المنسوجات الالكترونية والتحديات المستقبلية

Electronic Textiles and Future Challenges

أ.د/ عماد الدين سيد جوهر

أستاذ تكنولوجيا تصنيع الملابس بقسم الأزياء والنسيج، كلية علوم الانسان والتصاميم، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، السعودية

Prof.Emad El-Din Sayed Gohar

Professor of Manufacturing of Clothes, Fashion and Textile Department, Faculty of Human Sciences and Designs, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia

egohar@kau.edu.sa

أ.م.د/ مروة محمد ثروت

أستاذ مشارك بقسم الهندسة الكهربائية، كلية الهندسة والحاسبات، جامعة الملك عبدالعزيز، جدة، السعودية

Dr. Marwa Mohamed Tharwat

Department of Electrical and Computer Engineering Associate Professor, Faculty of Engineering, King Abdulaziz University ,Jeddah, Saudi Arabia

mmzahran1@kau.edu.sa

المحاضر /أمل عبد الله إبراهيم البشري

طالبة دكتوراة بقسم الأزياء والنسيج، كلية علوم الانسان والتصاميم، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، السعودية

Amal Abdullah Ibrahim Albishri

PhD Student, Manufacturing of Clothes, Fashion and Textile Department, Faculty of Human Sciences and Designs, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia

aalbishri@kau.edu.sa

المستخلص Abstract:

ارتبطت تطور المنسوجات ارتباطًا وثيقًا بالاختراعات الرئيسية التي شكلت المجتمعات. ومع التقنيات الرقمية المتطورة، بدأت الملابس في أن تصبح نوعًا جديدًا من منتجات التكنولوجيا الفائقة من خلال الجمع بالإلكترونيات. وفي ضوء ذلك تناول البحث توضيح تعريف الملابس الإلكترونية ومفهومها بين متعددي التخصصات، وتأثرها بالتطورات المتلاحقة في المجلات المختلفة مما تسبب في دخول الكثير من المصطلحات الحديثة والمتعددة ومن زاوية أخرى فهم مفهوم الملابس الإلكترونية التي تعُد نوع من الملابس الذكية في نطاق الملابس الوظيفية كما تطرقت إلى تقنيات تصنيع المنسوجات الإلكترونية وخواصها الكهربائية وانتهاء البحث بالتحديات المستقبلية التي تواجهه صناعة الملابس والمنسوجات الإلكترونية. ويهدف البحث في تبني إطار نظري عن المنسوجات الإلكترونية ومفهومها، وأهدافها، ومتطلبات البنية الأساس لها، والفوائد التي تحققها، فضلًا عن التعرف على التحديات التي توجهها. بينما تمثلت أهمية البحث إلى إثراء الإنتاج الفكري العربي القليل في هذا المجال، إضافة إلى دفع المتخصصين في الأزياء والنسيج للعمل بشكلٍ جدي للتغلب على المصاعب التي قد تعيق إنشاء المنسوجات الإلكترونية والبدء في تنفيذها؛ نظرًا لما تسهم به من مواكبة التطورات الحديثة في صناعة الملابس. اتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي وذلك بجمع البيانات منها مراجعة الأوراق العلمية المنشورة من عام ٢٠٠٠م إلى عام ٢٠٢٠م التي اهتمت برصد وتحليل الملابس او المنسوجات الذكية. وقد توصل البحث الى عدة نتائج من أهمها أن المنسوجات والملابس الإلكترونية تواجهه تحديات كبيرة منها موثوقية الإلكترونيات وموصلات النسيج أثناء الغسيل والتخزين والسلامة والأمان في خصوصية البيانات في ظل تزايد احتمال انتهاك الخصوصية ومدى استدامة المنتج. وقد يعود ذلك إلى أنها

منتجات تتطور بشكل سريع جداً كذلك ضرورة التعاون بين متعددي التخصصات للمساهمة في تطوير المنسوجات الإلكترونية بشكل متكامل.

الكلمات المفتاحية
الملابس الذكية، الالكترونيات القابلة للارتداء، التقنيات القابلة للارتداء.

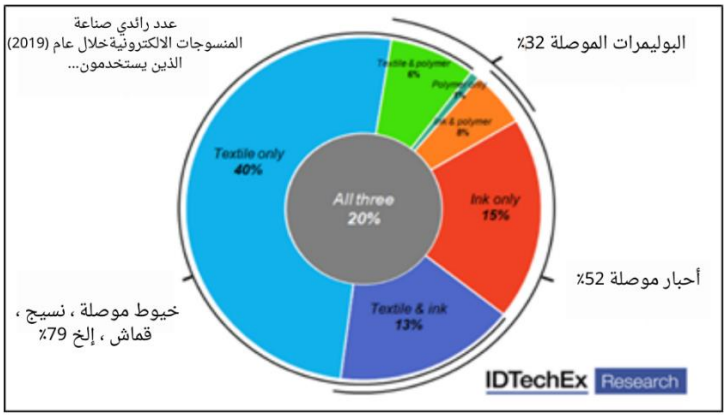
Abstract:
The development of textiles was closely related to the major inventions that shaped societies. With the progress of digital technologies, clothes began to appear as a new kind of high-tech products by interfering with electronics. In light of this, this research aimed to clarify the definition and concept of e-textiles (electronic textiles) within various disciplines, and its impact on the successive developments in various fields, which allowed the introduction of many modern and multiple terms. Moreover, the research aimed to reach an understanding of the concept of e-textiles, which is a type of smart clothing in the scope of functional clothing. It also tackled the manufacturing of e-textiles and their electrical properties, and concluded with the future challenges facing e-textiles and the textile industry. The research aims to adopt a theoretical framework on e-textiles, its concept, objectives, the requirements for its basic structure, and the benefits it achieves, in addition to identifying the challenges it faces. While the importance of research is the enrichment of the little Arab intellectual output in this field, it aimed to motivate fashion and textile specialists to work hard to overcome the difficulties that may hinder the manufacture of e-textiles and start their implementation, given its contribution to keeping up with recent developments in the clothing industry. The research applied the descriptive and analytical approach which involves collecting data, including reviewing scientific papers published from 2000 to 2020 that focused on monitoring and analyzing smart clothing or textiles. The research has reached several results, the most important of which is that e-textiles and e-clothing face great challenges, including the reliability of electronics and textile connectors during washing, storage, safety and security in the privacy of data given the increased risk of privacy violation and product sustainability. This may be a result of its quick development as well as the need for cooperation between various disciplines to find an integrated manner for developing e-textiles.

Key Words:
Smart Clothes, Wearable Electronics, Wearable Technology.

المقدمة Introduction :

استخدمت الملابس لألاف السنين بهدف الستر والحماية ولكنها بقيت في قلب التقدم التكنولوجي البشري .**حيث ارتبطت تطورات المنسوجات ارتباطًا وثيقًا بالاختراعات الرئيسية التي شكلت المجتمعات**(Hughes-Riley, Dias, & Cork, 2018, p. 5). ومع التقنيات الرقمية المتطورة ، بدأت الملابس في أن تصبح نوعًا جديدًا من منتجات التكنولوجيا الفائقة من خلال الجمع بالإلكترونيات .(Ismar, Kurşun Bahadir, Kalaoglu, & Koncar, 2020). وقد فتح بالفعل الإمكانات للملابس ذات الصلة بالدفاع والرياضة والطب والمراقبة الصحية (Hughes-Riley et al., 2018, p. 9).الى تطورها ودعمها للوظائف المستخدمين مما وفرا كفاءة اعلى لأداء المهام.

وتمثل الملابس الذكية بكل أنواعها ومستوياتها مستقبل صناعة النسيج والملابس والصناعة الإلكترونية. وبما أن التقارب بين هاتين الصناعتين يجلب فرصاً وتحديات كبيرة ، فإنه يجذب انتباهاً واستثماراً كبيرين من مختلف المجالات(Suh, Carroll, & Cassill, 2010). وفي ضوء ذلك أشار لتقرير الصادر عن IDTechEx ، من المتوقع أن تبلغ قيمة سوق المنسوجات الإلكترونية اكثر من ١,٤ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٣٠، في التقرير المعنون " E-textiles and Smart Clothing 2020-2030: Technologies, Markets and Players"كما يوضح التقرير التنوع الذي يغطي مجموعة واسعة من المواد (بما في ذلك المعادن والبوليمرات والألياف والغزول والمنسوجات (تريكو، منسوجة، مطرزة، غير المنسوجة) والمواد الناشئة وملحقاتها (أجهزة الاستشعار، وموصلات و واجهة للإلكترونيات التقليدية ، وما إلى ذلك) المستخدمة اليوم. كما يتضح في الشكل التالي:



شكل (١) المنسوجات الإلكترونية والملابس الذكية ٢٠٢٠-٢٠٣٠ (IDTechEx Research,2020)

وفي ظل تلك المؤشرات العالمية التي توضح ارتفاع القيمة السوقية للطلب والإنتاج للملابس والمنسوجات الالكترونية التي تعُد نوع من الملابس الذكية ونتيجة للتطورات المتسارعة في العالم برزت مشكلة كيفية اللحاق بركب التقدم العلمي والتقني من هنا تنبع مشكلة الدراسة من فرضية الباحثين أن صناعة الملابس الالكترونية على الرغم من زيادة عددها إلا أنها ليست ذو نوعية جيدة تمكن من الوصول إليه بسهولة؛ وأن الرؤية تجاه مفهوم الملابس الالكترونية وأهميتها في مجال صناعة الملابس غير واضحة في أذهان كثير من العاملين في هذا المجال ويمكن تلخيص **مشكلة البحث في التساؤلات التالية**:

1. ما هي مراحل تطور المنسوجات الإلكترونية؟
2. ما تقنيات صناعة المنسوجات الالكترونية؟
3. ما هي الخصائص الكهربائية للمنسوجات الالكترونية؟
4. ما التحديات التي تواجهه بناء المنسوجات الالكترونية؟

أهداف البحث Research Aims :

تسعى هذه الدراسة لـتحقيق الأهداف التالية:

1. تحليل مراحل تطور المنسوجات الإلكترونية.
2. تحديد التقنيات المستخدمة في صناعة المنسوجات الإلكترونية.
3. التعرف على الخصائص الكهربائية للمنسوجات الإلكترونية.
4. الوصول الى التحديات التي يمكن أن تحول دون الاستفادة من دمج الالكترونيات في المنسوجات.

أهمية البحث Research Significance :

1. زيادة الوعي المعرفي بالمنسوجات الالكترونية لفتح المجال لمزيد من التجارب والأبحاث العلمية للربط بين التخصصات المختلفة.
2. يعد البحث استجابة للتطورات التكنولوجية في مجال المنسوجات الإلكترونية.
3. المساهمة في اثراء المكتبة العربية في مجال بحوث المنسوجات الالكترونية

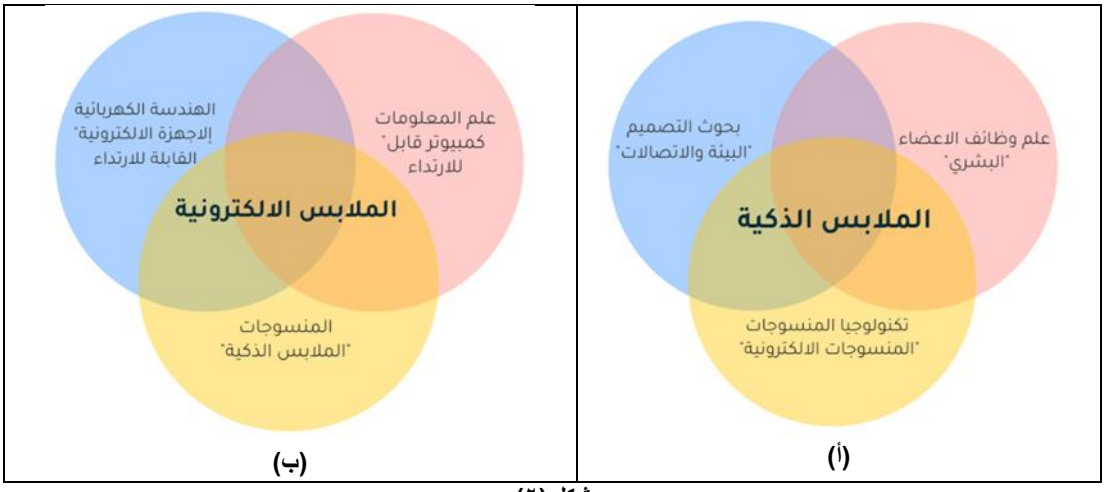
منهج البحث Search Methodology:

اتبع البحث المنهج الوصفي من خلال الدراسة التحليلية التي اهتمت برصد وتحليل الملابس او المنسوجات الذكية

الإطار النظري للبحث:

المفاهيم والتعاريف:

تعد المنسوجات الذكية مجالًا بحثيًا متعدد التخصصات واسعًا يجمع بين التصميم وتقنيات النسيج والهندسة الكهربائية وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات من أجل تطوير منتجات جديدة تتوافق مع المتطلبات الجمالية والوظيفية والتقنية المحددة. (Mecnika, Hoerr, Krievins, Jockenhoevel, & Gries, 2014b) ولذلك فأن المصطلحات والتعاريف لمفهوم الملابس او المنسوجات الذكية متعددة ، ومن المهم مراجعة الكيفية التي ينظر بها الباحثون إلى الملابس الذكية كأشياء بحثية وكيف تحدد الاختصاصات المختلفة الذكاء المتكامل في المنتجات على أساس نماذج بحثية مختلفة(Suh et al., 2010). وهنا لا بد من توضيح ان الملابس الذكية تقع في تقاطع بحوث التصميم، وعلم وظائف الأعضاء، وتكنولوجيا المنسوجات. بينما تُصنع المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء باستخدام العديد من المواد باستخدام طرق تصنيع مختلفة. يتم دائمًا ربط المواد وطرق التصنيع المختارة مع التطبيق النهائي. وهذا يجعل النسيج الإلكتروني مجال بحث متعدد التخصصات (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2018).كما يتضح ذلك في الشكل التالي:



شكل (٢)

(أ) المنهج المتعدد التخصصات للملابس الذكية- الثوب الذكي ككائن بحث (MATTILA, 2006)

(ب) بيئة متعددة التخصصات للمنسوجات الإلكترونية (GNIOTEK & KRUCINSKA،2004)

عرف CHO (2010a) الملابس الذكية على انها نوع جديد من الملابس التي تم إنشاؤها باستخدام تقنية الاندماج التي تجمع بين الهندسة الإلكترونية وتصميم الملابس.

كما تُعرف **المنسوجات الذكية** بأنها منتجات نسيجية مثل الألياف والخيوط ، والخيوط المنسوجة أو التريكو أو غير المنسوجة ، والتي يمكن أن تتفاعل مع البيئة و المستخدم (Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014, p. 11958). وتزود مرتديها بعدد من الوظائف عن طريق الاستشعار والتفاعل و / أو التكيف مع المحفزات في البيئات التي يتعرضون لها(Vagott & Parachuru, 2018).

مع بداية القرن الحادي والعشرين ، أصبح مصطلح **"المنسوجات الإلكترونية** Electronic textiles " مصطلحًا شائعًا في السوق العالمية للمنسوجات التقنية (Elmogahzy, 2020).ولقد أُطلق ايضاً على فكرة إدماج الإلكترونيات في الملابس العديد من المسميات، مثل الأنسجة الذكية والعناصر المدمجة والملابس الإلكترونية .(Silberglitt, Lauland, Watson, Eusebi, & Lastunen, 2017) أو المنسوجات الإلكترونية وهي ببساطة ، هي منسوجات تحتوي على إلكترونيات مدمجة وبعض مواد الألياف التي تتمتع بخصائص كهربائية وتوفر بعض الوظائف المفيدة.(Nayak, Wang, & Padhye, 2015). بينما يوضح Motti (2020a) المنسوجات الإلكترونية بأنها تقنيات ذكية تجمع بين النسيج والإلكترونيات لإنشاء ملابس "ذكية". يمكن أن تضمن المنسوجات الإلكترونية إمكانية ارتداء أجهزة الكمبيوتر القابلة للارتداء حقًا حتى يبدأ المستخدمون النهائيون في اعتبارها ملابس وإكسسوارات فعلية، بدلاً من أجهزة الكمبيوتر. وفي المقابل يعرف Motti (2020b) الأجهزة القابلة للارتداء هي تقنيات محمولة يعمل جسم الإنسان كمنصة لها بينما يربط Malmivaara (2009) إنشائها بمهام محددة لتلبية الاحتياجات وانها تختلف عن الأجهزة المحمولة من خلال مظهرها وتصميمها الأساسي بحيث يتم ارتدائها على الجسم،

ويُشار أيضًا إلى الملابس عالية الأداء التي تستخدم الإلكترونيات بالملابس الذكية، والإلكترونيات القابلة للارتداء. تتفاعل الملابس الذكية عالية الأداء مع البيئة من خلال استشعار المحفزات الخارجية والتكيف بطريقة مبرمجة والتفاعل وفقًا لذلك (Bonaldi, 2018).

بينما يوضح Stoppa and Chiolerio (2014) المنسوجات الإلكترونية (E-textiles) بأنها الأقمشة التي تتميز بالإلكترونيات والوصلات المنسوجة فيها، مما يوفر مرونة فيزيائية وحجمًا نموذجيًا لا يمكن تحقيقه باستخدام تقنيات التصنيع الإلكترونية الحالية الأخرى. تعتبر المكونات والوصلات الداخلية جوهرية في النسيج، وبالتالي فهي أقل وضوحًا وليست عرضة للتشابك أو التعثر بسبب الأشياء المحيطة(Stoppa & Chiolerio, 2014, p. 11957).

وفي المقابل يعرف Hughes-Riley et al (٢٠١٨) المنسوجات الإلكترونية بأنها المكان الذي يتم فيه دمج الألياف أو المكونات الموصلة إلكترونيًا في المنسوجات، و M Stoppa and Chiolerio (٢٠١٦) ان المنسوجات الإلكترونية، هي مجموعة فرعية من المنسوجات الذكية. وإنهم يشيرون إلى بنية نسيجية لها وظائف كهربائية مماثلة للإلكترونيات ، ولكنها تعمل كنسيج في نفس الوقت(M Stoppa & Chiolerio, 2016).

ومن زاوية أخرى يمكن فهم مفهوم الملابس الذكية في نطاق الملابس الوظيفية. حيث يتم ارتداء الملابس الوظيفية لتلبية الاحتياجات الوظيفية الخاصة مثل الحماية من البيئات القاسية أو تحقيق أداء عالي التقنية. و الملابس الذكية تدمج بين تصميم الملابس الوظيفية والتكنولوجيا المحمولة ويمكن اعتبارها واحدة من الملابس الوظيفية التي يتم فيها تفعيل وظائف التكنولوجية تلقائياً أو إبطال مفعولها (Suh et al., 2010).وعلى النقيض من ذلك يرى(Ismar, Tao, Rault, Dassonville, & Cochrane, 2020) ان المنسوجات الذكية تختلف عن المنسوجات الوظيفية ويجب عدم الخلط بينها.

نظراً لطبيعة المنسوجات الذكية متعددة التخصصات جعل من الصعب توحيد التعريفات الاصطلاحية لذلك في عام ٢٠٠٧، تم تشكيل مجموعة عمل للبدء في وضع معايير للمنسوجات الذكية. وقد تم ذلك في إطار اللجنة الأوروبية للتوحيد القياسي

(CEN)، داخل اللجنة الفنية ٢٤٨ (CEN / TC 248 WG 31). ينظم معهد الأبحاث البلجيكي Centexbel مجموعة العمل هذه. كنقطة انطلاق لوضع المعايير المتعلقة بالمنسوجات الذكية، وتم تقسيمها الى ثلاث مجموعات مهمة:

- المواد النسيجية الوظيفية
- المواد النسيجية الذكية
- أنظمة النسيج الذكية.

وبعد ذلك تم تعريفها ووصفها بالتفصيل في التقرير الفني ١٦٢٩٨: ٢٠١١ ، الذي نُشر في عام ٢٠١١.(Tao, 2015) حيث عرَّف مواد النسيج الوظيفية على أنها تلك المواد التي ليس لها أي "ذكاء" على هذا النحو ، ولكنها في كثير من الحالات تشكل مكونًا أساسيًا من نسيج ذكي (نظام) ، على سبيل المثال ، المنسوجات الكهربية أو الألياف الضوئية.

وعرفت مواد النسيج الذكية. لديهم درجة متأصلة من الذكاء من خلال الاستجابة لحافز خارجي. اعتمادًا على الحافز المادي الذي يبدأ التحول. يمكن أن يكون المحفز ذا طبيعة بصرية أو ميكانيكية أو كيميائية أو كهربائية أو حرارية، واعتمادًا على النتيجة الفيزيائية، يتم تسمية التأثير.

أخيرًا، تم تعريف نظام النسيج الذكي على أنه نسيج يتكون من مشغلات، وربما أيضًا أجهزة استشعار ووحدة معالجة بيانات. بالإضافة الى مصدر للطاقة (مثل البطاريات) و وسيلة الاتصال الخارجي (مثل الهوائي)(Tao, 2015).

ومن خلال التعريفات السابقة لمصطلحات المنسوجات والملابس الذكية يمكن تعريف المنسوجات الالكترونية (E-Textiles) بأنها احدى أنواع المنسوجات الذكية والتي تشمل كل أنواع النسيج الذي تم إضافة او دمج مكون إلكتروني عن طريق المواد والتركيب او التشطيب باختلاف الغرض من ذلك.

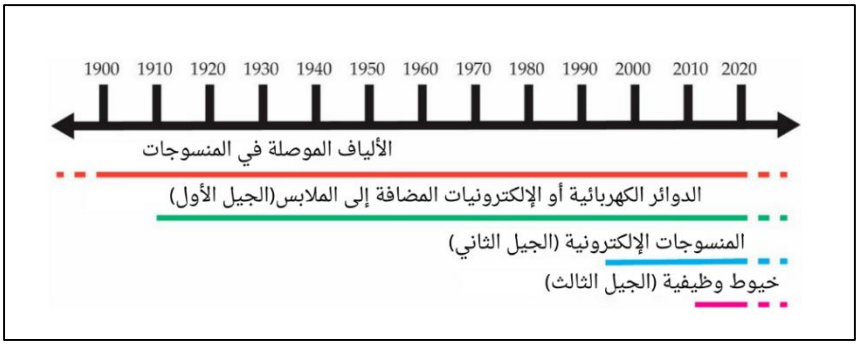
التطور التاريخي للمنسوجات الالكترونية:

تعد المنسوجات من المواد الأكثر استخدامًا من قبل البشرية ولقد اكتسبت في الآونة الاخيرة مجموعة من الوظائف الجديدة من خلال دمج المكونات الإلكترونية. حيث تعود الأمثلة الأولى للمنسوجات الإلكترونية إلى استخدام اشرطة مضيئة في رقص الباليه لا فاراندول عام ١٨٨٣(Guler, Gannon, & Sicchio, 2016).

ولقد اعتبر العلماء عام ٢٠٠٠ عامًا محوريًا في تطوير المنسوجات الذكية والملابس الذكية، والتي تم طرحها لأول مرة في السوق بكميات أكبر، وكان القميص الذكي Sensatex لرصد الوظائف البشرية الحيوية أحد المنتجات الأولى في السوق الامريكية. وفي الآونة الأخيرة ظهر تقدم ملحوظ وذلك بسبب انخفاض حجم وتكلفة المكونات الإلكترونية ، وإمكانيات دمج الإلكترونيات مع الملابس(Hughes-Riley et al., 2018).

حاول الأكاديميون والمتخصصون في الصناعة تصنيف **دمج الإلكترونيات في المنسوجات** على مستويات مختلفة بعدة طرق. فمنهم من صنفها إلى ثلاث فئات: الجيل الأول والثاني والثالث. هذه الأجيال الثلاثة المميزة من المنسوجات الإلكترونية تمثل إضافة إلكترونيات أو الدوائر إلى الثوب (الجيل الأول)، والاقمشة الوظيفية مثل أجهزة الاستشعار والمفاتيح (الجيل الثاني)، اما الخيوط الوظيفية يمثل (الجيل الثالث).

ويوضح الشكل التالي الشكل الزمني لأجيال مختلفة من المنسوجات الالكترونية



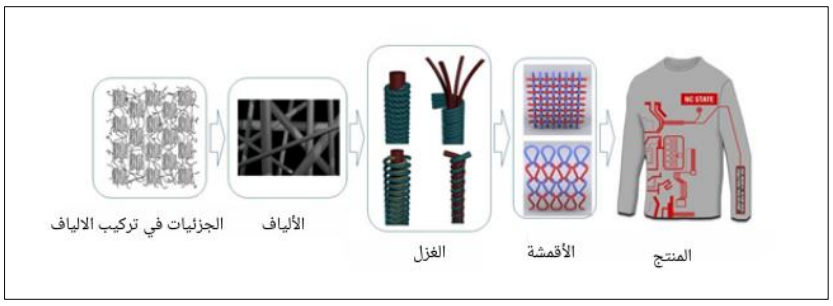
شكل (٣) الشكل الزمني لأجيال مختلفة من المنسوجات الالكترونية(Hughes-Riley et al., 2018).

ايضاً تم تصنيف المنسوجات الذكية حسب مستويات الذكاء: ذكي سلبي، ذكي نشط، ذكي جدًا. الذكي السلبي يستشعر البيئة فقط؛ حواس ذكية نشطة وتتفاعل مع محفز خارجي؛ والمنسوجات الذكية للغاية تستشعر وتتفاعل وتتكيف وفقًا لذلك. **ويمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات فرعية:**

- **المنسوجات الذكية غير الفعالة:** قادرة فقط على استشعار البيئة / المستخدم، بناءً على أجهزة الاستشعار؛
- **المنسوجات الذكية النشطة**: الاستشعار التفاعلي للمنبهات من البيئة، ودمج وظيفة المشغل وجهاز الاستشعار؛
- **منسوجات ذكية للغاية:** قادرة على الإحساس والتفاعل وتكييف سلوكها مع الظروف المعينة(Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).

تقنيات تصنيع المنسوجات الإلكترونية وتوصيفها:

يتم تصنيع المنسوجات الالكترونية بشكل أساسي من المنسوجات التقليدية التي تم تعديلها باستخدام العديد من المعالجات الكيميائية أو الهيكلية لتوفير خصائص أداء تفاعلية غير تقليدية(Elmogahzy, 2020) ومن خلال الشكل رقم (٤) يتضح تسلسل عمليات انتاج الملابس الالكترونية ابتداً من البوليمرات وصولا الى المنتج النهائي .



شكل (٤) تسلسل تركيب النسيج أثناء تقدمها من البوليمرات طويلة السلسلة إلى المنتج النسجي النهائي. (Agcayazi, Chatterjee, Bozkurt, & Ghosh, 2018)

ويعد الإدخال المباشر للخيوط الموصلة في عمليات تصنيع النسيج والتريكو وأنظمة الخياطة والتطريز من طرق التصنيع للمنسوجات الإلكترونية .إلى جانب ذلك ، يعد الطلاء والطباعة من حلول التوصيل الكهربي على أسطح الأقمشة التريكو والمنسوجة وغير المنسوجة طرقًا بديلة لتصنيع المنسوجات الإلكترونية (Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020, p. 5)

مواد النسيج الإلكتروني:

الالياف والخيوط Fiber and Yarn :

ان اللبنة الأساسية للمنسوجات الالكترونية هي الألياف. لذلك، يجب أن يمثل نوع الألياف، والبنية الكيميائية والألياف المورفولوجية ، وسمات الألياف من معايير التصميم الأساسية للمنسوجات الالكترونية .لذلك عند استخدام تجميعات الألياف القائمة على الغزل، يجب مراعاة نوع الغزل وتركيب الغزل وسمات الغزل عند تصميم المنسوجات الالكترونية .(Elmogahzy, 2020) وكذلك يمكن إضافة مواد وظيفية كهربائيًا إلى المواد الأولية للغزل ، مما ينتج عنه ألياف معدة مع التوصيل الكهربائي(Shi et al., 2020). ويتضح من الشكل التالي التراكيب المختلفة للألياف الموصلة

شكل (٥) التراكيب المختلفة للالياف الموصلة(Ghahremani Honarvar & Latifi, 2016).

تتمتع الألياف الموصلة كهربائياً بتاريخ طويل وقد تم استخدامها بشكل جمالي ايضا مثل الخيوط المطلية بالذهب ولأغراض مقاومة الكهرباء الساكنة والدرع وللتطبيقات في المنسوجات الإلكترونية، (Cork, 2015)

ويوجز Cork (2015,p.5) تاريخ الالياف كموصلات يمتد من

يعود تاريخ الالياف الموصلة الى براءة اختراع من عام ١٩٣٦ تصف طريقة لإنتاج خيوط معدنية متعددة الخيوط (James et al.، 1936). براءة اختراع أخرى من عام ١٩٣٦ تصف المنسوجات الساخنة التي تشتمل على أسلاك من الحديد أو النيكل أو الكروم أو الفولاذ المقاوم للصدأ (جريسلي ، ١٩٣٦). وهناك براءة اختراع أخرى تصف استخدام شرائط النيكل والكروم لتسخين الجوارب كهربائياً (كوستانزو ، ١٩٣٦). كان التطور الرئيسي هو اكتشاف وتطوير البوليمرات الموصلة بواسطة Heeger و MacDiarmid و Shirakawa في عام ١٩٧٧ (.Shirakawa et al، 1977). فاز كل من Heeger وMacDiarmid و Shirakawa بجائزة نوبل في الكيمياء عام ٢٠٠٠ عن عملهم (NobelPrize.org، 2014). تقترح براءة اختراع للملابس المضيئة (Schwartz and Meyer، 1979) استخدام لوحة الدوائر المطبوعة و "الأسلاك الكهربائية" كموصلات. تصف براءة الاختراع (Courvoisier and Simon، 1987) عنصر تسخين للملابس حيث يكون عنصر التسخين عبارة عن سلك معدني مطلي، مثل النحاس ، مطلي بورنيش عازل.

يمكن تصنيف الألياف الموصلة كهربائيًا إلى فئتين عامتين، تلك الألياف الموصلة بشكل طبيعي وتلك التي يتم معالجتها بشكل خاص لتصبح موصلة. يتم تطوير الألياف الموصلة بشكل طبيعي أو الألياف المعدنية من معادن موصلة للكهرباء مثل السبائك الحديدية والنيكل والفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم والألمنيوم والنحاس(Ghahremani Honarvar & Latifi,

2016)وهي عبارة عن خيوط معدنية رفيعة للغاية ، تتراوح أقطارها من ١ إلى ٨٠ ميكرومتر (Ghahremani Honarvar & Latifi, 2016) تمتاز بمقاومتها الكهربائية المنخفضة للغاية. وفي المقابل نجد ان من عيوب الأسلاك المعدنية أنها تتمتع بمرونة وقوة منخفضة ويمكن أن تتكسر (Cherenack & van Pieterson, 2012).

يمكن لبعض الألياف والأنسجة المغلفة بالمعادن أن تتآكل وتتشقق بعد مرور الوقت(Buechley, 2007).

بالإضافة الى المواد المعدنية تم استكشاف أنواع اخرى من المواد لتصنيع المنسوجات عالية التوصيل: مثل المواد القائمة على البوليمر ، والمواد الكربونية ، (Kaushik et al., 2015)

تعتمد الفئة الأخرى من المنسوجات الموصلة على استخدام بوليمرات موصلة أو ، بشكل أكثر دقة ، بوليمرات عضوية موصلة داخلية (ICPs) (Elmogahzy, 2020) العديد من البوليمرات موصلة بطبيعتها. وتشمل هذه البولي أسيتيلين(PA) وبولي بيرول(PPy) وبوليانيلين(PANI). تتمثل ميزة استخدام البوليمرات الموصلة في المنسوجات الإلكترونية في أن المستشعرات تحافظ على النسيج الطبيعي للمادة.

يمكن أيضًا أن تكون المنسوجات الإلكترونية الموصلة قائمة على الكربون باستخدام أشكال مختلفة من الكربون بما في ذلك ألياف الكربون والأنابيب النانوية والجسيمات النانوية والجرافين. العديد من الأنابيب النانوية الكربونية تُظهر قدرة تحمل تيار كهربائي تتجاوز الموصلات الفائقة. كما أنها تعرض العديد من السمات بما في ذلك القوة الميكانيكية العالية والصلابة وخفة الوزن والاستقرار البيئي والتوصيل الحراري الفائق. (Elmogahzy, 2020)بالإضافة الى ذلك تتميز هذه الخيوط بموصلية عالية ،تشتهر بقدرتها على مقاومة التآكل(Tyler, 2013) ويوضح الشكل التالي بطارية ليثيوم أيون مائية جديدة على شكل ألياف(Zhang et al., 2016)

شكل (٦) بطارية ليثيوم أيون مائية جديدة على شكل ألياف ((Zhang et al., 2016)

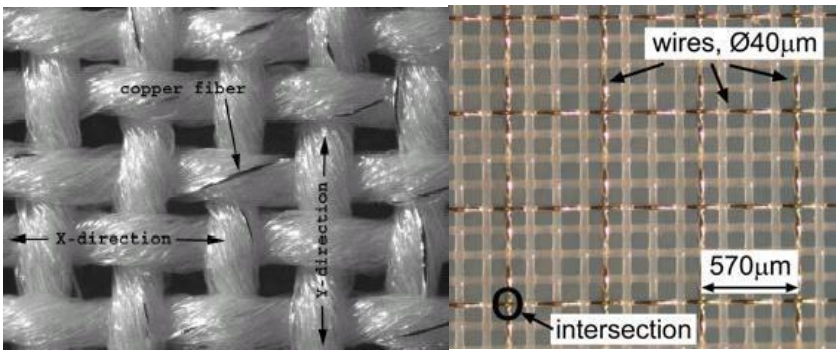
الأقمشة المنسوجة Woven Fabrics :

النسيج هو أحد أقدم تقنيات إنتاج الاقمشة، ويعود تاريخه إلى آلاف السنين (Eichhoff, Hehl, Jockenhoevel, & Gries, 2013).تكون الأقمشة المكونة من ألياف طبيعية أو صناعية عازلة كهربائياً ، وبالتالي تتطلب إضافات غير منسوجة لتصبح موصلة للكهرباء (Chan, Fawcett, & Poinern, 2016). وعلى مدى العقد الماضي ، ثبت أن طرق التصنيع التقليدية المستخدمة لإنتاج المنسوجات التقليدية يمكن استخدامها في إنتاج المنسوجات الإلكترونية أيضًا(Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2018). حيثُ يمكن الجمع بين تقنيات النسيج التقليدية مع جيل جديد من المواد لإنشاء أسطح قماش موصلة لتقنيات يمكن ارتدائها(Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020).عن طريق ادخال الخيوط الموصلة في بنية النسيج، حيث توفر خصائص كل تركيب نسجي (السادة ، الاطلس او المبرد) مبدأ ادخال الخيوط الموصلة في النسيج في كلا الاتجاهين السداء او اللحمة ،ويجب التأكد من أن النسيج الموصّل كهربائيًا مريح

للارتداء أو ناعم الملمس وليس متماسك وصلبً. ومع ذلك ، يمكن أن توفر التراكيب النسيجية المنسوج شبكة معقدة يمكن استخدامها كدوائر كهربائية متقنة مع العديد من المكونات الموصلة وغير الموصلة للكهرباء ، ويتم تنظيمها بحيث تحتوي على طبقات ومساحات متعددة لاستيعاب الأجهزة الإلكترونية(Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).

تؤكد معظم الدراسات السابقة ان النسيج الأكثر استخداماً لإنتاج التطبيقات موصلة ثابتة الأبعاد هو القماش المنسوج (Bonaldi, 2018). في معظم التطبيقات ، يتم استخدام الخيوط الموصلة في اللحمة ، حيث يمكن استبدال خيوط اللحمة بسهولة عند تصنيع منتج آخر على الجهاز(Eichhoff et al., 2013). وكذلك لا تعاني من احتكاك مسارات الالتواء مثل القراء وعيون النول(Bonaldi, 2018) .بشكل عام يمكن أيضاً وضع الخيوط الوظيفية في السداء ولكن هذه الطريقة اكثر تعقيداً وتكلفة بسبب تعرض خيوط السداء الى قدر متزايد من الاجهاد . مما قد يؤدي إلى إتلاف الطبقة الموصلة للكهرباء أو كسر الخيوط الموصلة، مما قد يتسبب في حدوث دوائر قصيرة في المنتج المنسوج.(Eichhoff et al., 2013, p. 206) كذلك يؤكد Elmogahzy (٢٠٢٠) يجب مراعاة نوع القماش وتركيبه النسيجي وخصائص النسيج عند تصميم المنسوجات التقنية.

و يمكن إنشاء الموصلية بأنواع خيوط مختلفة، فلقد أنتج الباحثون في قسم الإلكترونيات ومختبر الحوسبة القابلة للارتداء في معهد الالكترونيات ETH (The Institute For Electronics) في زيورخ نسيج عادي يتكون من خيوط بوليستر ملتوية بخيط نحاسي واحد. في البداية، بدأوا بتصميم قياسي (الشكل أ) ، ثم صمم الباحثون قماشًا هجينًا يسمى PETEX. وتتكون من خيوط البوليستر المنسوجة الأحادية (Petersen, Helmer, Pate, & Eichhoff, 2011; Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).



شكل (٨) اليمين التصميم القياسي لخيوط الغزل النحاسية الملتوية بألياف البوليستر اليسار PETEX(STOPPA & CHIOLERIO, 2014).

الاقمشة المحبوكة (التريكو)Knitted Structures :

تعتبر الاقمشة المحبوكة (التريكو) الطريقة الأكثر شيوعًا لتصنيع المنسوجات بعد الاقمشة المنسوجة، ولكن تختلف خصائص الاقمشة المحبوكة (التريكو)تمامًا عن الأقمشة المنسوجة(Eichhoff et al., 2013, p. 208) . كما تنتج تقنية التريكو نسيجًا من خلال الحلقات المتشابكة. تتحرك هذه الحلقات بالنسبة لبعضها البعض، مما يتسبب في تغيرات في الأبعاد وتتيح للقماش التمدد. لذلك نجد ان مرونة التريكو لها مزايا أو عيوبا للتطبيقات الإلكترونية. (Bonaldi, 2018) لذلك عندما تكون المرونة مطلوبة، سيكون تركيب النسيج المحبوك (التريكو) خيارًا، وعندما تكون صلابة النسيج مطلوبة، ستكون الأقمشة المنسوجة خيارًا أفضل (Ismar, Tao, et al., 2020). قد تكون المرونة مفيدة للتطبيقات مثل المفاتيح، وأجهزة الاستشعار المقاومة للضغط، أو عند الحاجة إلى الاتصال الوثيق بين الجلد والنسيج، مثل مستشعرات مراقبة الصحة

(Bonaldi, 2018). وفي الشكل التالي توضح تداخل الخيوط الموصلة في كلا الاتجاهين السداء واللحمة.(Linz, Gourmelon, & Langereis, 2007)

الأقمشة الغير منسوجة Non-Woven Fabrics :

يُعتقد أن الأقمشة المنسوجة أو المحبوكة أكثر فاعلية من الأقمشة غير المنسوجة نظرًا لحقيقة أن الاثنين الأولين لهما خصائص ميكانيكية أفضل. لا تمتلك الأقمشة غير المنسوجة عمومًا القوة وثبات الأبعاد المطلوبين للدوائر الكهربائية المتينة والثابتة. عادة ما يكون هذا النوع من القماش خفيف الوزن ويتكون من ألياف قصيرة موزعة عشوائيًا على السطح، ثم يتم ربطها ببعضها البعض بواسطة عمليات ميكانيكية أو كيميائية أو حرارية. لا توجد عادة استمرارية للغزل على طول الأقمشة ولا مرونة على الإطلاق؛ لذلك قد يكون من الصعب إنتاج مسارات موصلة أو أجهزة استشعار أو أجهزة إلكترونية محددة باستخدام ألياف موصلة(Bonaldi, 2018, p. 266). وقد أشارElmogahzy (٢٠٢٠) عند استخدام الأقمشة غير المنسوجة، يجب مراعاة المعلمات الرئيسية مثل السماكة وكثافة الألياف وطريقة الترابط في تصميم المنسوجات التقنية.

التطريزEmbroidery :

التطريز هو أسلوب لتزيين النسيج حيث يتم ربط الخيوط على سطح القماش. ويمكن أن يكون التطريز يدويًا أو رقميًا. ومن بين ميزات آلات التطريز أنها يمكن أن تبتكر نقوشًا عشوائية تقريبًا على الأقمشة المنسوجة وغير المنسوجة والمحبوكة. وتتطلب آلات التطريز إعدادًا أقل للماكينة مقارنةً بنول النسيج. ويمكن للمرء أن يستخدم آلة التطريز لإنشاء لوحات الدوائر المطبوعة على القماش. (Hamdan, Voelker, & Borchers, 2018) . وهذا يجعل من استخدام تقنية التطريز إمكانية أخرى لتحقيق نسيج موصل. في عام ٢٠٠٠ ، كانت أبحاث معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في مختبر وسائل الإعلام أول من اقترح طريقة لخياطة الأنماط التي يمكن أن تحدد آثار الدوائر ، أو منصات توصيل المكونات ، أو أسطح الاستشعار المصممة بأدوات CAD التقليدية لتخطيط الدائرة وهي عبارة عن سترة موسيقية تتكون من لوحة مفاتيح من القماش على جانب واحد ، ومركب MIDI على الجانب الآخر ، ومكبرات صوت خلف شبكات مكبرات الصوت في الجيوب (Post, Orth, Russo, & Gershenfeld, 2000).

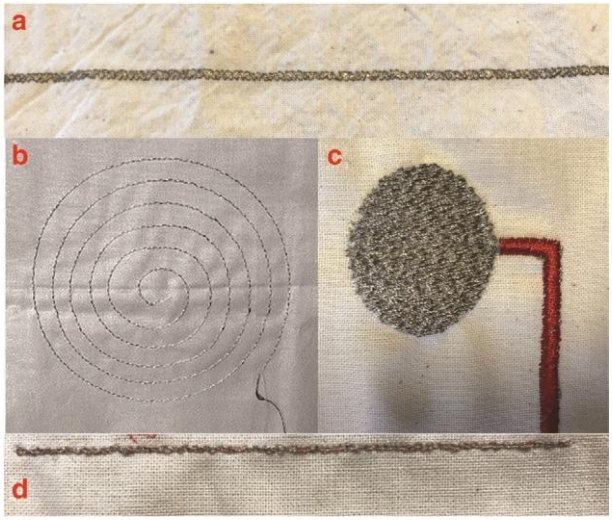
(ب) (أ)

شكل (١٠) سترة موسيقية(Post et al., 2000).

كما يعد التطريز أحد أكثر التقنيات استخدامًا في مجال المنسوجات الذكية ويقدم رصيدا كبيرا في تطوير الإلكترونيات المرنة والقابلة للارتداء (Mecnika, Hoerr, Krievins, Jockenhoevel, & Gries, 2014a, p. 57).

من جهة أخرى نجد انه كانت الخطوات الأولى في تصنيع الدوائر النسيجية هي تحديد المنسوجات والخيوط المناسبة للاستخدام في دوائر النسيج، ثم إيجاد طريقة لتصميم هذه الدوائر وتصنيعها. ونظرًا لأن العمل بالقطعة يستغرق وقتًا طويلاً ويعطي نتائج غير دقيقة، فإن الطريقة الأساسية لخلق نموذج الدوائر هي **التطريز الإلكتروني**، أي التطريز المتحكم فيه رقميًا باستخدام الخيوط الموصلة. ونستخدم التطريز الإلكتروني لغرز الأنماط التي تحدد آثار الدوائر أو وسادات توصيل المكونات أو الأسطح المستشعرة. وباستخدام عمليات التطريز التجارية اعتمدنا على أساسيات فن صناعة النسيج التي تسمح بالتحكم الدقيق في تصميم وتخطيط ونمط غرزة الدوائر من خلال عمليات (CAD) التصميم بمساعدة الحاسوب. (Post et al., 2000, p. 851)

وفي المقابل نجد العديد من الأبحاث والدراسات الحديثة قامت بصنع الهوائيات باستخدام التطريز الالي والشكل التالي يوضح:



شكل (١١) التطريز الالي

أ) خيوط فضية مطرزة على القماش.

ب) خيوط مطرزة من الفولاذ المقاوم للصدأ كهوائي.

ج) قطب كهربائي مطرز لقياسات تخطيط القلب.

د- خيوط نحاسية مطرزة. (Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020) نقلاً عن (Catrysse et al., 2004)

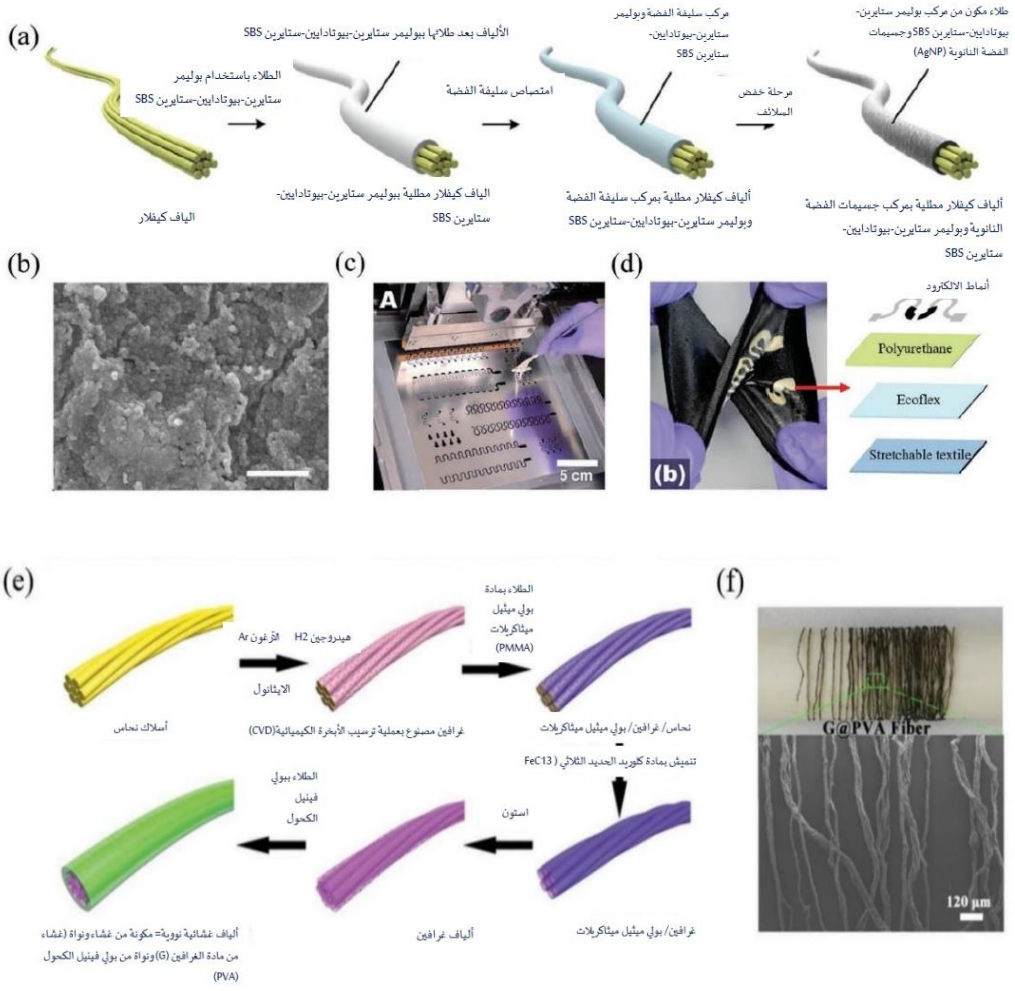
الطلاء (الصباغة) والطباعة Coating and Printing:

لتكوين طبقة موصلة كهربيًا على سطح الألياف أو الخيوط أو النسيج هي طريقة وظيفية كهربائية قابلة للتطوير دون فقد الكثير من المرونة للألياف / النسيج. (Shi et al., 2020) حيث يوفر طلاء الألياف أو الخيوط بمواد موصلة للكهرباء ميزة في توفير طريق لتحويل مواد النسيج المصنعة بالفعل إلى منسوجات إلكترونية موصلة للكهرباء. وهذا يلغي الحاجة إلى إضافة وظائف كهربائية أثناء تصنيع الألياف(Chatterjee, Tabor, & Ghosh, 2019) .وتنتج موصلية جيدة دون تغيير كبير في خصائص الطبقة الفرعية الموجودة مثل الكثافة والمرونة والملمس(Ghahremani Honarvar & Latifi, 2016)، وتعتبر عملية الطباعة ابسط من عملية غزل الخيوط الموصلة بالقماش(Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).

يمكن إنتاج المنسوجات الإلكترونية التفاعلية باستخدام أحبار موصلة. يجب أن تحتوي الأحبار الموصلة على سلائف معدنية مناسبة عالية التوصيل مثل Ag و Cu و Au NPs ومركبة حاملة (Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).كذلك يمكن تحقيق الموصلية الكهربائية على مستوى الالياف باستخدام إما بوليمرات موصلة (ICPs) في تكوين الألياف أو عن طريق طلاء الألياف التقليدية بمواد موصلة (Pang et al., 2012).

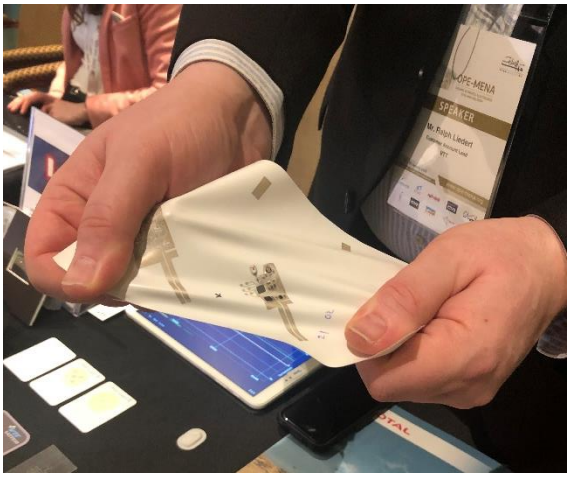
هناك العديد من التقنيات التي يمكنها طباعة المواد الموصلة على أسطح مختلفة. تعد طابعة نفث الحبر وطباعة الشاشة المستندة إلى الورق هي الأفضل للعمل منخفض الحجم وعالي الدقة وتتمثل ميزة الطلاء في أنها مناسبة للعديد من أنواع الألياف وتنتج موصلية جيدة دون تغيير كبير في الخصائص الرئيسية الحالية مثل الكثافة والمرونة. (Matteo Stoppa & Chiolerio, 2014).وكذلك يؤدي السطح الخشن للألياف والمنسوجات إلى ضعف التصاق السطح بين المكونات الكهربائية وسطح الألياف / النسيج(Shi et al., 2020).

ومن هذا المبدأ يؤكد Ghahremani Honarvar and Latifi (٢٠١٦) على ضرورة طلاء طبقة عازلة واقية غير موصلة على الأسطح من أجل ضمان عمر اطول وفاعلية للطبعات الموصلة وحمايتها من ماس كهربائي ودائرة ميكانيكية. يوضح الشكل التالي طرق تحضير الألياف الإلكترونية والمنسوجات الإلكترونية عن طريق الطلاء والطباعة Shi et al., (2020) :



شكل (١٢) تحضير الألياف الإلكترونية / المنسوجات الإلكترونية عن طريق الطلاء والطباعة (SHI ET AL., 2020)

مع تنوع أساليب الطباعة وظهور الطباعة الإلكترونية والعضوية وهي عبارة عن بوليمرات وأحبار موصلة يمكن طباعتها، وفيما يخص استخدامها في الملابس يذكر Ralph Liedert في مؤتمر الطباعة الإلكترونية والعضوية الأول في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (OPE-MENA, 2019) بأنه يتم طباعة الالكترونيات على البلاستيك ومن ثم يتم لصقها او بالكي يمكن لصقها على القماش ولكن لا يمكن التأكد من قدرة الالكترونيات الاحتفاظ بخصائصها بعد الغسيل الإ بأجراء الاختبارات مع معرفة نوع الغسيل المستخدم جاف ام رطب.



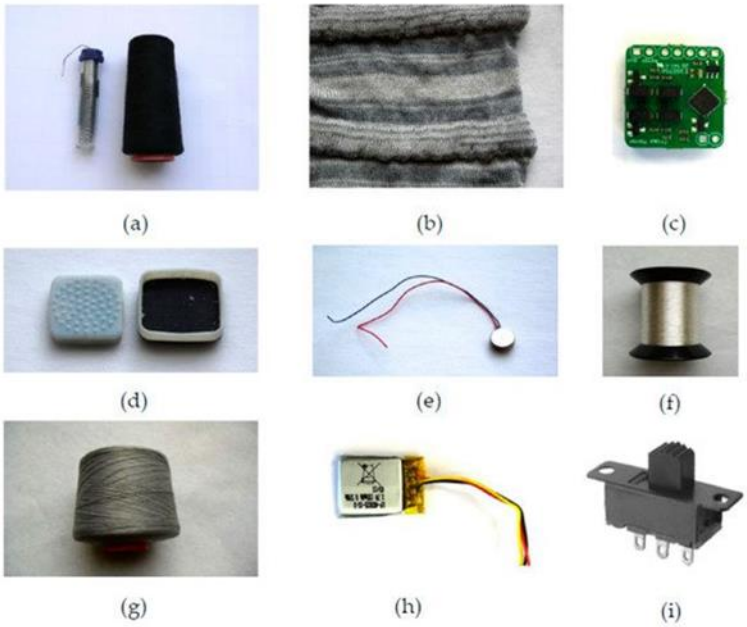
شكل (١٣) منصة استشعار لاسلكية شركة VTT

مكونات النسيج الإلكتروني:

لن تكون المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء ممكنة بدون المكونات الكهربائية ، مثل الأقطاب الكهربائية والموصلات الداخلية.(Gonçalves et al., 2018) كذلك، أجهزة الاستشعار والمشغلات ومعالجة البيانات ومصدر للطاقة وواجهة اتصال. ويجب أن تكون مريحة ودائمة وموثوقة وقابلة للغسل لتحمل صيانة الملابس. بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن يكون مصدر الطاقة مرنًا وخفيف الوزن وقابل للتجديد الذاتي (Bonaldi, 2018).

ويمكن تقسيم المكونات الإلكترونية إلى مكونات نشطة أو سلبية، يكون المكون السلبي قادرًا القيام بوظيفته في استهلاك او تخزين الطاقة عمل بدون مصدر طاقة خارجي مثل المقاومات والمكثفات والملفات الحثية ، بينما تتطلب المكونات النشطة مصدر طاقة للعمل والقيام في تكبير الإشارات الكهربائية والسماح بمرورها، مثل الترانزستورات والدوائر المتكاملة ومصابيح LED وما إلى ذلك، يمكن أن تكون **المستشعرات** نشطة أو سلبية(Bonaldi, 2018).

يوضح الشكل التالي بعض الأمثلة على تقنيات التوصيل المستخدمة في دوائر النسيج الالكتروني ومحولات الطاقة.(Gonçalves et al., 2018)



شكل (١٤) المنسوجات والمواد الإلكترونية المستخدمة في المنسوجات الإلكترونية(GONÇALVES, FERREIRA DA SILVA, GOMES, & SIMOES, 2018)

يوضح الشكل السابق المنسوجات والمواد الإلكترونية المستخدمة في المنسوجات الإلكترونية.

(أ) خيوط اللحام والبوليستر المستخدمة في المنسوجات الإلكترونية

(ب) مكثف النسيج الإلكتروني

(ج) لوحة الدوائر المطبوعة (PCB) للمنسوجات الإلكترونية

(د) غلاف الغلاف للمنسوجات الإلكترونية

(هـ) محرك الاهتزاز

(و) الأسلاك الموصلة للنسيج إليكتريسولا

(ز) خيط موصل Bekintex

(ح) بطارية ليثيوم أيون المستخدمة لتشغيل المنسوجات الإلكترونية

(ط) مفتاح التمرير المستخدم لتشغيل / إيقاف تشغيل المنسوجات الإلكترونية (Gonçalves et al., 2018)

بشكل عام، تتكون المنسوجات الإلكترونية من المكونات التالية:

- مجسات لاكتشاف العوامل البيئية والجسمية.
- وحدة معالجة البيانات لجمع ومعالجة البيانات التي تم الحصول عليها.
- مصدر للطاقة.
- التوصيلات البينية لكل من الطاقة والإشارة.
- جهاز اتصال يقوم بإنشاء ارتباط اتصال لاسلكي بمحطة أساسية قريبة.(M Stoppa & Chiolerio, 2016)

1. الترانزستور Transistor

يعد من الأجهزة الالكترونية الدقيقة الأكثر شيوعاً المستخدمة في مجال الالكترونيات والتي تصنع من مواد شبة موصلة(Bonaldi, 2018) ويُعرف الترانزستور بانه الجهاز الإلكتروني الذي يمكنه تضخيم وتكبير الإشارة الإلكترونية والكهربائية. نظرًا لأن الترانزستورات هي مكونات أساسية في الأجهزة الإلكترونية ، فإن تكامل الترانزستورات في أنظمة النسيج أو النسيج مهم للغاية.(Kaushik et al., 2015)

2. مزود الطاقةPower supply

يوفر مصدر الطاقة الجهد المطلوب لتشغيل الأنظمة الإلكترونية. أكثر أنواع مصادر الطاقة شيوعًا هي البطارية. تشمل مصادر الطاقة الأخرى الخلايا الكهروضوئية وخلايا الوقود والكهرباء الحرارية والكهرباء الانضغاطية. بدلاً من البطاريات، يمكن الحصول على الطاقة من البيئة على شكل حرارة وضوء وحركة. يمكن الحصول على الطاقة من الحركة بواسطة المواد الكهرضغطية، أو عن طريق الحث الكهرومغناطيسي (EM). (Bonaldi, 2018)

3. الدوائر النسيجية Textile Circuitry

الدوائر النسيجية هي دوائر كهربائية مبنية على ركائز النسيج ويمكن بنائها عن طريق خيوط الفضة و الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم والذهب والقصدير المستخدمة في تقنية التطريز او باستخدام تقنية طباعة الاحبار الموصلة التي تعتمد على الجرافين بمجرد توصيل الدائرة بالنسيج يمكن لحامها مثل لوحة الدوائر المطبوعة التقليدية .(Gonçalves et al., 2018) عادةً ما يتم تصميم الدوائر النسيجية بحيث يكون لها معدل استهلاك منخفض للطاقة ومقاومة عالية للمدخلات ، وهو عكس المتطلبات التقليدية المتمثلة في المعاوقة المنخفضة للتوصيلات البينية للمكونات(Elnashar, 2018)

4. تقنيات الاتصالات والشبكات Communication and network technologies

يجب توصيل الأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء معًا على الثوب حتى يتم ربط المعلومات لمرتديها والبيئة الخارجية. يمكن تحقيق هذا الاتصال عبر أنظمة سلكية أو لاسلكية. تستقبل الاتصالات قصيرة المدى، والتي تسمى أيضًا شبكات الاتصالات الشخصية (PCN) أو شبكة منطقة الجسم (BAN)، المعلومات المقدمة من المستشعرات، وتخزينها وإعدادها ليتم إرسالها بواسطة Wireless Fidelity (WiFi) ، والتشغيل البيني العالمي للوصول إلى الموجات الدقيقة (WiMax) وتحديد تردد الراديو (RFID) والأشعة تحت الحمراء والبلوتوث. يمكن أيضًا استخدام الهوائيات للاتصالات اللاسلكية للمسافات المتوسطة والقصيرة. الاتصال طويل المدى هو اتصال لاسلكي بما في ذلك شبكات المنطقة الواسعة (WAN).(Bonaldi, 2018)

5. مجسمات Sensors

تقوم المجسمات بتحويل متغير مادي إلى إشارة كهربائية. أجهزة الاستشعار قادرة على اكتشاف المعلومات الحرارية والبصرية والكيميائية والميكانيكية والكهرومغناطيسية وترجمتها إلى إشارات كهربائية بشكل رئيسي من خلال الاختلافات في المقاومة الكهربائية *والسعة ولتأحريض*. المستشعرات التي تعتمد على التغيرات في المقاومة الكهربائية هي الأكثر شيوعًا ، مثل المستشعرات المقاومة للضغط. المستشعرات المقاومة للضغط هي مستشعرات نشطة تعمل على تغيير المقاومة كاستجابة للإجهاد ، وتتطلب مصدر طاقة وتيارًا كهربائيًا لتعمل. يتم الحصول على التغيير المقاوم من خلال التغييرات

الجسدية مثل التمدد والانحناء والضغط والتشوه والاحتكاك.(Bonaldi, 2018) و قد تكون أجهزة الإدخال التي تعتمد على اللمس أو الضغط مواتية في الأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء بسبب تشغيلها البسيط والبديهي. علاوة على ذلك ، يمكن أن يوسع استشعار اللمس وفرق الضغط تطبيقاتها من تكنولوجيا المعلومات التقليدية إلى الإلكترونيات الطبية / الحيوية ومجالات إنترنت الأشياء. على غرار مستشعرات الإجهاد القائمة على الألياف. وأثبتت بنجاح تحقيق أجهزة الاستشعار القائمة على الألياف وتكاملها على منصة النسيج. من المرغوب فيه الآن أيضًا إظهار المستشعرات ذات المستوى التجاري وعلى نطاق واسع من الألياف أو المستشعرات القائمة على النسيج ، ودمجها الناجح في الإلكترونيات القابلة للارتداء.(Heo, Eom, Kim, & Park, 2017)

1. المحركاتActuators

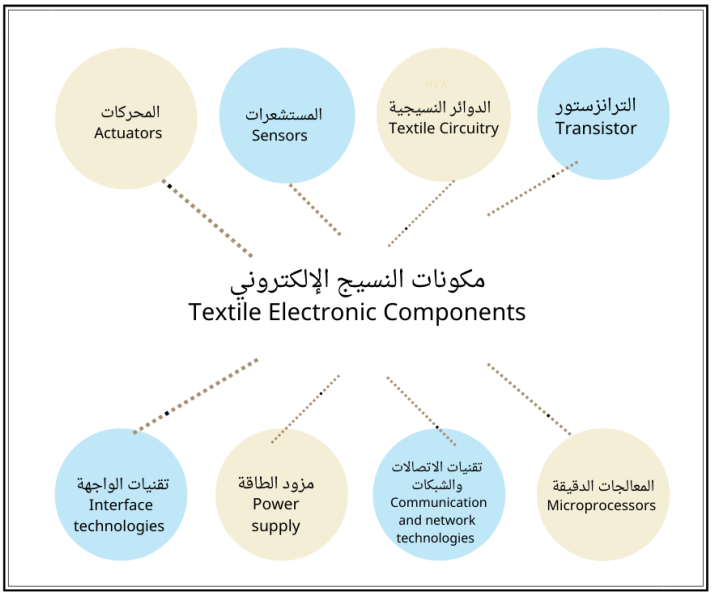
تقوم المحركات بتحويل الطاقة الكهربائية إلى مظاهر فيزيائية. تكون المحركات نشطة دائمًا وتتضمن مواد نشطة كهربيًا تولد أنواعًا مختلفة من المخرجات استجابةً لمجال كهربائي وتيار ، مثل الصوت ودرجة الحرارة والحركة والضوء(Bonaldi, 2018). ويمكن استخدام المحركات في التدفئة ،التبريد ،عازلة، التهويه، والتحكم في الرطوبة(Van Langenhove, 2013).

2. المعالجات الدقيقة Microprocessors

عادةً ما يقوم المعالج الدقيق بمعالجة البيانات وتخزينها وتوصيلها. يمكن أن يعمل متحكم دقيق في شكل رقمي أو تناظري. تشمل معالجة البيانات استخدام البرامج والأجهزة. . البرمجيات هي التعليمات المنطقية والعمليات المسؤولة عن تحليل الإشارات وتنظيمها وتفسيرها ومعالجتها وتوصيلها باستخدام خوارزميات مطورة خصيصًا. الأجهزة هي جميع الأجزاء أو المكونات المادية للنظام ، بما في ذلك الذاكرة والواجهات والدوائر المتكاملة.(Bonaldi, 2018)

3. تقنيات الواجهة Interface technologies

تُستخدم أجهزة الواجهة لنقل المعلومات بين الأجهزة ومن يرتديها وكذلك بين مرتديها والبيئة. يمكن استخدام أجهزة الواجهة لمعلومات الإدخال أو الإخراج باستخدام أجهزة الاستشعار والمحركات. تتضمن أجهزة إدخال المعلومات الأزرار ولوحات المفاتيح والتعرف على الصوت ولوحات الكتابة. تُستخدم واجهة الإخراج لتقديم المعلومات إلى مرتديها ، مثل واجهات الاهتزاز، والواجهات الصوتية ، والتوليف الصوتي ، والواجهة المرئية(Bonaldi, 2018)



شكل رقم (١٥) مكونات النسيج الإلكتروني

يجب أن تكون منتجات المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء مستقرة بما يكفي تجاه الظروف البيئية وأن تتمتع بمتانة كافية ضد القوى الميكانيكية التي يتم تطبيقها من قبل مرتديها و / أو أثناء تصنيعها .من هذا المنظور، يتم إجراء الفحوصات الفيزيائية والكيميائية لمنتجات المنسوجات الإلكترونية بالمثل لطرق توصيف المنسوجات التقليدية .ومع ذلك ، ينبغي دراسة أهم ميزة للمنسوجات الإلكترونية ، وهي الخصائص الكهربائية ، بشكل مكثف لهذه المجموعة الجديدة من المنتجات(Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020, p. 7).

تتطلب المكونات الإلكترونية المكونة من المنسوجات الموصلة للكهرباء وصفًا واضحًا للخصائص، مثل المقاومة الكهربائية، لتمكين تصميم وتصنيع أجهزة نسيج إلكترونية آمنة وموثوقة كما يمكن أن يمثل ثبات الأبعاد المنخفض لبعض الأقمشة ذات النشاط الكهربي تحديات في التوصيف الإلكتروني (Petersen et al., 2011, p. 1) يُعد توصيف المقاومة السطحية أحد الخصائص الكهربائية الهامة للمنتجات الإلكترونية القائمة على المنسوجات ويتعلق باتصال جهاز القياس وعينة النسيج ، أو تفاعلات التأثيرات البيئية (Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020, p. 7).فعندما تتم مقارنة تركيبة النسيج مع الألواح البلاستيكية ، فإن لها عيوبًا من حيث طبيعتها فهي سهلة التجعد وليست كثيفة مثل الألواح البلاستيكية للطباعة عليها. عند استخدام لوحة الدوائر المطبوعة الإلكترونية على الركيزة النسيجية ، فإن المعلمة الرئيسية التي تؤثر على المقاومة الكهربائية والاستقرار الكهربائي للفيلم أو الأسلاك أو الوصلات الكهربائية هي خشونة سطح النسيج ، بالنسبة لهوائيات النسيج الإلكتروني، تكون المقاومة الكهربائية المنخفضة والمستقرة مطلوبة، ويجب أن تكون مقاومة السطح متجانسة ويجب أن يتمتع النسيج بالمرونة ضد الانحناء و / أو التشوه (Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020, p. 8).

التحديات المستقبلية للمنسوجات الالكترونية:

1. الموثوقية:

تُعبر الموثوقية في الملابس الذكية عن قدرة المنتج على أداء الوظيفية المطلوبة في الظروف العادية للاستخدام لفترة زمنية معينة. وبلا شك تجلب الأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء تحديات جديدة للانضمام إلى التقنيات، حيث يجب أن تدعم التوصيلات الكهربائية وظائف المنتج بشكل كامل، وفي نفس الوقت توفر الراحة للمستخدم .يجب أن تتمتع الوصلات بالمتانة المتوقعة من المواد النسيجية : القدرة على تحمل المرونة المتكررة في التآكل وقسوة الغسيل (Tyler, 2013, p. 507).لذلك نجد ان الشاغل الأساسي الثاني للإلكترونيات في المنسوجات هو موثوقية الإلكترونيات وموصلات النسيج ووصلات النسيج أثناء الغسيل واللف والشد والارتداء وما إلى ذلك، حيث تعتمد متطلبات الموثوقية على التطبيق بشدة. وتعد المنسوجات التقنية متعددة الاستخدامات حالة خاصة بحيث يصعب التعميم، لذلك يجب إجراء تحليل تطبيقي محدد للمتطلبات المختلفة.(Linz et al., 2007) وتتمثل هذه التحديات فيما يلي:

أ- **الغسيل:**

يعد تنظيف مستشعرات النسيج أمرًا معقدًا بسبب تركيبة المواد، بما في ذلك تركيب الشعيرات، والإلكترونيات، والبوليمرات، وغيرها. قد يؤدي فشل أحد المكونات إلى فشل المنتج، وبالتالي يجب أن يكون التنظيف مناسبًا للملابس ككل، ويخضع اختيار حجم الماء ودرجة حرارة الغسيل والمدة وسرعة الدوران والمنظفات. حسب نوع الألياف ونوع القماش، (Wilson & Laing, 2019).

ب- الرطوبة:

قد تؤثر التغيرات المناخية ، وخاصة تغيير الرطوبة النسبية ، على أداء هوائي النسيج مثلاً لذلك يجب أن يؤخذ هذا التأثير في الاعتبار عند اختيار المواد النسيجية التي يتكون منها الهوائي(Hertleer, Van Laere, Rogier, & Van Langenhove, 2010).

ت- **الراحة:**

تتعلق "الراحة الحسية أو الفسيولوجية العصبية" بكيفية شعور المستهلكين عند ملامسة الملابس للجلد. بينما ترتبط "راحة حركة الجسم" بقدرة الملابس على السماح بحرية الحركة وتقليل العبء ودعم الجسم(Cho, Lee, & Cho, 2009). مسامية النسيج الإلكتروني لها دور مهم في الشعور بالراحة. لا يزال البحث مستمرًا لضمان حلول لمنتجات النسيج الإلكترونية طويلة العمر والتي يمكن الاعتماد عليها بما يكفي لمن يرتديها من حيث الأداء ، ومقاومة للعوامل الميكانيكية والكيميائية مع توفير الراحة والمرونة.(Ismar, Kurşun Bahadir, et al., 2020, p. 9)

ث- المرونة والصلابة:

تقلل المعالجات الموصلة للكهرباء من مرونة الأقمشة بسبب الالتصاق بين الألياف والخيوط الناتجة عن زيادة القطر و / أو ملء الفراغات البينية. قد يكون بعض الانخفاض في المرونة مقبولًا للملابس الخارجية ، ولكن أقل من ذلك بالنسبة للملابس التي تلامس الجلد(Wilson & Laing, 2019).

ج- الطاقة:

مصادر الطاقة لا تزال تمثل المشكلة الأكبر في معظم تطبيقات الملابس الذكية. ولكن أدت التطورات في المكونات الالكترونية والحوسبية منخفضة الطاقة إلى تحسين ذلك الوضع. أيضاً بالنسبة للملابس الذكية التى تحتوي على اجهزة استشعار هناك العديد من المقارنات بين المستشعرات السلكية واللاسلكية من حيث الحجم والصلابة، وصعوبات التصنيع، وصعوبات الصيانة والشحن، وموثوقية الاتصالات بين المكونات. كما تعتبر الأساليب الجديدة لمصادر مثل الطاقة الشمسية والطاقة الحركية مثيرة للاهتمام، ولكنها لم تنتج بعد طاقة كافية لمعظم التطبيقات المستخدمة فى الملابس الذكية (Dunne, 2010)

ح- **التآكل:**

يمكن أن يؤدي التآكل إلى إتلاف الأقمشة عن طريق الاهتزاز، وقطع الخيوط، والثقب، والمظهر غير المقبول (على سبيل المثال، التشويش والتكوير)، وتقليل القوة بشكل عام. يمكن أن يكون الضرر الذي يلحق بالأقمشة التي تعمل بالمواد الموصلة للكهرباء بسبب خدش المعالجة او إزالتها أو التآكل أو التشقق ونتيجة لذلك يقل التوصيل الكهربائي(Wilson & Laing, 2019).

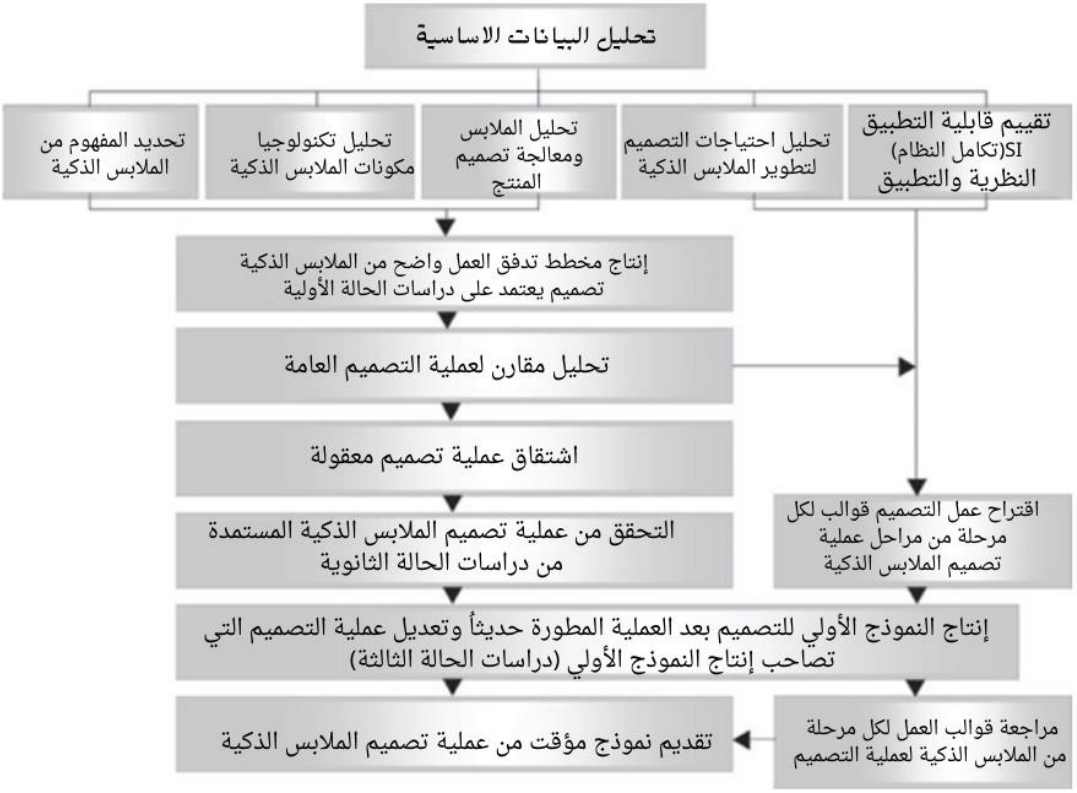
2- السلامة:

يتطلب توفير ملابس ذكية آمنة النظر في الأشكال المادية والموجات الكهرومغناطيسية والكهرباء وما إلى ذلك قبل إنتاج الملابس الذكية بكميات كبيرة، وتتعلق السلامة بالحماية من الأذى الجسدي أو الاجتماعي أو النفسي أو أنواع أخرى من الأذى. فقد يتراكم الفشل المادي للملابس الذكية، مثل ارتفاع درجة الحرارة أو الصدمة الكهربائية ، بسبب خطأ وظيفي ؛ وبالتالي يجب وضع مؤشر قياسي لكل من الشركات المصنعة والمستهلكين.(Cho et al., 2009) كما أن الأنظمة القابلة للارتداء يجب صيانتها باستمرار من خلال الغسيل والتجفيف المتكرر ، ويجب أن تظل سلامة المنتج قائمة أثناء عملية الصيانة المستمرة هذه(Elmogahzy, 2020)

3- التصميم:

نظرًا لأن الملابس الذكية بشكل عام تتطلب مزيجًا من العديد من الميزات المختلفة مثل الكفاءة الإلكترونية والسلامة الكهربائية والراحة البدنية وجماليات الملابس، يجب على المصممين مراعاة العوامل المتعددة الأوجه في تصميمهم ومن أجل التصميم الناجح من الضروري تعديل عملية تصميم الملابس التقليدية لتشمل بعض الخطوات المناسبة للإنشاء متعدد التخصصات(Cho, 2010).

كما انها تختلف كمنتج مصنوع من خلال دمج الأجهزة الرقمية مع الملابس عن الملابس التقليدية في مكوناتها، وبالتالي فهي تتطلب اعتماد عملية تطوير منتجات تكنولوجيا المعلومات (IT) لتصميمها. وفقًا لهذا الافتراض ، طورت Lee (2006) ملابس ذكية بعد تنظيم نموذج تصميم مبدئي للملابس الذكية واختبار كفاءة هذا النموذج ، وتطبيق النظريات العامة لعملية التصميم على تجربتها الخاصة في دراسات الحالة (Cho, 2010b).



شكل (١٦) مخطط تدفق تطوير نموذج عملية تصميم الملابس الذكية (Cho, 2010b)

ومن زاوية أخرى يعتبر النظر إلى العلاقة بين الجسم والملابس الذكية أو التكنولوجيا القابلة للارتداء جزءًا أَسَاسِيًّا من عملية التصميم، ليس فقط فيما يتعلق بالملابس ولكن أيضًا كيف تؤثر الملابس على قدرة الجسم على العمل لذلك يجب أن تضيف إلى وظائف جسم الإنسان لا تقلله من خلال التصميم السيئ أو الغير مدروس.(McCann & Bryson, 2009).

في هذه المرحلة التكنولوجية الجديدة ينبغي ان لا تفصل الموضة عن الجماليات. يجب أن يهتم المنتج العصري والعملي بالمسائل الجمالية، ليصبح جزءًا من هوية المستخدم الجسدية والنفسية والعاطفية. ، كما يجب أن يُنظر إلى مصمم الأزياء على أنه عنصر يجب دمجه في فريق البحث والتطوير ، جنبًا إلى جنب مع تقنيي النسيج ومهندسي الملابس ومتخصصي الإلكترونيات وخبراء الاتصالات الرقمية وعلماء الكمبيوتر ؛ ويجب أن تكون قادرة على التواصل مع الجميع ، وإتقان المعجم والخصائص التقنية الشاملة(Oliveira & Cunha, 2018).

4- سوق الملابس الالكترونية:

على الرغم من أن مجال النسيج الإلكتروني قد يبدو مثيرًا، إلا أن نمو السوق يعوقه العديد من المعوقات. في الواقع، أحد الأسباب الرئيسية التي تجعل هذا السوق غير قابل للتنبؤ تمامًا ينبع من حقيقة أنه يسكنه إلى حد كبير شركات صغيرة أو بدأ في فروع جامعية. بالإضافة إلى ذلك، سيثبت الوقت فقط ما إذا كانت المواد مثل الموصلات القائمة على البوليمر مستدامة من حيث كفاءتها وأدائها بمرور الوقت وأكثر جدية في تأثيرها على البيئة عند التخلص منها. كما يمكن أن يكون السعر عقبة رئيسية أمام النمو الذي يجب أن يعتمد على تبرير الاستثمار الرأسمالي الكبير وتكلفة البحث والتطوير للمنسوجات الإلكترونية(Elmogahzy, 2020). وتظل عملية تصنيع الملابس الذكية عملية معقدة للغاية تنطوي على صناعات غير معتادة على التعاون وغير مألوفة مع مواد وعمليات الآخرين. صناعة الملابس مقاومة للتغيير بشكل تقليدي، مما يزيد

المشكلة تعقيدًا (Dunne, 2010). وكذلك لابد من الاخذ في الاعتبار عملية التخزين فمن الصعب تقدير التغيرات في الخواص الكهربائية بمرور الوقت وتعتمد على ظروف التخزين فمثلاً يمكن أن يؤدي التعليق إلى تغيرات في الأبعاد بسبب تأثيرات كتلة النسيج، وهي نموذجية للأقمشة المحبوكة، لذا فإن التخزين المسطح أمر مرغوب فيه. يجب أيضًا تجنب أقمشة الطبقات لمنع أي تأثير للضغط.(Wilson & Laing, 2019). يجب تصنيع الملابس الذكية بطريقة تحافظ على وظيفتها وتوفر مستوى مقبولًا من المتانة والراحة، مع تقليل تكاليف التصنيع(Dunne, 2010). قد تكون هذه بعض الأسباب التي تجعلنا نرى منتجات قليلة متاحه في الأسواق.

5- الامن السيبراني وخصوصية البيانات:

مجموعة متنوعة من أجهزة الاستشعار التي تم دمجها في الأجهزة القابلة للارتداء، والتي تم تلخيصها بفرصة مستمرة لجمع البيانات، تزيد من احتمال انتهاك الخصوصية. نظرًا لأن مشهد أجهزة الكمبيوتر القابلة للارتداء لا يزال قيد التطوير، فإن معظم العواقب والمخاطر على خصوصية المستخدمين والبيانات لا تزال غير واضحة وغير معروفة. ومثل هذا القلق مهم بشكل خاص عندما يتعلق الأمر بالبيانات الحساسة والسكان المعرضين للخطر وهناك خطر انتهاك الخصوصية ، وإساءة استخدام البيانات ، والاستغلال .وتبرز الخصوصية كواحدة من أهم العوامل التي تؤثر على اكتساب المستخدم وتبني الأجهزة القابلة للارتداء المتاحة تجاريًا(Motti, 2020a).

6- الاستدامة:

أن الإلكترونيات هي منتجات تستمر في التطور، وأحيانًا بوتيرة سريعة جدًا. هذا يعني أن النسيج الإلكتروني يمكن أن يصبح قديمًا بسرعة. يجب دائمًا مراعاة هذا التحدي في تطوير المنسوجات الإلكترونية ليس فقط من وجهة نظر القيمة السوقية ولكن أيضًا، وربما الأكثر جدية، من وجهة نظر الاستدامة(Elmogahzy, 2020)(Elmogahzy, 2020). وهنا لابد من بيان ان استدامة المنسوجات والملابس الالكترونية من القضايا التي تثير القلق بشكل كبير، التأكد من استخدام الأجهزة بشكل مستمر على المدى الطويل ، إلى جانب إمكانية إعادة استخدامها بعد ذلك ، وعدم التخلص منها ، أو التخلص منها في نهاية المطاف بطريقة صديقة للبيئة(Motti, 2020a).

وقد قام الباحثين بتلخيص اهم التحديات التي تواجهه المنسوجات والملابس الالكترونية في الشكل التالي:

شكل (١٧) التحديات المستقبلية التي تواجه الملابس الالكترونية

النتائج والمناقشة:

1. ان الملابس الذكية تقع في تقاطع بحوث التصميم، وعلم وظائف الأعضاء، وتكنولوجيا المنسوجات. بينما تُصنع المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء باستخدام العديد من المواد باستخدام طرق تصنيع مختلفة. يتم دائمًا ربط المواد وطرق التصنيع المختارة مع التطبيق النهائي. وهذا يجعل النسيج الإلكتروني مجال بحث متعدد التخصصات.

2. اجراء المزيد من الدراسات العلمية لتوحيد مفهوم المنسوجات الإلكترونية بين متعددي التخصصات لتكون بمثابة مبادئ توجيهية للمختصين الذين ينفذون تطبيقات جديدة.

3. يمكن تقسيم مجموعات المنتجات المحتملة للمنسوجات الإلكترونية إلى خمس مجموعات رئيسية:

- الملابس الرياضة
- الملابس الطبية
- الملابس اليومية

- معدات الحماية الشخصية

- الملابس العسكرية.

4. تنال المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء قدرًا كبيرًا من الاهتمام نظرًا لاستخدامها السهل والمرن في حياتنا اليومية في ظل ظهور مجموعة متنوعة من التطبيقات .

5. على الرغم من العدد الكبير من المختبرات الأكاديمية والصناعية التي لديها نماذج أولية، إلا أن هناك القليل جدًا من المنتجات المتاحة في السوق .ويرجع ذلك إلى نقص المعايير والقواعد بما في ذلك إجراءات اختبار المنسوجات الإلكترونية حاليًا.

6. تواجهه المنسوجات والملابس الالكترونية تحديات كبيرة منها:

- موثوقية الإلكترونيات وموصلات النسيج حيث ينبغي أن تحقق المنتجات النسيجية إلكترونية القابلة للارتداء خصائص التمدد والانحناء بالإضافة الى سهولة العناية بها وقابلية الغسيل.

- السلامة والأمان.

- التصميم

- القيمة السوقية للملابس الإلكترونية غير قابلة للتنبؤ نظراً لما تواجهه من تقبل المستهلك ومتطلبات الصناعة منها التخزين.

- الامن السيبراني وخصوصية البيانات.

7. تُعد استدامة المنسوجات والملابس الالكترونية من أبرز التحديات التي لا يمكن الحسم بها حتى الان.

المراجع

Agcayazi, Talha, Kony Chatterjee, Alper Bozkurt, and Tushar K Ghosh. "Flexible Interconnects for Electronic Textiles." *Advanced Materials Technologies* 3, no. 10 (2018): 1700277.

Bonaldi, RR. "Electronics Used in High-Performance Apparel—Part 1/2." In *High-Performance Apparel*, 245-84: Elsevier, 2018.

Buechley, Leah Alyssa. "An Investigation of Computational Textiles with Applications to Education and Design." University of Colorado at Boulder, 2007.

Catrysse, Michael, Robert Puers, Carla Hertleer, Lieva Van Langenhove, H Van Egmond, and Dirk Matthys. "Towards the Integration of Textile Sensors in a Wireless Monitoring Suit." *Sensors and Actuators A: Physical* 114, no. 2-3 (2004): 302-11.

Chan, Kam Ling, Derek Fawcett, and Gérrard Eddy Jai Poinern. "Gold Nanoparticle Treated Textile-Based Materials for Potential Use as Wearable Sensors." *International Journal of Sciences* 2, no. 05 (2016): 82-89.

Chatterjee, Kony, Jordan Tabor, and Tushar K Ghosh. "Electrically Conductive Coatings for Fiber-Based E-Textiles ".*Fibers* 7, no. 6 (2019): 51.

Cherenack, Kunigunde, and Liesbeth van Pieterson. "Smart Textiles: Challenges and Opportunities." *Journal of Applied Physics* 112, no. 9 (2012): 091301.

Cho, Gilsoo. *Smart Clothing Technology and Applications.* United States of America: Human Factors and Ergonomics, 2010.

.———*Smart Clothing: Technology and Applications.* Edited by Gavriel Salvendy and Chair Professor & Head. Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group, LLC, 2010.

Cho, Gilsoo, Seungsin Lee, and Jayoung Cho. "Review and Reappraisal of Smart Clothing." *International Journal of Human-Computer Interaction* 25, no. 6 (2009): 582-617.

Cork, CR. "Conductive Fibres for Electronic Textiles: An Overview." In *Electronic Textiles*, 3-20: Elsevier, 2015.

Dunne, Lucy. "Smart Clothing in Practice: Key Design Barriers to Commercialization." *Fashion Practice* 2, no. 1 (2010): 41-65.

Eichhoff, J, A Hehl, S Jockenhoevel, and T Gries. "Textile Fabrication Technologies for Embedding Electronic Functions into Fibres, Yarns and Fabrics." Chap. 7 In *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers*, 191-226: Elsevier, 2013.

Elmogahzy, Yehia E. "Performance Characteristics of Technical Textiles: Part I: E-Textiles." Chap. 14 In *Engineering Textiles (Second Edition)*, edited by Yehia E. Elmogahzy, 347-64: Woodhead Publishing, 2020.

Elnashar, Elsayed Ahmed. "Smart Textile Circuitry and There Application." *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering* 4, no. 2 (2018): 25-26.

Fernández-Caramés, Tiago M, and Paula Fraga-Lamas. "Towards the Internet of Smart Clothing: A Review on Iot Wearables and Garments for Creating Intelligent Connected E-Textiles." *Electronics* 7, no. 12 (2018): 405.

Ghahremani Honarvar, Mozhdeh, and Masoud Latifi. "Overview of Wearable Electronics and Smart Textiles." *The Journal of The Textile Institute* 108, no. 4 (2016): 631-52.

Gonçalves, Carlos, Alexandre Ferreira da Silva, João Gomes, and Ricardo Simoes. "Wearable E-Textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements." *Inventions* 3 , no. 1 (2018): 14.

Guler, Sibel Deren, Madeline Gannon, and Kate Sicchio. "A Brief History of Wearables." In *Crafting Wearables*, 3-10: Springer, 2016.

Hamdan, Nur Al-huda, Simon Voelker, and Jan Borchers. "Sketch&Stitch." In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 1-13, 2018.

Heo, Jae Sang, Jimi Eom, Yong-Hoon Kim, and Sung Kyu Park. "Recent Progress of Textile-Based Wearable Electronics: A Comprehensive Review of Materials, Devices, and Applications." *Small* ,١٤ no. 3 (2017): 1703034.

Hertleer, Carla, Annelien Van Laere, Hendrik Rogier, and Lieva Van Langenhove. "Influence of Relative Humidity on Textile Antenna Performance." *Textile Research Journal* 80, no. 2 (2010): 177-83.

Hughes-Riley, Theodore, Tilak Dias, and Colin Cork. "A Historical Review of the Development of Electronic Textiles." *Fibers* 6, no. 2 (2018): 34.

Ismar, Ezgi, Senem Kurşun Bahadir, Fatma Kalaoglu, and Vladan Koncar. "Futuristic Clothes: Electronic Textiles and Wearable Technologies." *Global Challenges* 4, no. 1900092 (2020): 2056-6646.

Ismar, Ezgi, Xuyuan Tao, François Rault, François Dassonville, and Cidric Cochrane. "Towards Embroidered Circuit Board from Conductive Yarns for E-Textiles." *IEEE Access*.(٢٠٢٠)

Kaushik, Vishakha, Jaehong Lee, Juree Hong, Seulah Lee, Sanggeun Lee, Jungmok Seo, Chandreswar Mahata, and Taeyoon Lee. "Textile-Based Electronic Components for Energy Applications: Principles, Problems, and Perspective." *Nanomaterials* 5, no. 3 (2015): 1493-531.

Linz, Torsten, Lena Gourmelon, and Geert Langereis. "Contactless Emg Sensors Embroidered onto Textile." Paper presented at the 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2007), 2007.

Malmivaara, Mikko. "The Emergence of Wearable Computing." In *Smart Clothes and Wearable Technology*, 3-24: Elsevier, 2009.

Mattila, Heikki. *Intelligent Textiles and Clothing.* Woodhead Publishing, 2006.

McCann, J., and D. Bryson. *Smart Clothes and Wearable Technology*. 83 vols. UK: Woodhead Publishing in Textiles, 2009.

Mecnika, Viktorija, Melanie Hoerr, Ivars Krievins, Stefan Jockenhoevel, and Thomas Gries. "Technical Embroidery for Smart Textiles: Review." *Materials Science. Textile and Clothing Technology* 9 (2014): 56-63.

" .———Technical Embroidery for Smart Textiles: Review." *Materials Science. Textile and Clothing Technology* 9.(٢٠١٤)

Motti, Vivian Genaro. "Future Trends in Wearable Computing." In *Wearable Interaction*, 149-61: Springer, 2020.

" .———Introduction to Wearable Computers." In *Wearable Interaction*, 1-39: Springer, 2020.

Nayak, R, L Wang, and R Padhye. "Electronic Textiles for Military Personnel." In *Electronic Textiles*, 239-56: Elsevier, 2015.

Oliveira, Nelson, and Joana Cunha. "Integrating Technologies into Fashion Products: Future Challenges ".Paper presented at the International Conference on Innovation, Engineering and Entrepreneurship, 2018.

Pang, Changhyun, Gil-Yong Lee, Tae-il Kim, Sang Moon Kim, Hong Nam Kim, Sung-Hoon Ahn, and Kahp-Yang Suh. "A Flexible and Highly Sensitive Strain-Gauge Sensor Using Reversible Interlocking of Nanofibres." *Nature materials* 11, no. 9 (2012): 795-801.

Petersen, Pam, Richard Helmer, Margaret Pate, and Julian Eichhoff. "Electronic Textile Resistor Design and Fabric Resistivity Characterization." *Textile research journal* 81, no. 13 (2011): 1395-404.

Post, Ernest Rehmatulla, Maggie Orth, Peter R Russo, and Neil Gershenfeld. "E-Broidery: Design and Fabrication of Textile-Based Computing." *IBM Systems journal* 39, no. 3.4 (2000): 840-60.

Shi, Jidong, Su Liu, Lisha Zhang, Bao Yang, Lin Shu, Ying Yang, Ming Ren, *et al.* "Smart Textile-Integrated Microelectronic Systems for Wearable Applications." *Advanced Materials* 32, no. 5 (2020): 1901958.

Silberglitt, Richard, Andrew Lauland, Michael Watson, Christopher Eusebi ,and Jesse Lastunen. "Wearable Technologies for Law Enforcement: Multifunctional Vest System Options.(٢٠١٧) ".

Stoppa, M, and A Chiolerio. "Testing and Evaluation of Wearable Electronic Textiles and Assessment Thereof." In *Performance Testing of Textiles* :١٠١-٦٥ ,Elsevier, 2016.

Stoppa, Matteo, and Alessandro Chiolerio. "Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review." *sensors* 14, no. 7 (2014): 11957-92.

Suh, Minyoung, Katherine E Carroll, and Nancy L Cassill. "Critical Review on Smart Clothing Product Development." *Journal of textile and apparel, technology and management* 6, no. 4 .(٢٠١٠)

Tao, Xiaoming. *Handbook of Smart Textiles.* Springer, 2015.

Tyler, DJ. "Joining of Wearable Electronic Components." In *Joining Textiles*, 507-35: Elsevier, 20.١٣

Vagott, J, and R Parachuru. "An Overview of Recent Developments in the Field of Wearable Smart Textiles." *J. Text. Sci. Eng* 8 (2018): 364.

Van Langenhove, Lieva. "Smart Textiles for Protection: An Overview." Chap. 1 In *Smart Textiles for Protection*, 3 :٣٣-Elsevier, 2013.

Wilson, S., and R. Laing. "Fabrics and Garments as Sensors: A Research Update." *Sensors (Basel, Switzerland)* 19.(٢٠١٩)

Zhang, Ye, Yuhang Wang, Lie Wang, Chieh-Min Lo, Yang Zhao, Yiding Jiao, Gengfeng Zheng, and Huisheng Peng. "A Fiber-Shaped Aqueous Lithium Ion Battery with High Power Density." *Journal of Materials Chemistry A* 4, no. 23 (2016): 9002-08.