الاستفادة من تقنية الغزل الكهربائي في صناعات المنسوجات الوظيفية المختلفة

Utilizing electro-spinning technique in various functional textiles industries

فوزي سعيد شريف

أستاذ مساعد بقسم الملابس والنسيج – كلية الاقتصاد المنزلي – جامعة المنوفية – مصر

ملخص البحث Abstract:

يعد تصنيع الألياف النانوية أحد التطورات الرئيسية في تكنولوجيا النانو, وتعتبر طريقة الغزل الكهربائي طريقة بسيطة وفعالة لإنتاج الألياف النانوية من مجموعة متنوعة وغنية من المواد التي تشمل البوليمرات والمركبات الكيميائية بأقطار تتراوح من عدة نانومترات إلى عدة ميكرومترات. وتكمن مشكلة الدراسة في ندرة الأبحاث العربية المهتمة بتلك التقنية وتطبيقاتها بالوطن العربي. لذلك ركزت تلك الدراسة على توصيف الألياف النانوية المغزولة كهربائيًا وطبيعة تكوينها وخصائصها. بالإضافة إلى ذلك، فقد تم عرض شامل لمجموعة واسعة من المواد البوليمرية والتي تستخدم في تلك العملية. واهتمت الدراسة أيضا بابراز كافة التطبيقات التي تعتمد منتجاتها بشكل كبير علي الألياف الدقيقة التي تنتجها تقنية الغزل الكهربائي. وعرضت الدراسة عرضا احصائيا لما تم انتاجه من أبحاث علمية متعلقة بهذا الشأن, ومدي التزايد المستمر للبحث العلمي بهذا المجال, وتبين أنه منذ عام 2000 كانت هناك زيادة تقريبية بنسبة 20٪ سنويًا في عدد مقالات المجلات المنشورة حول العالم، والتي استخدمت مفهوم "الغزل الكهربائي" في أبحاثهم. كما عرضت الدراسة تطور الحالة التسويقية لمنتجات تقنية الغزل الكهربائي بالأسواق العالمية, ومدي زيادة الطلب العالمي علي الألياف النانونية المغزولة كهربائيا, والتي أثبتت جدارتها بالعديد من التطبيقات والصناعات المختلفة. وقد أظهرت الاحصاءات أن السوق العالمي للمنتجات القائمة على الألياف النانوية قد ارتفع من 51.8 مليون دولار في عام 2007 إلى 67.1 مليون دولار في عام 2008 وإلى 80.7 مليون دولار في عام 2009، وإلى 101.5 مليون دولار في عام 2010. لقد خلق هذا التطور الملحوظ سوقًا اقتصاديا قويا مهمًا لألياف النانو, مما أدي بالتبعية إلى زيادة مصنعي معدات إنتاج ألياف النانو. ومن المتوقع أيضا (طبقا للاحصائيات) أن ينمو السوق العالمي لمنتجات ألياف النانو من 927 مليون دولار في 2018 إلى 4.3 مليار دولار بحلول عام 2023 بمعدل نمو سنوي يبلغ 36.2٪ للفترة من 2018 إلى 2023.

كلمات دالة Keywords:

الغزل الكهربائي
Electro-Spinning-
الألياف النانونية
Nanofibers
النانوتكنولوجي
Nano Technology
المنسوجات الوظيفية.
Functional textiles

Paper received 15th November 2020, Accepted 25th January 2020, Published 1st of March 2021

مقدمة Introduction:

نظرًا للخصائص المتعددة للألياف المغزولة كهربائيا، فقد تم غزل العديد من البوليمرات الاصطناعية والطبيعية، بما في ذلك البوليمرات المفردة والممزوجة، في صورة ألياف يمكن استخدامها في مجموعة متنوعة من التطبيقات (Park. G.S: 2010). ولقد تم اشتقاق مصطلح الغزل الكهربائي من "الغزل الكهروستاتيكي" وهي تقنية قديمة تعود إلى عام 1897, ولم يتم اعتماد مصطلح تقنية الغزل الكهربائي تجاريًا أو دوليا بسبب التنافس الصناعي بين الشركات والدول, وظلت تلك التقنية لصنع الألياف غامضة حتى منتصف التسعينيات (Karakas. H: 2016)(Bhardwaj. N. et al: 2010).

هذا وقد تم إجراء المزيد من الأبحاث المركزة المتعلقة بعملية الغزل الكهربائي والألياف النانوية المغزولة كهربائياً بشكل خاص ابتداءً من عام 2000, وظلت تنمو بشكل هائل الي يومنا هذا, ويرجع هذا في الواقع الي حقيقة أن النانوتكنولوجي تكتسب المزيد من الاهتمام علي مستوي العالم, وأن الألياف متناهية الصغر في المقياس النانوي يمكن تصنيعها بسهولة باستخدام عملية الغزل الكهربائي (Fakirov. S: 2016)(Karakas. H: 2016).

و تعتبر طريقة الغزل الكهربائي طريقة بسيطة وفعالة لإنتاج الألياف النانوية من مجموعة متنوعة وغنية من المواد التي تشمل البوليمرات والمركبات الكيميائية بأقطار تتراوح من عدة نانومترات إلى عدة ميكرومترات (Li. Z, et al: 2013).

في الوقت الحاضر، يعد تصنيع الألياف النانوية أحد التطورات الرئيسية في تكنولوجيا النانو. ويمكن اعتبار الغزل الكهربائي الأسلوب الأرخص والأكثر مباشرة لتصنيع الألياف النانوية المستمرة بأقطار تتراوح من عدة ميكرومتر وصولاً إلى عشرات النانومترات.

مشكلة البحث Statement of the problem:

امتدت تكنولوجيا النانو لتشمل العديد من التطبيقات التي تقدم الفوائد والمنافع المختلفة للبشرية في مختلف المجالات. ويعد مجال النسيج من أهم وأوسع المجالات التي توفر بيئة خصبة لتلك التكنولوجيا المتقدمة, والتي من خلالها يتم انتاج العديد من المنسوجات الوظيفية التي ينبني عليها العديد من الصناعات. الا انه في منطقتنا العربية, ما زالت تقنية الغزل الكهربائي تحتاج الي العديد من الدراسات التجريبية والتسويقية, والتي من خلالها يتم ابراز أهمية تلك التقنية الحديثة في اثراء المنتجات النسجية وتنوعها, ودورها في تشجيع المستثمرين للاستثمار بهذا المجال, مما سيعود بالنفع علي المجتمعات العربية, ودفع العجلة الاقتصادية بها.

أهداف البحث Objectives:

تهدف الدراسة الي

أ. القاء الضوء علي تقنية الغزل الكهربائي, وابراز دورها الحيوي في قطاع صناعة الأقمشة الغير منسوجة.

ب. التعرف علي الآليات والتقنيات المستخدمة لصناعة الألياف النسجية عالية الدقة, والتي تتراوح أقطارها ما بين عدة نانومترات إلى عدة ميكرومترات.

ج. دراسة الحالة التسويقية والتصنيعية بالأسواق الأوربية والدولية للمنتجات المعتمدة في تكوينها علي تقنية الغزل الكهربائي, للاستفادة منها في تطوير ودفع العجلة التسويقية والتصنيعية لأسواقنا المنوط بها الاهتمام بتلك المنتجات.

أهمية البحث Significance:

أ. تكمن أهمية الدراسة في تشجيع العاملين والباحثين في مجال تقنية النانوتكنولوجي, علي ضرورة الاهتمام بتوظيف تلك التقنية الحديثة بمجال الغزل والنسيج (الغزل الكهربائي), مما

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

يفتح أمامهم العديد من النقاط البحثية, والتي تمكنهم من انتاج منتجات نسجية متخصصة ومتعددة الوظائف.

ب. كما تبرز أهمية تلك الدراسة في كونها توفر عرض كامل لجميع التطبيقات والمنتجات, والتي يمكن للغزل الكهربائي ان يجد له تأثير مباشر في رفع جودة وكفاءة أداء تلك المنتجات. فضلا عن عرض الاحصائيات البحثية والتسويقية الدولية التي تساعد في التخطيط الاقتصادي الناجح للمهتمين بمستقبل تلك الصناعة.

منهج البحث Methodology:

استخدم المنهج الوصفى التحليلى فى هذه الدراسة

مصطلحات البحث Terminology:

تقنية الغزل الكهربائي:

هي تقنية فعالة ومتعددة الاستخدامات لإنتاج ألياف نانوية مستمرة تتراوح أقطارها ما بين بضعة نانومترات الي بضعة ميكرومترات, وذلك باستخدام مجال كهربائي عالي الإمكانات (Karakas. S: 2016). كما يمكن تعريفه أيضًا على أنه امتداد مباشر للرش الكهربائي، حيث تعتمد كلتا العمليتين على نفس الآليات الفيزيائية والكهربائية, والفرق الرئيسي هو أن الألياف المستمرة تتشكل في الغزل الكهربائي, بينما يتم إنتاج قطرات صغيرة في الرش الكهربائي .(Fakirov. S: 2016).

النانوتكنولوجي:

تقنية النانو هي دراسة الجزيئات الصغيرة للغاية، التي يتراوح حجمها بين 0.1 و100 نانومتر. وكلمة "نانو" تعني الحجم الصغير جدًا. والنانوتكنولوجي هي معالجة الذرات الفردية أو الجزيئات أو المركبات الكبيرة الحجم, وتقليل حجمها الي جزيئات نانونية صغيرة الحجم (Nikalje. A: 2015).

المنسوجات الوظيفية:

و يقصد بالمنسوجات الوظيفية, هي تلك المنسوجات التي تعتمد عليا كثير من المنتجات, للقيام بأدوار وظيفية مختلفة. ويمكن تعريفها أيضا بأنها تلك المنسوجات التي يتم استخدامها للقيام بمهام وظيفية محددة, ومثال ذلك المنسوجات الطبية والملابس الوقائية والمنسوجات الذكية وغيرها طبقا للمفهوم الشامل للمنسوجات التقنية (Sherif. F: 2016).

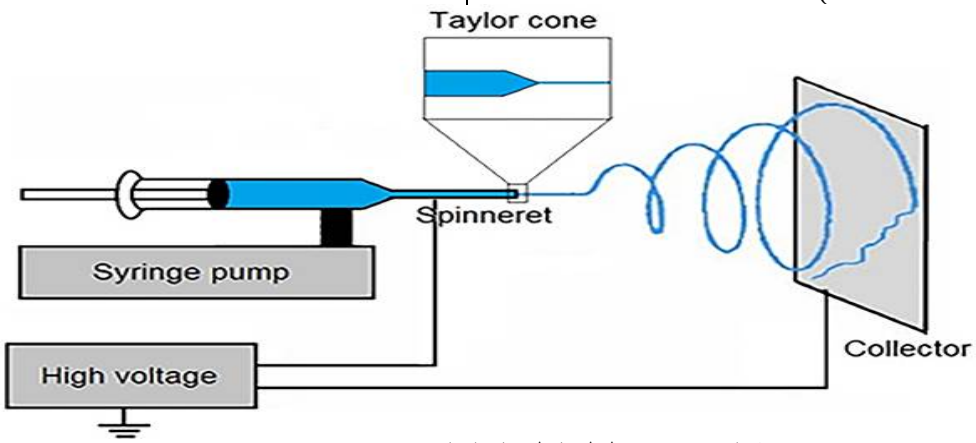
الإطار النظري Theoretical Framework

خصائص الألياف النانونية:

تتميز الألياف النانونية, والتي يتم انتاجها بتقنية الغزل الكهربائي, بعدة خصائص منها مساحة السطح العالية لكل وحدة كتلة (حوالي 1-100 متر مربع / جم)، والمسامية العالية (حوالي 90٪)، والوزن الخفيف، وحجم المسام القابل للضبط، والمرونة، والقوة الميكانيكية الجيدة نسبيًا, والنفاذية العالية (Baji. A, et al: 2010), مما يؤهلها لتكون صالحة لمجموعة واسعة من التطبيقات. وبسبب التطورات البحثية المستمرة في هذا المجال، فقد تم إدخال ابتكارات مهمة في طرق التصنيع وطبيعة الألياف التي يتم انتاجها, وبالتالي فهناك طلب مرتفع واهتمام كبير بفهم تقنية الغزل الكهربائي وكيفية تطويرها (Park. G.S: 2010).

أنواع البوليمرات المكونة للألياف النانونية:

حتى الآن، تم استخدام أكثر من 200 نوع من المواد المختلفة بما في ذلك البوليمرات الطبيعية والبوليمرات الاصطناعية والمزيج الهجين للحصول على ألياف مغزولة كهربائيًا. ونظرًا لخصائص الألياف الناتجة من تلك التقنية كقابليتها للتشكيل، والمرونة، والخفة، والمتانة، والاستقرار الكيميائي والفيزيائي، فإن البوليمرات الطبيعية هي الأكثر تفضيلًا على البوليمرات الاصطناعية. بينما تتميز البوليمرات الاصطناعية بسهولتها العالية للتصميم وفقًا للخصائص والتطبيقات المرغوبة , بالإضافة إلى ذلك، فهي أرخص بكثير وتعمل كمصدر موثوق به للمواد الخام أكثر من البوليمرات الطبيعية. وتشتمل هذه البوليمرات علي البولي كابرولاكتون (PCL)، ومتعدد حمض اللبنيك (PLA)، وبولي فينيل كحول (PVA)، وبولي فينيل بيروليدون (PVP)، وبولي أكريلونيتريل (PAN)، ونايلون 6، وبولي إيثيلين تيريفثالات (PET)، والبولي يوريثان (PU)، والبولي أميد (PI)، بولي إيثيلين – فينيل كحول (EVOH)، أسيتات السليلوز (CA)، حمض بولي جليكوليك (PGA)، أكسيد بولي إيثيلين (PEO)، وغيرها (Agarwal. S, et al: 2009)(Park. J, et al: 2010)(Zhang. H, et al: 2015).



شكل 1: رسم تخطيطي لنظام الغزل الكهربائي (Haider. S: 2016)

ميكانيكية الغزل الكهربائي:

في الغزل الكهربائي، يتم إذابة معظم البوليمرات في مذيب، لتشكيل محلول بوليمر, ثم بعد ذلك يتم تعبئته بمضخة (سرنجة) من أجل بداية الغزل الكهربائي. مع بداية ضخ البوليمر, وتشغيل مجال كهربي محيط, فان محلول البوليمر يبدأ بالخروج بشكل مستقيم, ولكن مع زيادة شدة المجال الكهربائي، يستطيل السطح نصف الكروي للمحلول عند طرف الابرة المتصلة بالمضخة (السرنجة) ويتشكل شكلًا مخروطيًا يُعرف باسم مخروط تايلور (الشكل 1). مع الوقت, يصل المجال الكهربائي إلى قيمة حرجة, حيث تتغلب القوة الكهربائية الطاردة على قوة التوتر السطحي لمحلول البوليمر, وعند هذه القيمة الحرجة، يتم تشتيت جزيئات البوليمر ويخرج البوليمر من طرف مخروط تايلور في شكل نفثات, وفي تلك الأثناء يتبخر المذيب (الذي تم استخدامه مع البوليمر لاذابته) أثناء انتقال النفاثة في الهواء ويتم ترسيب ألياف البوليمر عشوائيًا على سطح مجمع (Wang. R, et al: 2012)

9. متغيرات الغزل الكهربائي:

تؤثر العديد من المتغيرات على الغزل الكهربائي للألياف, وبسبب هذا, فإن الدراسة والبحث في هذا المجال صعبان. على الرغم من

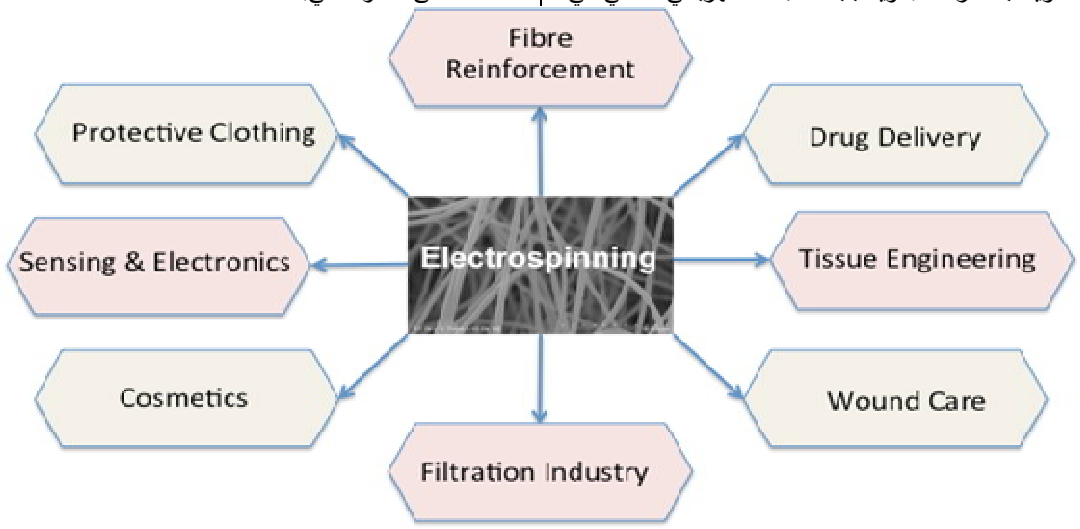
أن مبدأ الغزل الكهربائي بسيط، إلا أن العملية نفسها يمكن أن تكون معقدة للغاية لأن العديد من المتغيرات تؤثر على أقطار الألياف والتركيبات النهائية للألياف النانوية (Mirjalil. M, et al: 2016). لذلك من المهم جدًا فهم متغيرات عمل الغزل الكهربائي لأنه من السهل والممكن الحصول على أقطار الألياف والأشكال المرغوبة من خلال التحكم في هذه العوامل. حيث أن قطر الألياف النانوية، ومورفولوجيا السطح, والخصائص الميكانيكية، وتوزيع المسامية وحجم المسام يعتمدون بشكل كبير على هذه المتغيرات. ويتم تصنيف هذه المتغيرات عمومًا إلى ثلاث مجموعات (Bachtin. K: 2016)(Ingavli. G, et al: 2014)(Khan. W, et al: 2013):

- **متغيرات المحلول:** اللزوجة والتركيز والوزن الجزيئي والتوتر السطحي والتوصيل الكهربائي.
- **متغيرات المعالجة:** معدل التغذية (الضخ أو التدفق) وشدة المجال الكهربائي والمسافة بين طرف الابرة إلى المجمع وشكل طرف الإبرة ونوعية المجمع.
- **المتغيرات المحيطة:** درجة الحرارة والرطوبة وتدفق الهواء.

يحدد تركيز البوليمر قابلية دوران المحلول، وبالتالي يكون معرفة تركيز محلول البوليمر مطلوبًا. ويؤدي التركيز العالي إلى تكوين ألياف نانوية بأقطار أكبر, بينما يؤدي التركيز المنخفض إلى تكوين ألياف نانوية بأقطار أقل. ويتسبب المجال الكهربائي العالي في الغالب في تقليل قطر الألياف, وفي بعض الأحيان تتقطع الألياف في صورة كريات صغيرة. علاوة على ذلك، فان تصميم طرف الإبرة وموضعه بالإضافة إلى طبيعة المجمع يؤثران أيضًا على شكل الألياف وقطرها, حيث أن تقليل قطر الإبرة يؤدي إلى انخفاض قطر الألياف (Katti. D, et al: 2004). وتجدر الإشارة إلى تأثيرات درجة الحرارة والرطوبة كمتغيريين رئيسيين على الرغم من إجراء الغزل الكهربائي غالبًا في درجة حرارة الغرفة, حيث يمكن أن تؤدي زيادة درجة حرارة المحلول إلى تقليل متوسط أقطار الألياف بشكل كبير، ويعزى ذلك الي التأثير غير المباشر على معدل تبخر المذيب ولزوجة المحلول. كما تؤثرالرطوبة على قطر الألياف أيضا بغض النظر عن امتصاص البوليمرات للرطوبة، حيث يمكن للرطوبة العالية إما تقليل أو زيادة قطر الألياف (Fakirov. S:2016).

تطبيقات الغزل الكهربائي:

بناءً على الخصائص المتميزة للألياف المغزولة كهربائياً، فقد حظيت هذه الألياف باهتمام كبير لاستخدامها في العديد من التطبيقات (شكل 2) بما في ذلك: الإلكترونيات، الأدوية، أجهزة الاستشعار، الأنسجة الوظيفية، الترشيح، الملابس الواقية، العناية بالصحة والجروح، مستحضرات التجميل، تقوية الألياف, صناعة الصوت (Mirjalil. M, et al: 2016). ويمكن عرض بعض الأمثلة على النحو التالي:



شكل 2: تطبيقات الغزل الكهربائي

تقوية الالياف:

و هي إحدى التقنيات المفيدة لتحسين القوة الميكانيكية والأداء للألياف. ونظرًا للخصائص الفريدة للألياف النانوية المغزولة كهربائياً بما في ذلك مساحة السطح الكبيرة، يمكن اعتبار الألياف النانوية المغزولة كهربائياً على أنها واحدة من المواد الواعدة والمرشحة بقوة لتصنيع المركبات النانوية الفريدة (Dong. Y, et al: 2015). ففي بعض التطبيقات، يتم استخدام البلاستيك المقوى نظرًا لوزنه المرغوب فيه لنسبة القوة، وخفة الوزن، والمتانة، وتكلفة الصيانة المنخفضة نسبيًا والمقاومة العالية ضد التآكل. ويمكن استخدام الألياف النانوية بين صفائح ألياف الكربون لتحسين الخصائص الميكانيكية للمواد البلاستيكية المقواة بألياف الكربون بشكل ملحوظ (Yamashita. Y, et al: 2007). بالإضافة إلى ذلك، ونظرًا للكتلة الصغيرة وحجم الألياف النانوية، فإنها تقدم قدرًا ضئيلًا نسبيا من الكتلة والحجم، وهو أمر بالغ الأهمية في انتاج أجزاء بلاستيكية عالية التقنية (Jiang. S, et al: 2013).

صناعة الفلاتر:

أصبحت البيئة النظيفة والآمنة من أولويات الجميع في العالم. ومن خلال دمج الألياف النانوية مع المرشحات، تمكنت الشركات من الحصول على كفاءة أعلى لترشيح الجسيمات لأحجام أقل من 2.5 ميكرومتر مع تأثير ضئيل نسبيا على انخفاض الضغط في كثير من الأحيان عبر الفلتر. وذلك لأن طبقة الألياف النانوية غير منسوجة ولها حجم مسام يمكن التحكم فيه بمدى نانومتر واحد يتم توزيعه بالتساوي. كما يعد ترشيح السوائل عالي الكفاءة أيضًا أحد المجالات التي يتم فيها استخدام الألياف النانوية بشكل متزايد, حيث تتميز أغشية الألياف النانوية بأنها مسامية للغاية، وبالتالي فهي توفر انخفاضًا ملحوظا في الضغط عبر المرشح وبالتالي تتطلب طاقة أقل لضخ السائل عبر غشاء المرشح (Fakirov. S: 2016).

التطبيقات الطبية:

تعد التطبيقات الطبية واحدة من العديد من التطبيقات سريعة النمو للألياف النانوية. في السنوات الأخيرة، تم التعرف في الفترة الأخيرة علي مجال زراعة الخلايا والأنسجة كنهج جديد لإصلاح الأنسجة أو الأعضاء باستخدام جسيمات صناعية قابلة للامتصاص بيولوجيًا وتساعد على تطوير أنسجة جديدة في المختبر وتعززها، ومن ثم زرعها في الجسم الحي. هذا وقد تم استخدام مجموعة واسعة من الألياف النانوية المغزولة كهربائياً من بوليمرات مختلفة مثل البوليمرات الاصطناعية والطبيعية والبوليمرات القابلة للتحلل الحيوي وغير القابلة للتحلل الحيوي كحاملات للأنسجة وتتعلق

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

بأداء نمو الخلايا. إن مورفولوجيا وخصائص الألياف النانوية لها شكل مماثل لأنسجة جسم الإنسان, ويُعتقد أن الألياف النانوية المغزولة بالكهرباء تشبه إلى حد بعيد تركيب الخلية لنسيج جسم الإنسان , ويمكن أن تحتوي الألياف النانوية أيضًا على مكونات أو خلايا نشطة تعمل علي توصيل الدواء أو تقتل بعض البكتيريا والفيروسات. ولعل مساحة السطح الكبيرة للألياف النانوية وخصائصها عالية النفاذية تجعلها مناسبة للاستخدام في التئام الجروح أيضًا (Fakirov. S: 2016).

صناعة أدوات التجميل:

قطاع مستحضرات التجميل ومستلزمات الجلد هو تطبيق آخر يظهر فيه دور الألياف النانوية في توفير آلية لتوصيل المغذيات على الفور إلى الجلد. في هذه الآلية، يعمل غشاء الألياف النانوية علي العناية بالجلد وبالجروح، حيث تكون الألياف النانوية قابلة للذوبان في الماء وقابلة للتحلل الحيوي وتحتوي على مغذيات صحية للجلد. وتتمتع الألياف النانوية المغزولة بالكهرباء بإمكانية استخدامها في تطبيقات التجميل المختلفة مثل العطور ومزيلات العرق ومضادات التعرق وأقنعة العناية بالوجه وتنظيف البشرة. كما تتواجد الألياف النانونية بالعوامل النشطة المستخدمة في مستحضرات التجميل ومكملات العناية بالجسم من خلال نظام توصيل الأدوية، مما يجعل مستحضرات التجميل وتوصيل الأدوية أكثر فاعلية وأداءا (Zanin. M, et al: 2011). هذا وقد تم تطوير ألياف نانوية بحرية من الكولاجين, حيث تعمل ألياف الكولاجين النانوية الفريدة تلك والقابلة للذوبان في الماء, كحامل لتوصيل العناصر الغذائية الطبيعية للبشرة لتحسين أداءها

صناعة الأدوية:

تعد صناعة الأدوية من أهم أهداف الألياف النانونية المنتجة بتقنية الغزل الكهربائي, حيث تُستخدم الألياف لتغليف المواد العلاجية, كما يتم استخدامها في أنظمة توصيل الأدوية عبر الجلد أو كضمادات للجروح. بالاضافة الي ذلك, فقد تم دمج العديد من الأدوية في ألياف البوليمر المغزولة بالكهرباء مثل المضادات الحيوية والأدوية المضادة للسرطان والأدوية المضادة للالتهابات, وتم توصيلها إلى الأهداف المرغوبة في الجسم بكفاءة عالية, حيث أنه من الممكن تغيير حركية إطلاق الدواء عن طريق اختيار البوليمرات, والتحكم في قطر الألياف النانوية والمسامية والتشكل, كل ذلك عن طريق ضبط متغيرات المعالجة المختلفة أثناء الغزل الكهربائي (Bhardwaj. N, et al: 2010).

10. 6. صناعة السمعيات:

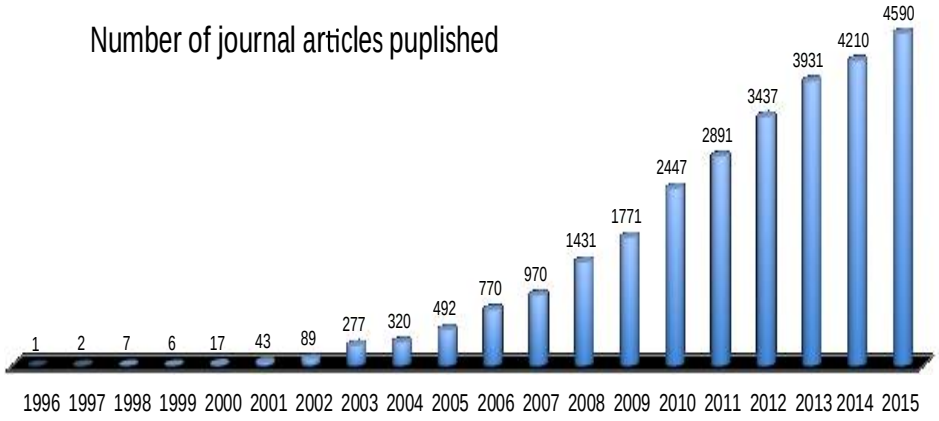
مع تزايد عدد سكان العالم، تصاعد الوعي بالمساحة الشخصية والخصوصية بشكل كبير. ويعد التلوث الصوتي مصدر قلق متزايد في أجزاء كثيرة من العالم. وعادة ما يتم التحكم في الصوت من خلال استخدام عديد من المواد التي تمنع أو تحسن الصوت مثل (الرغاوي، والمطاط، والكتل المعدنية، والأقمشة، وما إلى ذلك) وأيضًا الأماكن التي يتم فيها تركيب هذه المواد, حيث تكمن الفكرة في توجيه الموجات الصوتية إلى الزوايا والجهات المرغوبة. وعن طريق استخدام منتجات الألياف النانوية, أمكن رفع كفاءة التحكم بالصوت, وتحديد مستويات الترددات المطلوبة, كما أن غشاء الألياف النانوية الصوتي المبتكر قادرًا على تحسين امتصاص الصوت (LG: 2018).

الملابس الوقائية:

نظرًا للخصائص الفائقة للألياف النانوية المغزولة كهربائياً مثل القطر الرفيع، وأحجام المسام الصغيرة، ومساحة السطح العالية, بالإضافة إلى الخصائص الميكانيكية الجيدة، فإن دمجها جميعا في تصميم الملابس الواقية أصبح ضروريا لتحسين الأداء وتقليل الوزن بشكل كبير. وتتميز هذه الخصائص بمقاومة عالية لاختراق الجسيمات، والتهوية الجيدة (Nurfaizy. A, et al: 2012). ان مساحة السطح الكبيرة للألياف النانوية المغزولة كهربائيًا تجعلها قادرة على تحييد العوامل الكيميائية دون إعاقة نفاذية الهواء أو بخار الماء. علاوة على ذلك، ومن خلال إدخال الألياف النانوية الكهربائية، تحسنت نفاذية الهواء بشكل كبير في الملابس الواقية (Schreuder-Gibson. H , et al: 2002)(Lee. S, et al: 2007).

صناعة الالكترويات:

باتت الألياف النانوية مفيدة للغاية خاصة بأجهزة الاستشعار, سواء كان الاستشعار الكيميائي أو البصري أو الكهروكيميائي، فقد ثبت أن الألياف النانوية تعمل على تحسين الانتقائية والنوعية تجاه المادة التحليلية المستهدفة. وتتكون مادة الاستشعار الرئيسية من اللبنات الأساسية للبوليمر الموصّل المغلف بألياف نانوية, وتتطلب أجهزة التشخيص الطبي الحيوي أيضًا سطحًا حساسًا وأكثر استقرارًا من مادة الاستشعار التي تسمح لها بالتفاعل بسهولة مع تحليل الهدف, كما يجب أن تميز مادة الاستشعار هذه أيضًا الشوائب وتتفاعل بشكل خاص مع الجزيء المستهدف لتجنب النتائج الإيجابية الخاطئة. وبالاضافة الي أجهزة الاستشعار، فانه يتم أستخدام الألياف النانوية لسد الفجوة بين المكثفات الفائقة الموجودة بالأجهزة وبطاريات الليثيوم, لتشكيل جيل جديد من المكثفات الفائقة مع إلكترونيات مرنة ذات سعة أكبر للطاقة (Su. X, et al: 2013).

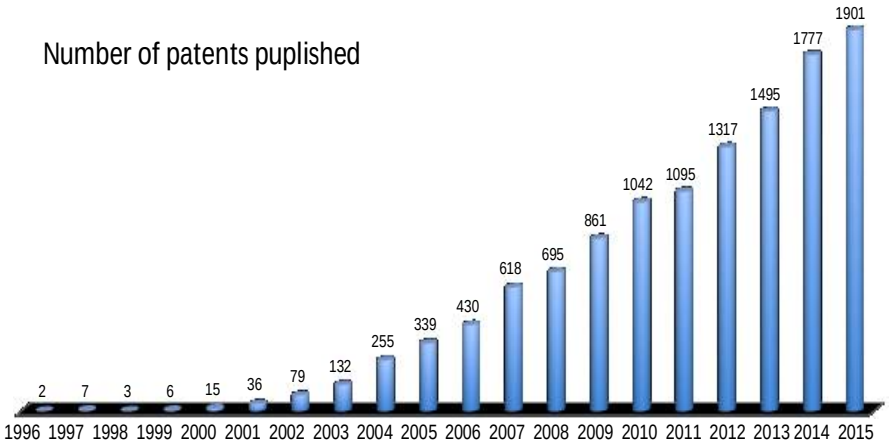


شكل 3: الأبحاث العلمية المنشورة ما بين عامي 1996 و2015 (Buchholz. V: 2017).

الوضع التسويقي للغزل الكهربائي:

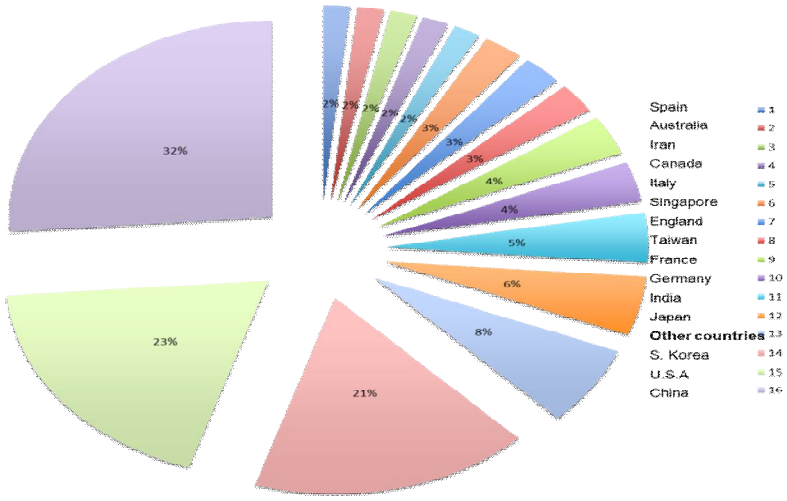
من أبرز ما تتميز به الألياف النانونية هي مساحة السطح العالية, مما يجعلها المرشح المثالي لمختلف التطبيقات, حيث تكون المسامية العالية ومساحة السطح الكبيرة مرغوبة لتصنيع العديد من المنتجات, وبالتالي أصبح الغزل الكهربائي هو الأسلوب الأكثر استخدامًا, حيث أدرك المجتمع البحثي أنها تقنية لا غنى عنها لتوليد ألياف نانوية لأكثر من عقد من الزمان, نظرًا لتكلفتها المنخفضة وبساطتها التشغيلية ومعدل إنتاجها المرتفع (Che. G, et al:

منذ أواخر التسعينيات وحتي إلى أوائل القرن الحادي والعشرين، ازدهرت حركة ضخمة داخل مجتمع أبحاث "الغزل الكهربائي" وصناعته, وأنه منذ عام 2000 كانت هناك زيادة تقريبية بنسبة 20٪ سنويًا في عدد مقالات المجلات المنشورة حول العالم، والتي استخدمت مفهوم "الغزل الكهربائي" في أبحاثهم (Buchholz. V: 2017). ويوضح **شكل 4** عدد براءات الاختراع مقارنة بسنة النشر. حيث أنه بات من الواضح أن في كل عام يتم نشر حوالي 500 براءة اختراع جديدة لتطبيقات جديدة تستخدم ألياف نانوية مصنعة عبر طرق مختلفة بما في ذلك الغزل الكهربائي (Fakirov. S:2016).



شكل 4: براءات الاختراع المنشورة ما بين عامي 1996 و2015 (Buchholz. V: 2017).

هذا وقد تم أيضا تصنيف الأنشطة العلمية والاقتصادية بالأسواق العالمية طبقا لبلد المنشأ كما يظهر في **الشكل 5**. وبوجه عام, فانه يتضح من تلك الرسوم البيانية والبيانات والاحصائيات أن تقنية "الغزل الكهربائي" قد استعادت الاهتمام في جميع أنحاء العالم, ويرجع ذلك إلى الاهتمام المتزايد بتكنولوجيا النانو (Fakirov. S:2016).



شكل 5: توزيع نسب أنشطة الغزل الكهربائي بالأسواق العالمية (Fakirov. S:2016)

كما تظهر الإحصاءات أن الولايات المتحدة الأمريكية والصين وكوريا الجنوبية تمتلك ما يقرب من 70 ٪ من المقالات المنشورة. ولقد خلق هذا الاهتمام القوي سوقًا اقتصاديا قويا مهمًا لألياف النانو, مما أدي بالتبعية إلى زيادة مصنعي معدات إنتاج ألياف النانو. ولعل هذه الزيادة مهمة بشكل خاص للمعدات على النطاق المختبري حيث أن الإنتاج على المستوى الصناعي محدود بتقنيات قليلة. بالإضافة إلى ذلك، فهناك العديد من الموردين الذين يقدمون معدات الغزل الكهربائي متعددة الإبر (الفوهة) وذلك للمجال الصناعي (Persano. L, et al: 2013)(www.bccresearch.com: 2019).

و وفقًا لتقرير سوق البي بي سي، ارتفع السوق العالمي للمنتجات القائمة على الألياف النانوية من 51.8 مليون دولار في عام 2007 إلى 67.1 مليون دولار في عام 2008 وإلى 80.7 مليون دولار في عام 2009، وإلى 101.5 مليون دولار بحلول نهاية عام 2010. على الرغم من الانكماش الاقتصادي العالمي الذي بدأ في ديسمبر 2007, فقد شهدت مبيعات منتجات ألياف النانو نموًا ملحوظا للغاية خلال تلك الفترة مع تسارع نمو المبيعات مقارنة بالسنوات السابقة. هذا وقد سجل القطاع الميكانيكي / الكيميائي 73.2٪ من إجمالي الإيرادات في عام 2010. والقطاعان الرئيسيان الآخران هما الطاقة والإلكترونيات، اللذان سجلا معًا 22.8٪ من إجمالي السوق. ومن المتوقع أن تستمر مبيعات المنتجات القائمة على الألياف النانوية في النمو بمعدل متميز للغاية خلال السنوات المقبلة، مدفوعةً بتغلغل المزيد من الألياف النانوية في القطاعات المذكورة أعلاه, وبواسطة العديد من التطبيقات الحديثة عالية التقنية التي تدخل التسويق التجاري السائد في مجالات أخرى مثل القطاعات الطبية / البيولوجية / الصيدلانية. هذا وقد سجل إجمالي سوق منتجات ألياف النانو معدل نمو سنوي بنسبة 34.3٪ حتى عام 2015، ومن المتوقع أن ينمو بمعدل نمو

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

سنوي بنسبة 40.2٪ حتى عام 2020، ليصل إلى ما يقرب من 2.2 مليار دولار من إجمالي الإيرادات. ومن المتوقع أيضا أن ينمو السوق العالمي لمنتجات ألياف النانو من 927 مليون دولار في 2020 إلى 4.3 مليار دولار بحلول عام 2023 بمعدل نمو سنوي يبلغ 36.2٪ للفترة من 2020 إلى 2023 (Tekmen. C, et al: 2013)(Cowie. J, et al: 2014).

12 التوصيات Recommendations:

طبقا لما أوضحته الدراسة, فأن تقنية الغزل الكهربائي بشكل خاص أضحت من أهم تطبيقات النانوتكنولوجي الحديثة، والتي بات لزاما علي منطقتنا العربية الاهتمام بها والاستفادة منها في تطوير صناعات المنسوجات الوظيفية بهذه المنطقة. فقد أثبتت الدراسة مدي امكانية تقنية الغزل الكهربائي وما تنتجه من ألياف نانونية متميزة, في المساعدة بشكل كبير في فتح آفاق تنموية جديدة في قطاع صناعة النسيج من خلال تطبيقاتها المتعددة في العديد من المجالات مثل الطب والهندسة والصناعة والبيئة والالكترونيات ومستخضرات التجميل والعديد من المجالات الأخرى كما تم ذكره. و نظرا للتطور السريع والتقدم الهائل لمنظومة النانوتكنولوجيا, أصبحت تقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتها من التقنيات الهامة التي يجب تطويرها وتطبيقها في الدول العربية, بهدف خلق أسواق جديدة وفرص عمل عديدة تنعش وتحسن من الوضع الاقتصادي بالبلاد. لذلك يجب أن يجد هذا المجال مناخاً اقتصادياً جيداً في الدول العربية, يوفر له كافة التسهيلات المطلوبة لبداية تصنيعية تسويقية قوية, تساهم بشكل فعال في فتح أسواق جديدة تعمل على زيادة فرص العمل والإنتاج في قطاع صناعة النسيج.

من أجل إدراك المفاهيم السابقة, وتحقيق أهدافها المنشودة بمنطقتنا العربية, والمتعلقة بتقنية الغزل الكهربائي وأليافه النانونية, هناك بعض الخطوات الأساسية التي يجب مراعاتها، مثل:

1. يجب أن تلعب المؤسسات الأكاديمية والبحثية دورًا في نشر مفهوم تقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتها، وتوضيح التكنولوجيا المستخدمة في هذا المجال الجديد. كما يجب عليها أيضًا إبراز دور وأهمية تقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتها في خدمة المجتمع, وذلك من خلال: أ) تطوير المناهج بإضافة تقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتهاالي المناهج الدراسية ؛ ب) تفعيل برامج تدريبية للطلاب للربط بين المفهوم النظري والعملي لتقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتها ؛ ج) نقل المعرفة بين الجامعات المحلية والدولية من خلال تبادل الخبراء المتحصصين بهذا المجال. د) تنظيم وحضور المؤتمرات وورش العمل الدولية حول تقنية الغزل الكهربائي وتطبيقاتها، من أجل توضيح الفوائد الاقتصادية والاجتماعية والتجارية لهذا المجال الواعد.
2. تشجيع الاستثمار المحلي والدولي في مجال صناعة الألياف النانونية المنتجة بواسطة تقنية الغزل الكهربائي، وإقامة شراكات دولية مع المنظمات الدولية والمصنعين المهتمين, وذلك بهدف نقل التجربة الدولية الي المنطقة العربية، وكذلك للتعرف على أحدث التقنيات والأليات المستخدمة في هذا المجال.
3. تفعيل دور المنظمات الحكومية وغير الحكومية المهتمة بتقديم كافة أنواع الدعم للمستثمرين الشباب الذين يرغبون في الاستثمار في هذا المجال الجديد. والاهتمام بتنظيم المعارض الدولية والمحلية لتطبيقات الألياف النانونية، من أجل بناء جسر من التعاون الحقيقي بين الشركات المحلية والدولية المهتمة, مما سيعود بالنفع علي انعاش وتحسين الوضع الاقتصادي للبلاد.

المراجع References:

1. Tekmen, C, 2013: Current Status of Electerospinning Market, The International Istanbul Textile Congress 2013
2. Kurecic, M, 2013: Electrospinning: Nanofibre Production Method, Tekstilec journal, vol. 56, pp. 4–12.
3. Li, Z.; Wang, C, 2013: One-dimentional nanostructures electro-spinning technique and unique nanofibers, Springer,Chapter 2, ISBN: 978-3-642-36426-6.
4. Fakirov, S, 2016: Nano-size polymers: Preparation, properties, applications, Springer, Chapter 4, ISBN 978-3-319-39715-
5. Park, G. S, 2010: Electrospinning and its applications, Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology Journal, Vol. 1 (043002-5pp).
6. Bhardwaj, N.; Kundu, S.C.: Electrospinning, 2010: A fascinating fiber fabrication technique, Biotechnology advances journal, Vol. 28, pp.325-347.
7. Baji, A.; Mai,Y.W.; Wong. S.C.; Abtahi, M, Chen P, 2010: Electrospinning of polymer nanofibers: effects on oriented morphology, structures and tensile properties, Composites Science and Technoly Journal, vol.70, pp 703–718.
8. Agarwal. S.; Wendorff, J. H.; Greiner. A, 2009: Progress in the field of electrospinning for tissue engineering applications, Advanced Materials Journal, vol. 21, pp 3343–3351.
9. Park, J. C.; Ito. T.; Kim, K. O.; Kim K.W.; Kim B. S.; Khil, M. S, 2010: Kim H. Y.; Kim I. S.: Electrospun poly (vinyl alcohol) nanofibers: effects of degree of hydrolysis and enhanced water stability, Polymer Journal, vol. 42, pp 273–276.
10. Zhang, H.; Zhang, L.; Jia. Q.; Shi, C.; Yang, J, 2015: Preparation of porous nylon 6 fiber via Electrospinning, Polymer Engineering Science, vol 55(5), pp1133–1141.
11. Persano, L.; Camposeo A.; Tekmen, C. & Pisignano, D, 2013: Industrial Upscaling of Electrospinning and Applications of Polymer Nanofibers: A Review, Macromolecular Materials and Engineering Journal, vol. 298 (5), pp 504-520.
12. Wang, R.; Liu, Y.; Li, B, 2012: Hsiao, B. S.; Chu, B.: Electrospun nanofibrous membranes for high flux microfiltration, Journal of Membrane Science, vol. 392–393, pp167–174.
13. Mirjalil, M.; Zohoori, S, 2016: Review for application of electrospinning and electrospun nanofibers technology in textile industry, Journal of Nanostructure Chemistry, vol. 6, pp 207–213.
14. Bachtin, K, 2016: Elektrospinning von Kathodenmaterialien für Lithium Ionen Batterien, PhD thesis, Karlsruhe Institute for Technology, Germany.
15. Ingavle, G. C.; Leach, J. K, 2014:

K.; Sennett, M.Walker, J.; Yeomans, W.; Ziegler, D.; Tsai, P.P, 2002: Protective textile materials based on electrospun nanofibers, Journal of Advanced Materials, vol 34 (3), pp 44–55.
27. Lee, S.; Obendorf, S. K, 2007: Use of Electrospun nanofiber web for protective textile materials as barriers to liquid penetration, Textile Research Journal, vol. 77, pp 696–702.
28. Su, X.; Ren, J.; Meng, X.; Ren, X.; Tang, F, 2013: A novel platform for enhanced biosensing based on the synergy effects of electrospun polymer nanofibers and graphene oxides, Analyst Journal, vol. 138(5), pp1459–1466.
29. Che, G.; Lakshmi B, B.; Martin, C. R.; Fisher, E. R.; Ruoff, R. S, 1998: Chemical vapor deposition based synthesis of carbon nanotubes and nanofibers using a template method, Chemical Materials Journal, vol. 10(1), pp 260–267.
30. Lin, Y.; Yao, Y.; Yang, X.; Wie, N.; Li, X.; Gong, P.; Li, R.; Wu, D, 2008: Preparation of poly(ether sulfone) nanofibers by gas-jet/electrospinning, Journal of Applied Polymer Science, vol. 107(2), pp909–917.
31. Buchholz, V, 2017: Funktionale abbaubare Polyester als elektrogesponnene Wundverschlussmaterialien im Pflanzenschutz, PhD thesis, an der Bayreuther Graduiertenschule für Mathematik und Naturwissenschaften (BayNAT) der Universität Bayreuth, Germany.
32. Haider, S.; Haider, A, 2016: Electrospinning: Material, Techniques, and Biomedical Applications, www.intechopen.com, ISBN: 978-953-51-2822-9.
33. Nikalje, A, 2015: Nanotechnology and its Applications in Medicine, Medicinal Chemistry Journal, vol 5(2), pp 81-89.
34. https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/global-markets-and-technologies-for-nanofibers-nan043e.html, 1st Feb 2019
35. Karakas, H, 2016: Electrospinning of nanofibers and their applications, MDT Electrospinning, seventh framework program, 1-35 (http://www.2bfuntex.eu/, 29th Nov. 2016
36. LG, 2018: https://www.lg.com/uk/press-release/smart-hi-fi-audio-wireless-multi-room-solution-from-lg, 25th Nov 2018.

Advancements in electrospinning of polymeric nanofibrous scaffolds for tissue engineering, Tissue Enginerring Journal part B, vol. 20, pp 277–293.
16. Khan, W. S.; Asmatulu, R.; Ceylan, M.; Jabbarnia, A, 2013: Recent progress on conventional and non-conventional electrospinning processes, Fiber Polymer Journal, vol. 14, pp1235–1247.
17. Katti, D. S.; Robinson, K.W.; Laurencin, C.T, 2004: Bioresorbable nanofiber-based systems for wound healing and drug delivery: optimization of fabrication parameters, Journal of Biomedical Materials, Research B Applied Biomaterials, vol. 15, pp 286-296.
18. Dong, Y.; Moghadam. M; Daives, I. J, 2015: Recent progress in electrospun nanofibers: reinforcement effect and mechanical performance, Journal of Polymer Science part Polymer Physics, vol. 53, pp1171–1212.
19. Yamashita, Y.; Ko, F.; Tanaka, A.; Miyake, H, 2007: Characteristics of elastomeric nanofiber membranes produced by electrospinning, Journal of Textile Engineering, vol. 53, pp137–142 .
20. Jiang, S.; Duan, G.; Schöbel, J.; Agarwal, S.; Greiner, A, 2013: Short electrospun polymeric nanofibers reinforced polyimide nanocomposites, Composites Science Technollogy, vol. 88, pp 57–61.
21. Fakirov. S, 2016: Nano-size polymers: Preparation, properties, applications, Springer, Chapter 11, ISBN 978-3-319-39715-3.
22. Zanin, M. H. A.; Cerize, N. N. P.; de Oliveira, A. M, 2011: Production of nanofibers by electrospinning technology: overview and application in cosmetics,Nanocosmetics and nanomedicines, new approaches for skin Care, Springer, Berlin, pp 311–332.
23. Sherif, F, 2016: New Prospects to Enhance the Commercial and Economical Status in Textile Industry, International Design Journal, vol. 6, issue 1.
24. Cowie. J, Wegner. T. H, Shatkin. J, 2014 Market projections of cellulose nanomaterial-enabled products, Tappi Journal, Vol 13(6), pp.57-69.
25. Nurfaizy, A. H.; Tucker, N.; Stanger, J.; Staiger, M. P, 2012: Functional nanofbers in clothing for protection against chemical and biological hazards, Woodhead Publishing, Cambridge, pp 236–261.
26. Schreuder-Gibson, H.; Gibson, P.; Senecal,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License