

تحسين إنتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار

أحمد سليمان قناة*¹ باسل يونس² عرب المصيري³

*¹. مهندس، قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، سوريا. (ahmad.kanah@damascusuniversity.edu.sy).

². دكتور، قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، سوريا. (b.younes@damascusuniversity.edu.sy).

³. دكتور، الهيئة العامة للتقانة الحيوية، دمشق، سوريا. (Aroubalmasri69@damascusuniversity.edu.sy)

الملخص:

تم تشكيل شبكات نانوية باستخدام مبدأ الغزل الكهربائي الدوار (عديم الإبرة)، بالاعتماد على قوة الكهرباء الساكنة لتشكيل الألياف من محاليل بوليميرية بأقطار تتراوح من 10 نانومتر إلى بضعة ميكرومترات، إن إنتاج ألياف نانوية ذات ترتيب وشكل هندسي منتظم يحتاج إلى تحكم دقيق بقيم الحقل الكهربائي، بالإضافة إلى القدرة على توجيه الألياف خلال عملية الغزل الكهربائي، حيث تم استخدام موجات ومجمعات تم تصميمها لتطوير ترسيب الألياف النانوية، والحصول على شبكات نانوية ذات قيم متانة أعلى ومسامية منتظمة نسبياً. أظهرت نتائج تحليل العينات تشكل أغشية مؤلفة من عدة طبقات، وذات ألياف نانوية بأقطار تتراوح بين (100-300 نانومتر)، وتكوين شبكات نانوية ذات ألياف موجهة قابلة للاستخدام ضمن عمليات الترميم في المجال الطبي وفي مجال الزرع الخلوي.

للكشف عن النمو الجرثومي، تم أخذ عينات بول من عدة مرضى وزراعتها على الشبكات النانوية للمساعدة في التشخيص الطبي لنوع الالتهاب الجرثومي الحاصل، والتأكد من نوع الجرثومة ومعالجتها. تم إجراء الاختبار في ثلاثة أوساط وهي وسط (EMB) المنمي للجراثيم سلبية الغرام، ووسط آغار ماكونكي المنمي للجراثيم سلبية الغرام، ووسط آغار الدم المنمي للجراثيم موجبة الغرام، وأوضحت النتائج وجود الجرثومة E-Coli في وسط آغار ماكونكي. عند مقارنة نمو المستعمرات الجرثومية وجد أن النمو بالأوساط التي تحوي شبكة نانوية احتاج إلى زمن أقل وكان أوضح بنسبة كبيرة مقارنة مع الأوساط التي لا تحتوي على الشبكة.

الكلمات المفتاحية: الغزل الكهربائي الدوار، شبكات لا منسوجة، ألياف نانوية، المجمع.

تاريخ الإيداع : 2023/6/26

تاريخ القبول: 2023/9/20



حقوق النشر : جامعة دمشق

سورية، يحتفظ المؤلفون

بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA

Improving the Production of Bio-Nanofibers Using Rotary Electro-Spinning Technology

Ahmad Souliman Kanah^{*1} Basel younes² Aroub almasri³

^{*1}. Mechanical engineering of textile industries and their technologies department– Faculty of mechanical and electrical engineering - Damascus University, Syria. ahmad.kanah@damascusuniversity.edu.sy

². Dr, Mechanical engineering of textile industries and their technologies department– Faculty of mechanical and electrical engineering - Damascus University, Syria. B.younes@damascusuniversity.edu.sy

³. Dr, National Commission for Biotechnology, Damascus, Syria. Aroubalmasri69@damascusuniversity.edu.sy

ABSTRACT:

In this paper, nonwoven webs were formed using the principle of rotary Electrospinning (needleless), which is based on the use of electrostatic force to form fibers from polymer solutions with diameters ranging from 10 nm to a few microns. The production of nanofibers with geometric arrangement and shape requires precise control of the electric field values in addition to the ability to guide the fibers during the electrospinning process, guides and collectors were used to develop the deposition of nanofibers and obtain nanowebs with greater durability and regular porosity. The samples were analyzed and the results showed the formation of membranes with nanofibers with diameters ranging from (100-300 nanometers) arranged in several layers, in addition to the production of nanofibers webs with oriented fibers for use in restoration operations in the medical field and in the field of cell transplantation.

To detect bacterial growth, urine samples were taken from several patients and cultured on nanowebs to aid in medical diagnosis of the type of bacterial infection occurring, and to confirm the type of germ and treat it. the test was conducted in three media: (EMB) medium, which grows gram-negative bacteria, MacConkey agar medium, which grows gram-negative bacteria, and blood glue medium, growing Gram-positive bacteria, and the results showed the presence of E-Coli bacteria in the MacConkey agar medium.

On the other hand, when comparing the growth of bacterial colonies in the media containing the nanowebs with the media that did not contain it, it was found that growth in the media containing the nanowebs was dense (thick) and is very clear.

Keywords: Rotary Electrospinning – Non-woven webs – Nanofibers - Collector electrode

Received: 26/6/2023

Accepted: 20/9/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

تحسين انتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار

المقدمة (Introduction):

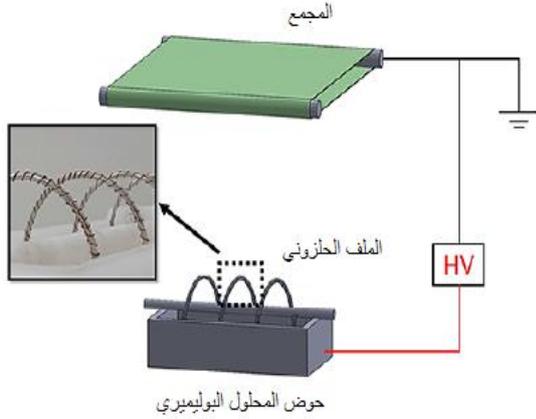
تعد تقنية الغزل الكهربائي الدوار من أفضل التقنيات المستخدمة لإنتاج ألياف نانوية بأبعاد ميكروية أو نانوية خاصة بإنتاج المواد غير المنسوجة، وهي بسيطة ومتوسطة الكلفة كتقنية ميكانيكية كهربائية وكيميائية من أجل إنتاج الألياف. يعتمد مبدأ العمل في تقنية الغزل الكهربائي الدوار على استخدام قوة التوتر الكهربائي لإنتاج شبكات غير منسوجة عشوائية أو منتظمة، حيث تعتبر عملية الغزل الكهربائي عملية كهروديناميكية يتم خلالها شحن قطرات سائل لتوليد نفثات، يتبعها تمدد لتوليد ألياف داخل المجال الكهربائي المتشكل (Reneker et al., 2000). ركزت العديد من الأبحاث على المبادئ الفيزيائية لنظام الغزل الكهربائي ذو الإبرة، باستخدام هذا النظام، فإنه لا يمكن إنتاج ألياف نانوية على نطاق صناعي، لهذا الهدف تم تطوير أنظمة الغزل الكهربائي عديمة الإبرة والتي تعتمد على عملية الغزل السطحي الحر، وبالتالي ظهرت تقنيات الغزل الكهربائي الدوار ذات الإنتاجية العالية، والتي أدت إلى التخلص من مشاكل كثيرة أهمها مشكلة انسداد الباثق في الغزل الكهربائي التقليدي، ومشكلة التفريغ الكهربائي التي يعود أحد أسبابها إلى عدم تجانس السطوح بين الباثق والمجمع، بالإضافة إلى الانتقال من إنتاجية منخفضة لنظام الغزل التقليدي (1-0.1 g/h) إلى إنتاجية مرتفعة (8-12 g/h)، (Greiner, A et al., 2007).

تم دراسة تأثير معاملات الغزل الكهربائي، ووجد أن تركيز البوليمر والجهد المطبق لهما دلالة نسبية لتكوين وتوزيع حجم الألياف الهجينة. ووجد أن جمع الألياف الهجينة على أسطوانة دوارة عند 700 دورة في الدقيقة لا ينتج فقط توزيع الحجم المحسن، ولكن أيضًا يعزز اتجاه الألياف الهجينة (Abudula, T et al., 2018).

من ناحية أخرى تم تطوير مغزل عديم الإبرة "على شكل ملف حلزوني مضاعف يحتوي على درجة انحناء كبيرة نسبياً" عن طريق لف سلك نحاسي حول الملف الحلزوني الأساسي، حيث أشارت النتائج إلى أن الملف الثانوي زاد من شدة المجال

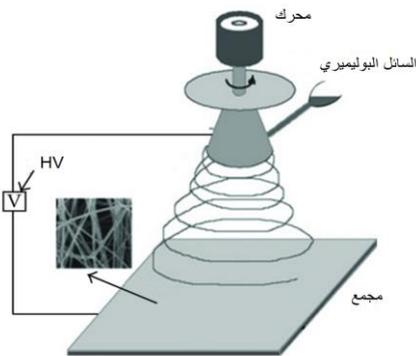
قناة، يونس، المصري

الكهربائي السطحي ومنطقة توليد الألياف، مما ساهم في زيادة الإنتاجية (Haitao Niu et al., 2018).



الشكل (1) الملف الحلزوني المضاعف (Haitao Niu et al., 2018) عند استخدام وعاء معدني كروي الشكل حامل للسائل البوليميري، يمكن إنتاج الألياف من حافة الوعاء الموجود ضمن مركز أسطوانة معدنية، والألياف الناتجة تمتلك نفس الجودة للألياف المنتجة بطريقة الغزل الكهربائي التقليدي لكن بمعدل إنتاج أعلى بنحو 40 مرة (Thoppey NM et al., 2011).

عند العمل على نظام غزل كهربائي عديم الإبرة باستخدام مخروط دوّار، تم تزويد المحلول إلى المخروط بواسطة أنبوب زجاجي، حيث يتدفق المحلول البوليميري إلى مواقع توليد الألياف (حافة المخروط) على طول سطح المخروط تحت الجاذبية. بالمقارنة مع نظام الإبرة التقليدية، أنتج هذا النظام أليافاً ذات جودة مماثلة مع معدل إنتاج أكبر 1000 مرة (Bingan Lu et al., 2010).



الشكل (3) نظام غزل كهربائي عديم الإبرة باستخدام مخروط دوّار (Bingan Lu et al., 2010)

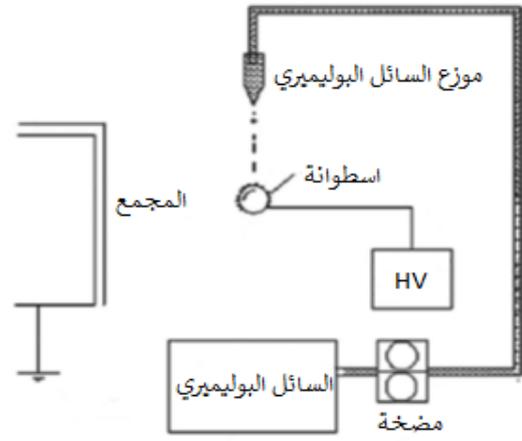
قناة، يونس، المصري

تم استخدام هندسة الأنسجة كبديل للعلاجات التقليدية للعقبات المرضية، مع الأخذ بعين الاعتبار انسجامها مع الأعضاء والأنسجة الجديدة، ووقت الانحطاط الأمثل، وتحفيز التصاق الخلايا، والتكاثر والتمايز بين الخلايا في سقالات الأنسجة. تم إدخال البوليميرات الاصطناعية مثل البولي كابرولاكتون (PCL) مع المواد الطبيعية مثل الببتيدات لتصنيع سقالات الألياف النانوية، حيث تم تصميم سقالات PCL مسامية في المقام الأول لفحص مورفولوجيا الألياف. (Yang, Y et all, 2022)

لسقالات الألياف النانوية المغزولة كهربائياً قدرة كبيرة على الاستخدام في مجموعة واسعة من الأنسجة، باعتبارها عنصراً أساسياً في هندسة الأنسجة، مثل الأوتار والأوعية الدموية والخلايا العصبية والعظام والغضاريف. تتميز سقالات الألياف النانوية المغزولة كهربائياً بأوجه تشابه مع الأنسجة الطبيعية لإصلاح الأنسجة، ومزايا مثل نسبة السطح إلى الحجم العالية، والمسامية المتغيرة، وتشابه الحجم والشكل مع البنية الليفية للمصفوفة الطبيعية خارج الخلية. يعد تعزيز السلوك الميكانيكي للبنى النانوية المغزولة كهربائياً أمراً بالغ الأهمية، وهو يمثل تحدياً كبيراً يواجهه مهندسي الأنسجة حالياً. وبالتالي يبحث العلماء حول ألياف البوليمير والسيراميك المركبة لتحسين ترابط الألياف لإنشاء سقالات ثلاثية الأبعاد بمواد مختلفة لكل طبقة (Owida, H et all, 2022).

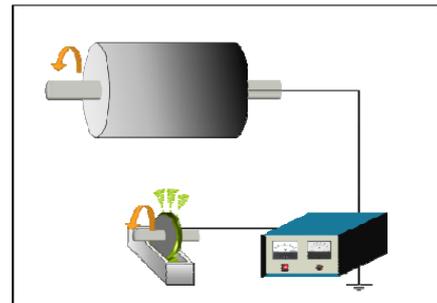
من ناحية أخرى وفي مجال معالجة الجروح وتوصيل الأدوية، وجد مجموعة من الباحثين أن مسامية الشبكة النانوية الناتجة عن غزل بوليمير البولي كابرولاكتون (وهو بوليمير ذو معدلات تحلل حيوي بطيئة)، التي تم الحصول عليها كافية لضمان تبادل الغازات ونفاذية بخار الماء للحفاظ على رطوبة الجرح المطلوبة، بينما تعمل كحاجز أمام الكائنات الحية الدقيقة، بالإضافة إلى ذلك، فإن مساحة السطح الكبيرة لكل نسبة حجم، للشبكة النانوية الناتجة التي يقل قطرها عن 300 نانومتر، تضمن أيضاً اتصالاً سطحياً كبيراً بالبكتيريا. أثبتت عملية الغزل الكهربائي كفاءة في عملية توصيل الدواء، وعلى النقيض من العملية التقليدية، فإنه يؤدي إلى إطلاق دواء في موقع محدد، مما يحسن كفاءة الدواء، ويقلل من الآثار الضارة، حيث

تحسين إنتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار لتركيبة الألياف النانوية بالاتجاه الهبوطي، تم استخدام أدوات الغزل الكهربائي الدوار حيث تم نقل السائل إلى الأعلى باستخدام مضخة ثم إسقاطه على الأسطوانة. عندما يتم توصيل قطرات المحلول بالأسطوانة المعدنية المشحونة كهربائياً، يتم إخراج النفثات وبالتالي يتم إنتاج الألياف النانوية نحو المجمع. كان لهذا الإجراء إنتاجية ليفية أعلى بنسبة 24 ~ 45 مرة من نظام الإبرة الكهربائية التقليدية (Tang et al., 2010).



الشكل (4) نظام غزل كهربائي دوار باستخدام أسطوانة

قام باحثون بغزل بوليمير البولي كابرولاكتون عن طريق الغزل الكهربائي باستخدام القرص، حيث تم شحن المحلول البوليميري بجهد كهربائي عالي عبر مسمار نحاسي داخل وعاء المحلول، ليتم إنشاء العديد من النفثات من المغزل، التي ترسبت على مجمع الأسطوانة الدوارة. تم إجراء دراسة على الشكل النانوي لألياف PCL القرصية المغزولة كهربائياً، وخلصت النتائج إلى أن شكل PCL القرصي المغزول كهربائياً كان مرتبطاً بقوة بنسبة المذيب المتبقية، بالإضافة إلى نسبة الرطوبة الجوية، (Dawei Li et al, 2014).



الشكل (5) الغزل الكهربائي باستخدام القرص (Dawei Li et al, 2014)

قناة، يونس، المصري

كهربائياً المعتمدة على PCL التي تحتوي على مضادات الميكروبات ذات الأصل الطبيعي (CAR و THY)، هي مواد فعالة مضادة للميكروبات ضد البكتيريا إيجابية الجرام وسالبة الجرام، وقد لوحظ وجود تأثير مضاد للالتصاق البكتيري واضح على تلك الشبكات المحملة بالأدوية عن طريق الفحص المجهرى متحد البؤر.

PCL and PCL-based materials in biomedical applications
PCL and PCL-based materials in biomedical applicatio

1- مواد البحث وطرائقه Materials and Methods

المواد المستخدمة:

البولي كابرولاكتون من سيجما-الدرينش، الولايات المتحدة الأمريكية، بوزن جزيئي قدره 80.000. يبين الجدول (1) معاملات تحضير السائل البوليميري المستخدم لتكوين أغشية حيوية من البولي كابرولاكتون

على إنتاج ألياف نانوية حيوية وبأشكال مختلفة. استخدام مصدر طاقة عالي الجهد والعمل على برمجته (شركة جين فولت، P8050، بريطانيا) وذلك لإنتاج ألياف نانوية بتحكم دقيق.

تبدأ العملية كما هو موضح في الشكل (7)، من المحلول البوليميري الذي يكون مستقراً على شكل قطرات عند رأس الغزل (أسطوانة نحاسية مسننة)، وبعد عتبة معينة تتغلب قوة الحقل الكهربائي على قوة التوتر السطحي فتخضع القطرات لعملية استطالة سريعة في المنطقة ما بين رأس الغزل والمجمع، وهذا ما يسمح للألياف المتشكلة بأن تصبح طويلة ورفيعة جداً. في الطريق إلى المجمع يتبخّر المذيب من المحلول البوليميري وتتوضع الألياف الصلبة على المجمع بسرعات كبيرة ” 49 ms^{-1} أو أكثر ” (Greiner, A et al., 2007)، ليتم تشكيل الأغشية النانوية.

تحسين إنتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار يتبخّر المذيب بسرعة بواسطة المجال الكهربائي عندما تتحرك النفثات البوليميرية نحو القطب المضاد، ليقوم بترسيب الدواء المذاب واحتجازه، وتم الكشف عن ذلك باستخدام تقنية الرنين المغناطيسي النووي (NMR) وهي تقنية تحليلية تستخدم ليس فقط لتقييم تحميلات الدواء، ولكن أيضاً لفهم التفاعل الكيميائي بين الدواء المحمل والمصفوفة المغلفة، (Enrique Gámez et al- 2019). من المعروف أن البكتيريا عموماً تفضل النمو على السطح بدلاً من النمو في الطور المائي المحيط (Katsikogianni M et al, 2004). عدم انتظام الأسطح البوليميرية في الشبكة النانوية الليفية تعزز الالتصاق البكتيري، خاصة عند وجود خشونة سطحية في النانومتر، (Anselme K et al, 2010) حيث إن تفضيل البكتيريا للالتصاق على سطح الشبكة النانوية من شأنه أن يجعلها على اتصال وثيق بأعلى تركيز للمركبات المضادة للميكروبات (الموجودة في الشبكة النانوية نفسها)، لذلك أثبت الباحثون أن الضمادات المغزولة

الجدول (1) يظهر معاملات تحضير السائل البوليميري

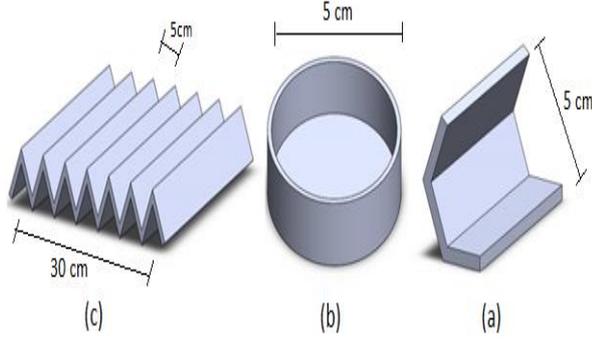
نوع البوليمير	الوزن الجزيئي	التركيز	حرارة التحضير	المذيب	كثافة البوليمير
PCL	80,000	10% wt	56 c	أسيتون	1.145 g/ml

جهاز الغزل الكهربائي:

تم تصميم اسطوانة مسننة، وبالتالي التغلب على قوة تماسك الجزيئات لسطح السائل بتحويله الى قطرات تتوضع على الرؤوس، ليتم تخفيض قوة الكهرباء الساكنة اللازمة لإنتاج الألياف النانوية باستخدام مصدر الطاقة عالي الجهد كما يوضح الشكل (6).

يتكون الجهاز من صندوق خارجي يحتوي على أسطوانة الغزل المتواجدة داخل حوض مصنوع من مادة ميتيل ميتا كريلات، بالإضافة إلى محولة الجهد العالي [HV]، المحرك، قاعدة المحرك، والمجمع (Jirsak, O et al., 2009)، والذي يتكون من صفيحة معدنية تقوم بتجميع الألياف النانوية والقابلة للاستبدال بسهولة، حيث تمت الدراسة على مجتمعات مختلفة لبيان القدرة

قناة، يونس، المصري



الشكل (8) يظهر النموذج شبه المنحرف (a)، النموذج الدائري (b) والنموذج المتعرج (c).

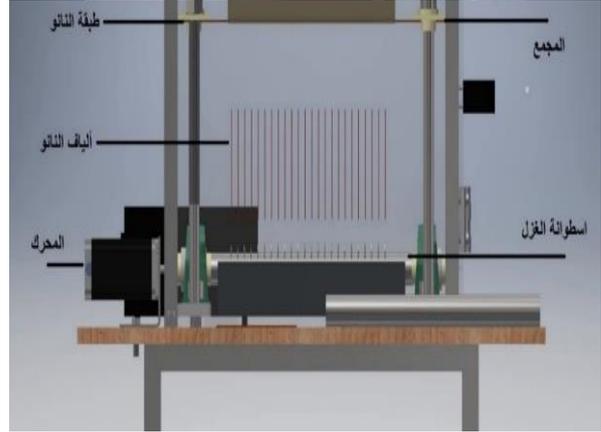
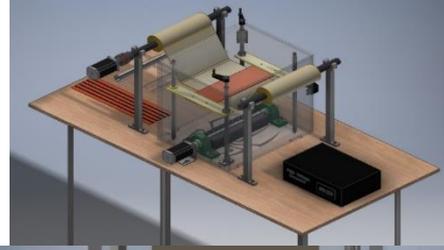
الاختبارات الجرثومية:

لتحسين عمليات الكشف عن الجراثيم أخذت الشبكة النانوية المصنوعة من بوليمير بولي كابرولاكتون والتي تم إنتاجها بواسطة المجمع دائري الشكل، ثم بعد ذلك تم تحضير أوساط الزرع (مادة الاختبار)، ثم وضعت الشبكة النانوية في قالب ووضع فوقها مادة الاختبار، وبعد ذلك تم وضع العينات البولية داخل القالب والذي يوضع في الحاضنة بشكل مقلوب ولمدة 24 ساعة.

تم إجراء الاختبار لعينتين تحويان نوعين محتملين من الجراثيم وهما E-Coli كعصية معدية سلبية الغرام (وتسمى الإشريكية القولونية وهي نوع من أنواع البكتيريا السالبة لصبغة الغرام المتواجدة بكثرة في المعى الغليظ للإنسان، وفي حال تحولها إلى سلالات تحمل جينات فإنها تتمكن من اختراق الخلايا وإفراز السموم داخل الجسم) والمكورات العنقودية كعصية موجبة الغرام (وهي بكتيريا موجبة الغرام سميت بالمكورات العنقودية لأنها تتجمع على شكل كرات غير منتظمة تشبه عنقود العنب، وتظهر عادة على الجلد أو داخل الأنف وقد تسبب السموم التي تفرزها في الحمى والطفح الجلدي) في ثلاثة أوساط وهي:

1- وسط EMB المنمي للجراثيم سلبية الغرام: وهو صبغة يوزين ميثيلين الأزرق (Eosin methylene blue)، حيث

تحسين إنتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار



الشكل (7) مبدأ عمل الجهاز

عملية الغزل الكهربائي:

خلال عملية الغزل تم التركيز على التوتر الكهربائي، المسافة بين الأقطاب، التركيز، قطر الأسطوانة، طول الأسطوانة وسرعتها، كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2) عوامل الغزل

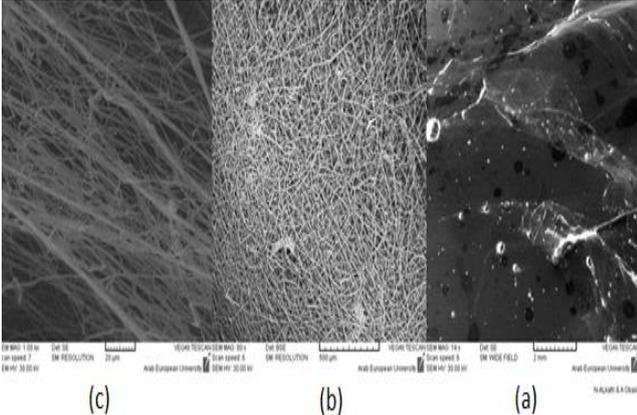
التيار	قطر الأسطوانة	طول الأسطوانة	سرعة الأسطوانة	التوتر الكهربائي	المسافة	التركيز WT%
Ac	4cm	21cm	1.25rpm	30KV	100cm	8%

بهدف تسريع إنتاج الألياف النانوية والتحكم بها اعتماداً على شكل المجمع المترسبة عليه، تم تصميم النماذج الثلاثة بفتحات ذات أبعاد متساوية من الخارج مع اختلاف هذه الأبعاد من الداخل، إذ يبلغ قطر الدائرة في النموذج الدائري (5 cm)، وكذلك الحال فإن البعد الخارجي بين أضلاع النموذج شبه المنحرف والمتعرج يبلغ أيضاً (5cm). تم استخدام عدة نماذج للمجمع منها النموذج الدائري وشبه المنحرف والمتعرج كما هو موضح في الشكل (8).

قناة، يونس، المصري

تم تحليل عينات ألياف البولي كابرولاكتون التي تم ترسيبها على نماذج المجمعات (شبه المنحرف (a)، النموذج الدائري (b)، النموذج المتعرج (c)) كما يبين الشكل (9). لوحظ تشكل أغشية هلامية ضمن نموذج المجمع شبه المنحرف، في حين تم الحصول على أغشية ذات ألياف عشوائية التوضع وذات أقطار متماثلة نسبياً عند النموذج الدائري (متوسط قطر الألياف 250 نانومتر)، أما الأغشية المترسبة على المجمع المتعرج فكانت ذات ألياف موجهة وتشكلت بسرعة كبيرة مقارنة مع المجمعات الأخرى (متوسط قطر الألياف 400 نانومتر).

تم دراسة تأثير تغير شكل المجمع على البنية المورفولوجية للألياف، حيث تم تقييم مورفولوجيا الألياف وقطرها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، الشكل (10)، الذي نلاحظ فيه اختلاف قطر الألياف وترسيبها بشكل عشوائي وبشكل موجه على سطح المجمعات.



الشكل (10) صورة باستخدام المجهر الماسح الإلكتروني (SEM) لتشكيل الألياف النانوية

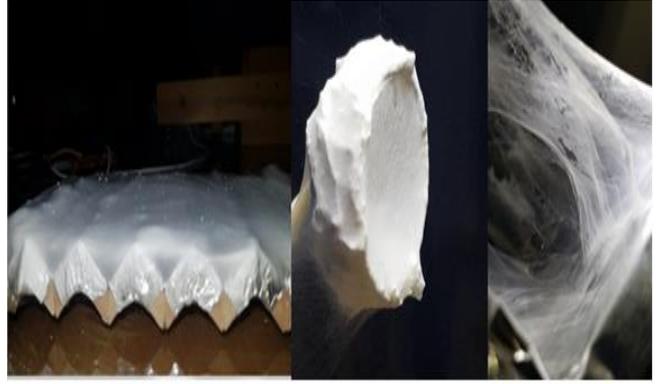
بعضها البعض خلال زمن ثابت (23 ثانية). بالنسبة الى النموذج الدائري، فقد لوحظ تشكل الألياف النانوية وفق طبقات منفصلة وذات أقطار تكبر كلما ابتعدنا عن سطح المجمع، الشكل (11-b).

تحسين انتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار يحتوي هذا الوسط على صبغة سامة للبكتيريا موجبة الغرام، في حين تدعم الصبغة اللون الكاشف الذي يميز الكائنات الحية التي تخمر اللاكتوز مثل الإشريكية القولونية.

2 - وسط أغار ماكونكي المنمي للجراثيم سالبة الغرام (MacConkey agar): يحتوي على أملاح الصفراء، يقوم بتثبيط البكتيريا موجبة الغرام ويصبغ البكتيريا المخمرة للاكتوز باللون الأحمر.

3 - وسط أغار الدم المنمي للجراثيم موجبة الغرام (Blood agar): وسط مخصب يستخدم لزراعة البكتيريا أو الميكروبات التي لا تنمو بسهولة ولتمييز البكتيريا بناءً على خصائصها الانحلالية، والتي يمكن أن تأخذ شكل دائري وتسمى مكورات، أو شكل خطي وتسمى عصيات.

2- النتائج والمناقشة Results and Discussion



الشكل (9) يوضح ترسب الألياف النانوية على المجمعات المختلفة

- دراسة العلاقة بين سماكة طبقة الألياف النانوية وزمن التشغيل، تم ملاحظة اختلاف توضع الألياف باختلاف شكل المجمع، حيث يظهر الشكل (11-a) الخاص بالنموذج المتعرج تشكل طبقة واحدة متجانسة من الألياف المتشكلة فوق

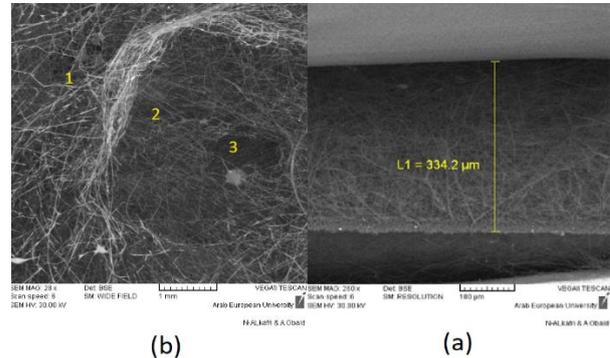
إجراء الاختبارات الحيوية لها في المراحل القادمة للعمل
المستقبلي.



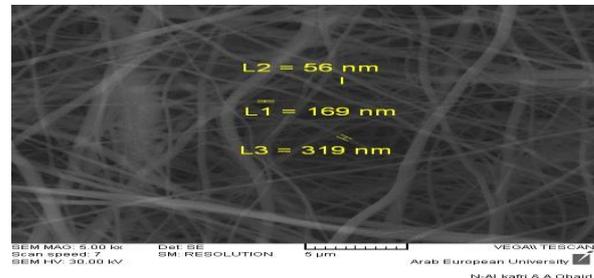
الشكل (13) ترسيب الألياف النانوية على مفصل متحرك



الشكل (14) شكل مبتكر لشبكات نانوية دائرية موجهة تستخدم كأقنعة واقية عند درجة حرارة 38 درجة مئوية، تم زرع عينة E-Coli (عصية سلبية الغرام) (الايكولاي- عصية معدية) على شبكة نانوية في وسط (EMB)، وتمت زراعة عينة أخرى من نفس النوع في وسط لا يحتوي شبكة، وتم وضع الأوساط ضمن الحاضنة ليوم كامل وبشكل مقلوب. بعد مرور 19 ساعة لوحظ على الوسط الذي يحتوي شبكة بأن النمو الجرثومي اكتمل وأعطى شكلاً واضحاً. تم زراعة عينة من نفس النوع وبنفس الطريقة في وسط آغار ماكونكي سلبى الغرام ولوحظ أن النمو الجرثومي اكتمل في الوسط الذي يحتوي شبكة عند نفس الزمن. في وسط آغار الدم زرعت عينة مكورات عنقودية وزرعت عينة



الشكل (11) يوضح سماكة طبقات الألياف النانوية المتشكلة لوحظ خلال النتائج أن استخدام مجتمعات مختلفة الشكل يتيح إنتاج ألياف مناسبة لعمليات الترميم، وذلك بحسب الأماكن



الشكل (12) يوضح قياس قطر الألياف النانوية باستخدام المجهر الماسح الإلكتروني (SEM)

المراد تطبيق الألياف عليها على اختلافها وتنوعها في المجال الطبي، كترميم المناطق الرخوة للمفاصل والعظام، الشكل (13)، أو المجال الصناعي كالفلترة، الشكل (14)، وذلك نحو بناء حاملات خلايا وأنسجة نانوية حيوية ذات بنية هندسية دقيقة، والتي سيتم تعريضها للخلايا الحية ضمن عملية الزرع الخلوي للاستفادة من الدور الوظيفي للخلايا في المعالجة والترميم، بعد

قناة، يونس، المصري
السقالات، وفي عمليات الزرع الجرثومي والخلوي وتسريع نمو
وتكاثر الخلايا والجراثيم على الشبكات النانوية، والاستفادة من
ذلك سواء في إنشاء مزارع خلوية أو في تسريع تشخيص
حالات جرثومية مرضية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل
(501100020595).

تحسين انتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار
أخرى من نفس النوع في وسط آخر لا يحتوي شبكة، وتم وضع
الأوساط ضمن الحاضنة لمدة يوم كامل بدرجة حرارة 38 درجة
مئوية وبشكل مقلوب. بعد مرور ما يقارب 22 ساعة لوحظ
على الوسط الذي يحتوي شبكة بأن النمو الجرثومي اكتمل
وأعطى شكلاً واضحاً. إن اختبار العينات البولية ضمن
الأوساط التي تحتوي على الشبكات النانوية أعطى نتائج جيدة
وواضحة للنمو الجرثومي، بزمن أقل بنسبة تتراوح بين (- 8.3%
17.3%) مقارنة مع الأوساط التي لا تحتوي على تلك
الشبكات.

3- الاستنتاجات (Conclusions):

تم تحسين عملية ترسيب الياف البولي كابرولاكتون النانوية
بواسطة جهاز الغزل عديم الابر، حيث وجد أن نموذج المجمع
المتعرج هو الأسرع في تشكيل الشبكة النانوية، في حين أن
الألياف الأقل قطراً كانت لنموذج المجمع الدائري، مع إمكانية
إنتاج عدة طبقات فوق بعضها البعض، وأيضاً العمل على
توجيه الألياف وإنتاج شبكات نانوية تفيد في مجال الفلترة، وفي
المجال الطبي لسهولة استخدام هذه الألياف النانوية وتوجيهها
حول الأنسجة التي قد تتعرض للتلف، كالمفاصل وأنسجة
الجلد، وبالتالي العمل على الناحية الوظيفية للأغشية النانوية
ومجال زراعة الخلايا من جهة، ومن الناحية التجميلية ضمن
مجال الصناعات التجميلية والأطراف الصناعية من جهة
أخرى. ومن خلال نتائج التحليل الجرثومي للأوساط التي
تحتوي الشبكة النانوية، أعطى النمو صفات الجرثومة والممثلة
باللمعة المعدنية بشكل واضح، كما وجد أن النمو اكتمل بزمن
أقل مقارنة مع الأوساط التي لا تحتوي شبكة. في هذا العمل تم
البحث في إمكانية تصنيع شبكات نانوية وحاملات خلايا
بأشكال متعددة وبسهولة، مما يساعد في تطوير صنع

قناة، يونس، المصري

Polycaprolactone and Self-Assembly Peptide Nanofiber Scaffold. In 2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB) (pp. 1-4). IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9991283/>

[10] Owida, H. A., Al-Nabulsi, J. I., Alnaimat, F., Al-Ayyad, M., Turab, N. M., Al Sharah, A., & Shakur, M. (2022). Recent applications of electrospun nanofibrous scaffold in tissue engineering. Applied Bionics and Biomechanics, 2022.

<https://www.hindawi.com/journals/abb/2022/1953861/>

[11] Gámez, E., Mendoza, G., Salido, S., Arruebo, M., & Irusta, S. (2019). Antimicrobial electrospun polycaprolactone-based wound dressings: an in vitro study about the importance of the direct contact to elicit bactericidal activity. Advances in Wound Care, 8(9), 438-451.

<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/wound.2018.0893>

[12] Katsikogianni M, Missirlis YF, Harris L, Douglas J. Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterials and of techniques used in estimating bacteria-material interactions. Eur Cells Mater 2004;37-57

<http://www.ecmjournal.org/papers/vol008/pdf/v008a05.pdf>

[13] Anselme K, Davidson P, Popa AM, Giazon M, Liley M, Ploux L. The interaction of cells and bacteria with surfaces structured at the nanometre scale. Acta Biomater 2010;10:3824-3846

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706110001790>

[14] Greiner, A., & Wendorff, J. H. (2007). Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. Angewandte Chemie International Edition, 46(30), 5670-5703.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.200604646>

[15] Jirsak, O., Sanetnik, F., Lukas, D., Kotek, V., Martinova, L., & Chaloupek, J. U.S. Patent No. 7,585,437. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, (2009).

<https://patents.google.com/patent/US7585437B2/en>

[16] Ratner, B. D., & Bryant, S. J. (2004). Biomaterials: where we have been and where we are going. Annu. Rev. Biomed. Eng., 6, 41-75.

<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140027>

تحسين انتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار

(References):

[1] Reneker, D. H., Yarin, A. L., Fong, H., & Koombhongse, S. (2000). Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning. Journal of Applied physics, 87(9), 4531-4547.

<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.373532>

[2] Greiner, A., & Wendorff, J. H. (2007). Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. Angewandte Chemie International Edition, 46(30), 5670-5703.

[3] Abudula, T., Saeed, U., Salah, N., Memic, A., & Al-Turaif, H. (2018). Study of electrospinning parameters and collection methods on size distribution and orientation of PLA/PBS hybrid fiber using digital image processing. Journal of nanoscience and nanotechnology, 18(12), 8240-8251.

<https://www.ingentaconnect.com/contentone/asp/jnn/2018/00000018/00000012/art00028>

[4] Haitao Niu, Hua Zhou, Guilong Yan, Hongxia Wang, Sida Fu, Xueting Zhao, Hao Shao, and Tong Lin (2018) Enhancement of Coil Electrospinning using Two-level Coil Structure

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.8b04145>

[5] Thoppey, N. M., Bochinski, J. R., Clarke, L. I., & Gorga, R. E. (2011). Edge electrospinning for high throughput production of quality nanofibers. Nanotechnology, 22(34), 345301.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/22/34/345301/meta>

[6] Lu, B., Wang, Y., Liu, Y., Duan, H., Zhou, J. Y., Zhang, Z. X., ... & Xie, E. Q. (2010). Superhigh-throughput needleless electrospinning using a rotary cone as spinneret.

<https://ir.lzu.edu.cn/handle/262010/103367>

[7] Tang, S., Zeng, Y., & Wang, X. (2010). Splashing needleless electrospinning of nanofibers. Polymer Engineering & Science, 50(11), 2252-2257.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pen.21767>

[8] Li, D. W., Wu, T., Huang, C., Ke, Q. F., & Mo, X. M. (2014). Disc-electrospun Nano/Macro-Scale PCL Fibers with Nanoporous Structure. Advanced Materials Research, 893, 124-127.

<https://www.scientific.net/AMR.893.124>

[9] Yang, Y., & Shuai, B. (2022, November). Production and Properties of Needleless Electrospun

قناة، يونس، المصري

In Proceedings of the 3rd International Conference
on Nanotechnology-Smart Materials
(NANOCON'11). Bellingham, WA, USA: SPIE.

<https://www.semanticscholar.org/paper/%22DRAWING%22-THE-PRODUCTION-OF-INDIVIDUAL-NANOFIBERS-Lukas-Lacarin/d0a69e873c2a4e4f96a673b40b7eff123eece688>

[20] Jiang, T., Carbone, E. J., Lo, K. W. H., & Laurencin, C. T. (2015). Electrospinning of polymer nanofibers for tissue regeneration. *Progress in polymer Science*, 46, 1-24.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670014001397>

تحسين انتاج ألياف نانوية حيوية باستخدام تقنية الغزل الكهربائي الدوار

[17] Funda Cengiz, Tuan Anh Dao, Oldrich Jirsak (2010) Influence of Solution Properties on the Roller Electrospinning of Poly(vinyl alcohol) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/pen.21599>

[18] Yalcinkaya, F., Yalcinkaya, B., & Jirsak, O. (2017). Analysis of the effects of rotating roller speed on a roller electrospinning system. *Textile Research Journal*, 87(8), 913-928.

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0040517516641362>

[19] Bajakova, J., Chaloupek, J., Lukáš, D., & Lacarin, M. (2011). Drawing—the production of individual nanofibers by experimental method.