرة الأغشية على الحفاظ على كفاءتها دون الحاجة للاستبدال المستمر.
- 4- تقييم الجوانب الاقتصادية لتصنيع وتشغيل الأغشية النانوية مقارنة بالطرق التقليدية في تنقية المياه، لتحديد مدى جدواها الصناعية والتجارية.

## 5. المراجع:

- 1- F. Ferella, M. Prisciandaro, I. De Michelis, F. Veglio, (2007). Removal of heavy metals by surfactant-enhanced ultrafiltration from wastewaters, *Desalination* 207, 125–133.
- 2- E. Samper, M. Rodríguez, M.A. De la Rubia, D. Prats, (2009). Removal of metal ions at low concentration by micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF) using sodium dodecyl sulfate (SDS) and linear alkylbenzene sulfonate (LAS), *Sep. Purif. Technol.* 65, 337–342.
- 3- S. Mondal, S.B. Mlouka, M. Dhahbi, S. De, (2011). A physico-chemical model for polyelectrolyte enhanced ultrafiltration, *J. Membr. Sci.* 376, 142–152.
- 4- D.J. Ennigrou, L. Gzara, M.R.B. Romdhane, M. Dhahbi, (2009). Cadmium removal from aqueous solutions by polyelectrolyte enhanced ultrafiltration, *Desalination* 246, 363–369.
- 5- Chung, H. L. (2014). Membrane process.
- 6- Munir, A. (2006). Dead end membrane filtration. *Laboratory Feasibility Studies in Environmental Engineering*, 33, page 1-33.
- 7- M. W. Issa. (2014). *Water Treatment Book for Third Year Students*, Department of Chemical Engineering, Al-Baath University.
- 8- 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.
- 9- Z. Amjad, (1993). *Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications*, Chapman & Hall, Norwell, MA, 1993.
- 10- C.Y. Tang, T. Chong, A.G. Fane, (2011). Colloidal interactions and fouling of NF and RO membranes: A review, *Adv. Colloid Interface Sci.* 164, 126–143.

- 11- J. Huang, K. Zhang, (2011). The high flux poly (m-phenylene isophthalamide) nanofiltration membrane for dye purification and desalination, *Desalination* 282,19–26.
- 12- M. Luo, J. Zhao, W. Tang, C. Pu, (2005). Hydrophilic modification of poly (ether sulfone) ul-trafiltration membrane surface by self-assembly of TiO<sub>2</sub> nanoparticles, vol. 249, 2005 76–84.
- 13- B. Moermans, W. De Beuckelaer, I.F.J. Vankelecom, R. Ravishankar, J.A. Martens, P.A. Jacobs, (2000). Incorporation of nano-sized zeolites in membranes, *Chem. Commun.* (24), 2467–2468.
- 14- Chou. W.L. et al. (2005) The preparation and characterization of silver-loading cellulose acetate hollow fiber membrane for water treatment. *Polymer. Adv. Tech.* 16 (8), 600–607.
- 15- Yilun Liu a, and Xi Chen. (2013). High permeability and salt rejection reverse osmosis by zeolite nano-membrane. doi:10.1039/C3CP43854F.
- 16- Liu X et al., (2019) Interpenetrating Nano fibrous Composite Membranes for Water Purification. *ACS Appl, Nano Mater.* 2019, 2, page 3606–3614.
- 17- 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.
- 18- Kuo Sun, Qiang Lyu, Xiangyong Zheng, Renlan Liu, Chuyang Y. Tang, Min Zhao, Yingchao Dong. (2024). Enhanced water treatment performance of ceramic-based forward osmosis membranes via MOF interlayer. *Vol: 254, 1 May 2024, 121395.*