Saudi Art and Design Journal

المجلة السعودية للفن والتصميم، 2024، المجلد 4، العدد 2، 315-275 https://cutt.us/wqMWy

استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس

Using 3D Printing Technology in the Manufacturing of Clothes

DOI:10.57194/2351-004-002-008

منى محمد عبدالله حجي
mmhijji@uqu.edu.sa
أستاذ نسيج ،قسم تصميم الأزياء، كلية التصاميم والفنون، جامعة ام القرى، مكة المكرمة، السعودية.

سارة لطف الله توران قاري
sara.gari.24@gmail.com
طالبة ماجستير، قسم تصميم الأزياء، كلية التصاميم والفنون، جامعة ام القرى، مكة المكرمة، السعودية.

Muna Mohammad Abdullah Hijji
mmhijji@uqu.edu.sa
Professor, Fashion Design, College Designs and Arts, Umm AL-qura University ,Makkah, Saudi Arabia.

Sarah Lotfallah Qari
sara.gari.24@gmail.com
AM Student , Fashion Design, College Designs and Arts, Umm AL-qura University ,Makkah, Saudi Arabia.

الكلمات المفتاحية Keywords	الاستقبال Received	القبول Accepted	النشر Published
تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع FDM (نمذجة الترسيب المنصهر)، الخيوط، برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد. 3D printing, FDM 3D printer, Filament, 3D modeling software.	28 September 2023	11 November 2023	June 2024

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة متطلبات تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال صناعة الملابس، ومعرفة الأساليب التطبيقية لتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس، لتحقيق القيم الجمالية والوظيفية. واتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع الدراسة التطبيقية. وشملت أدوات الدراسة استمارة تحكيم للنماذج المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. وتوصلت الدراسة إلى عدة نتائج، من أهمها: إمكانية توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم وكفاءة تنفيذ ملابس مطبوعة تحقق القيم الجمالية والوظيفية، وتواكب الموضة، كما أمكن من خلال التمثيل البياني لنتائج تقييم التصميمات التوصل لأفضل التصميمات من حيث تحقق كل محور من محاور الاستبانة على حدة، كما أمكن ترتيب التصميمات من حيث التقييم الإجمالي لمحاور الاستبانة الثلاثة. وتضمَّنت الدراسة عدة توصيات، من أهمها: ضرورة ابتكار تصاميم وخامات جديدة بواسطة برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد، وإعداد مقرر لطالبات الجامعات يخص الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأزياء، وزيادة الفرص لتنمية المشاريع الصغيرة.

Abstract

This study aims to reveal the requirements for 3D printing technology in the field of clothing manufacturing, and to discover the applied methods of 3D printing technology in the clothing industry that help to achieve the desired aesthetic and functional values. The study followed the descriptive analytical approach with the applied study. The study tools included an assessment form for models implemented with 3D printing technology. The study reached several results, the most important of which is the possibility of employing 3D printing technology in design and the efficiency of implementing printed clothing that achieves aesthetic and functional values and simultaneously keeps pace with fashion. This was also possible through the graphical representation of the results of evaluating the designs and arriving at the best designs in terms of achieving each axis of the questionnaire, separately. The designs were arranged in terms of the overall evaluation of the three questionnaire axes. The most important recommendations included: the necessity of creating new designs and materials using 3D modeling programs, preparing a course for female university students related to 3D printing in the fashion industry, and increasing opportunities for developing small projects.

المقدمة

يسمَّى العصر الحالي عصر التكنولوجيا الحديثة السريعة والمتطورة، وذلك بسبب دخول التكنولوجيا واستخداماتها في كافة مجالات الحياة، وتبعًا للتطور العلمي والتقني فقد ابتُكِرتْ إحدى الطرق الجديدة لتشكيل المنتجات تعرف بتقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد، وهي من أهم التقنيات التي طُوِّرتْ خلال الأعوام القليلة الماضية، وتوسعت استخداماتها بشكل كبير، وأصبحت تخدم العديد من المجالات المختلفة (أبو الأسعاد، 2018).وإنَّ الطباعة الثلاثية الأبعاد ليست تقنية حديثة، فهي تقوم بعملها في صمت منذ عقود في الورش التصنيعية، فقد قام كل من كارل ديكارد -وهو مخترع ومعلم ورجل أعمال أمريكي، اشتهر باختراع وتطوير التلبيد الانتقائي بالليزر (SLS)، وهي طريقة للطباعة ثلاثية الأبعاد- وجو بيمان باختراع أول طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع التلبيد الانتقائي بالليزر في جامعة تكساس عام 1968م، وعلى مدار السنوات القليلة الماضية تطورت هذه التقنية بنحو سريع، بسبب التقدم في القدرة الحاسوبية وبرامج التصميم والمواد الخام الجديدة (ليبسن وكيرمان، 2017). ولقد حظيت تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد باهتمام كبير في السوق، حيث ذكرت دراسة قامت بها شركة أبحاث أسترالية (IBISWorld) أن المنتجات الاستهلاكية المصنَّعة بأسلوب الطباعة ثلاثية الأبعاد حققت أعلى الأسواق الفرعية المصنفة بنسبة (37.7٪)، تليها صناعة الطيران والسيارات بنسبة (23.6٪)، والرعاية الصحية بنسبة (19.2٪)، والهندسة المعمارية بنسبة (8.8٪)، وأخرى بنسبة (19.5٪)، حيث تغطي هذه التقنية منتجات متعددة، مثل: الأجزاء الطبية، وأجزاء من الإلكترونيات، والنماذج المعمارية، والمعدات الرياضية (Kwon et al. , 2017).

وتمتلك صناعة الموضة مرونة عالية من تطوير الأفكار الجديدة، وساهمت برامج الكمبيوتر المساعدة في التصميم (CAD) في إبداع الموضة، وزيادة الإنتاجية، وأنتج الدمج بين الموضة وتكنولوجيا الصناعة ما يوصف بالتكنولوجيا القابلة للارتداء (عطية، 2016).وبدأت صناعة الأزياء في استخدام الطباعة الثلاثية الأبعاد لتطوير النماذج الأولية، والمنتجات المخصصة، وعناصر الموضة، وتشمل المنتجات الاستهلاكية التي يمكن أن توفر للمستهلكين تصميمًا عصريًّا وفريدًا، مثل: المجوهرات، والأحذية، والتي تعتبر على نطاق واسع من عناصر الموضة (Kwon et al.,2017) واتجهت

هذه التقنية إلى أن استُخدمت في ملابس حقيقية يمكن ارتداؤها (أبو الأسعاد، 2018)، فمن الممكن طباعة زي خُدّدَ سُمك نسيجه، وشكل زخارفه، وارتباط جزيئاته، وتصميم موديله، ولونه، ووزنه، وتكلفته، وتنفيذه في وقت قياسي، دون القيام بالمراحل التقليدية من: غزل، ونسج، وصباغة، وتجهيز، وطباعة، وقص، وحياكة، وتشطيب، وما تتطلبه هذه العمليات من أيدٍ عاملة مدربة (الجمل، 2016).

وهدفت دراسة فالتس وسن (Valtas and Sun،2016) إلى إدخال أجزاء مطبوعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج الملابس التجارية، والبحث في التكلفة والوقت اللازمين لإنشاء مكونات مطبوعة ثلاثية الأبعاد لبناء الملابس في مرحلة العينة، ويقدم مثالًا على تقنيات بناء الملابس. وقدمت دراسة فانديربلوج وآخرين(Vanderploeg et al ،2016) لتطبيق تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأزياء خمس طرق ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها على منتجات الأزياء، وقورِنتْ كل طريقة بناءً على حجم الطباعة، والمواد، والفوائد، والتحديات، وفئات المنتجات المحتملة، والمصممين، والعلامات التجارية التي استخدمت في كل طابعة.ولقد قدَّم كل من فيرونيكا وجوس(Veronica and Jose، 2018) دراسة حالة تصف التجربة الحقيقية لمصمم أزياء مبدع باستخدام التكنولوجيا الرقمية الثلاثية الأبعاد بالتعاون مع شركة برمجيات، وهدفت الدراسة إلى استخلاص مميزات استخدام هذه التكنولوجيا على طول عمليات الانتاج حتى تصل إلى العميل، بالإضافة إلى التحديات المستقبلية لكل من شركات البرمجيات والأزياء المتعلقة بتنفيذ هذه التكنولوجيا.وفي دراسة كيم وآخرين(Kim et al ،2019) صُنِّعت ثلاثة أنواع من الملابس والإكسسوارات باستخدام الطابعة الثلاثية الأبعاد لسطح المكتب من النوع (FDM)، وهي من الأنواع الأكثر شيوعًا. وهدفت هذه الدراسة إلى تحديد العوامل التي تعوق استخدام التقنية في مجال الموضة، وعُثِرَ على العديد من المعوقات خلال كل عملية تتعلق بالمواد، وبرامج النمذجة، وعمليات الطباعة، وعملية الإنشاء، وارتداء الملابس. وقد تناولت دراسة تشاكرابورتي وبيسواس (Chakraborty and Biswas ،2020) تحديد أحدث الأساليب والمواد والتطبيقات الخاصة بالطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة المنسوجات والأزياء.

وإنَّ الطباعة ثلاثية الأبعاد -بوجه عام- هي تقنية ثورية تفتح الباب لآفاق ثورة صناعية جديدة،

فبعد أن كانت صناعة الأشياء والأدوات والآلات أمرًا يتطلب مهارات خاصة لا تمتلكها إلا قلة محددة، أصبح بإمكان آلات الطباعة ثلاثية الأبعاد إنتاجها بكفاءة أفضل، وسرعة أكبر (الجمل، 2016). فاستخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد يُعد دافعًا للتجديد في مجال الموضة والأزياء، ومواكبة لأحدث التقنيات وتطبيقاتها باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، إلا أنَّ هذه التقنية ينـدُر تطبيقها في كليات ومعاهد تصميم الأزياء في العالم العربي، لذا جاء هذا البحث لدراسة استخدام تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس.

مشكلة البحث

تظهر مشكلة الدراسة من ضرورة مواكبة أحدث التقنيات، ومتابعة التطور التكنولوجي الحديث في العالم، وتطبيقها في صناعة الأزياء باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وندرة تطبيق هذه التقنية في كليات ومعاهد تصميم الأزياء في العالم العربي، لقلة المعلومات في الجوانب المعرفية والتطبيقية لها، لذا يمكن تحديد مشكلة البحث في التساؤلين التاليين:

- ما متطلبات تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس؟
- ما إمكانية توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس في تصميم وكفاءة تنفيذ ملابس مطبوعة تحقق القيم الجمالية والوظيفية؟

أهداف البحث

يهدف البحث الى:

- تحديد متطلبات تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال صناعة الملابس.
- توظيف الأساليب التطبيقية لتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس لتحقيق القيم الجمالية والوظيفية.

فروض البحث

- وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات محور الجانب الجمالي والوظيفي والجانب التكنولوجي، ومعرفة درجة التأثير على إمكانية نجاح توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال تصميم وكفاءة تنفيذ نماذج الأزياء المطبوعة.

أهمية البحث

نتيجة للتطور الحاصل في صناعات الأزياء، أصبح من الضروري مواكبة التقدم التكنولوجي، ودراسة أهم التقنيات المؤثرة فيها، وهي تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تزايدت استخداماتها في عدد من الصناعات، وأصبحت بديلًا مبتكرًا للتصميم التقليدي وعملية التصنيع، بما يحقق الاستدامة، وتقليل الإهدار في عمليات تصنيع الملابس، ودعم المشاريع الصغيرة الناشئة في مجال الأزياء، كما يعتبر البحث مرجعًا علميًّا لتوثيق أساسيات هذه التقنية، وتعريف المتخصصين في مجال الأزياء بالمميزات والمعوقات والأساليب التطبيقية لها.

مصطلحات البحث

الطباعة الثلاثية الأبعاد (3D printing)

هي إحدى طرق التصنيع الحديثة، والاسم التقني لها هو "التصنيع بالإضافة" (Additive Manufacturing)، ويتيح لنا أسلوب التصنيع الخاص بالطباعة الثلاثية الأبعاد صنع الأجسام بأشكال لم تكن ممكنة من قبلُ، وهي التقنية التي يُبنى من خلالها مجسم ملموس من نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، حيث يمكن الحصول على هذا المجسم من خلال ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد (3D Scanner)، أو من خلال تصميمه باستخدام أحد برامج الحاسوب (CAD "Computer Aided Design") الخاصة بالتصميم الثلاثي الأبعاد، ويُشكَّل هذا النموذج عن طريق طباعة مجموعة من الطبقات المتتالية بعضها فوق الآخر حتى الحصول على الشكل النهائي (يوسف، والأسعد، 2019).

طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع (FDM 3D Printer) (FDM)

تعتبر نمذجة الترسيب المنصهر (Fused Deposition Modeling) (FDM) من أشهر تقنيات الطباعة، حيث اخترعها سكوت كرمب في نهاية الثمانينيات من القرن الماضي، ومن أكثر المواد المستخدمة في هذه التقنية هي اللدائن الحرارية (يوسف، والأسعد، 2019).

الخيوط (Filament)

إن أحد المكونات الأساسية لطابعة (FDM) هو الخيط الرفيع من الفتيل الذي تُصنع منه النماذج.

يمكن رؤية الخيط المستخدَم في الطباعة ثلاثية الأبعاد على أنه مشابه لـ"الحِبر" المستخدم في الطابعات العادية ثنائية الأبعاد. يأتي الخيط بحجمين قياسيين: قُطر (1.75مم) و (2.85مم)، كما يُباع أحيانًا بقُطر (3 مم) (Kloski & Kloski, 2016).

برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D modeling software)

تُعد أولى مراحل تنفيذ تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال الأزياء هي بناء النموذج ببرامج التصميم بواسطة الحاسوب، تليها مرحلة النمذجة ثلاثية الأبعاد التي تعمل على تحويل النماذج ثنائية الأبعاد إلى منتجات ثلاثية الأبعاد، مثل

(Tinker cad Blender , Rhinoceros , 3Ds Max Kloski & Kloski, 2016).

الإطار النظري

تُعتبر تقنية (Fused Deposition Modeling) (FDM) إحدى أنواع الطباعة، وفي هذه التكنولوجيا تُزوَّد الطابعة بمادة الطباعة على شكل أسلاك أو خيوط، تتصل برأس مدبب دقيق فيه فوهة، يسخن هذا الرأس ليذيب مادة الطباعة، وعند حركته أفقيًّا ورأسيًّا يُخرج المادة حسب الشكل المطلوب، وحال خروج المادة من الرأس تبرد في درجة حرارة الغرفة وتتصلب. (يوسف، والأسعد، 2019)

جرى تطوير بثق المواد لنمذجة الترسيب المنصهر في أواخر الثمانينيات من قِبَل سكوت كرامب وشركته ستراتاسيس (Zukas & Zukas ،2015)، حيث تقوم نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) بطباعة مادة على هيئة طبقات واحدة فوق الأخرى، لبناء الشكل الثلاثي الأبعاد. (Bitonti ،2019)

مميزات الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية (FDM)

- تُعد عملية (FDM) جيدة لإنتاج منتجات أو نماذج أوَّلية قوية ومعقدة، وإن كانت منخفضة الجودة.
- ليست هناك حاجة للمعالجة اللاحقة، ولكن الهياكل الداعمة مطلوبة.
- طابعات (FDM) صديقة للبيئة، ومن ثَمَّ فهي مناسِبة للاستخدام المنزلي أو المكتبي.
- آلات منخفضة التكلفة، متاحة بسهولة.
- تعد تقنية (FDM) أبطأ من عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد الأخرى، وتنتج أسطحًا خشنة (يمكن

صقلها أو معالجتها بطبقة نهائية).

- نظرًا لانخفاض تكلفة تقنية (FDM)، فهي شائعة بين الهواة والمستخدمين المنزليين.
- تعد تقنية (FDM) مقيدة -إلى حد ما- في الأشكال التي قد تكون دقيقة ومعقدة(Zukas and Zukas, 2015).

أثر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على صناعة الأزياء

حدثت انعطافة كبرى في العلاقة بين الموضة والأزياء وبين التقنية الرقمية، فقد جرى إنتاج ملابس لم تخرج من آلات الحياكة، إذ صنعت بواسطة آلات الطباعة ثلاثية الأبعاد، من المستطاع بسهولة وضع أقمشة عليها كي تصبح زيًّا كاملًا. إنَّ الجمع بين التقنيات الحديثة ومواد غير تقليدية أدَّى إلى إنتاج نوع غير مألوف من الملابس ثلاثية الأبعاد، وهي لينة بشكل مثير للدهشة على غير ما كنا نتوقع من البلاستيك والليزر.

التأثير التكنولوجي لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على صناعة الأزياء

تُعد أولى مراحل تنفيذ تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال الأزياء هي بناء النموذج ببرامج التصميم بواسطة الحاسوب، تليها مرحلة النمذجة ثلاثية الأبعاد التي تعمل على تحويل النماذج ثنائية الأبعاد إلى منتجات ثلاثية الأبعاد. ونظرًا لأهمية برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأزياء فقد أجريت دراسات في هذا المجال، ففي دراسة فالتس وسن (Valtas & Sun,2016) للطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج الملابس، جرى استعمال برنامج النمذجة ثلاثي الأبعاد Blender، وهو برنامج مفتوح المصدر، ودراسة كيم وآخرين (Kim et al,2019)حول تطوير منتجات الأزياء وتحسينها باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع (FDM)، التي استعمل فيها برنامج النمذجة ثلاثي الأبعاد (Rhinoceros) الذي يتوافق مع البرامج الأخرى، لأنه يدعم أكثر من 30 تنسيقًا لملفات(CAD وCAM) للاستيراد والتصدير، وتأتي دراسة تشان وآخرين (Chan et al,2020) لإنشاء نموذج أوَّلي للأزياء المطبوعة ثلاثية الأبعاد بنسيج متعدد الألوان، التي استعمل فيها برنامج النمذجة ثلاثي الأبعاد(3Ds Max)، وكان الغرض من هذه الدراسة هو الجمع بين تصميم الأزياء المبتكر، وبيئة العمل، وتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتقنيات النمذجة الحاسوبية ثلاثية الأبعاد ذات الصلة، لتطوير نموذج أوَّلي للأزياء بطباعة

ثلاثية الأبعاد مع نسيج مبتكر متعدد الألوان.

التأثير البيئي والاقتصادي لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على صناعة الأزياء

لا تزال النفايات البلاستيكية تجد طريقها إلى مكب النفايات والمياه، مما يشكل تحديًا بيئيًا كبيرًا. حيث إنه في عام واحد فقط، تتعرض آلاف الكائنات البحرية للتشابك البلاستيكي بينما يواجه الملايين خطر ابتلاع البلاستيك. هذا هو السبب في لجوء ممارسين الطباعة ثلاثية الأبعاد الواعين إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد الخضراء، والتي تتضمن تقليل وإعادة استخدام وإعادة تدوير البلاستيك الزائد من المطبوعات الفاشلة الناتجة عن التجارب.

شكل رقم (1) المهملات الناتجة عن الأشكال المطبوعة عن طريق الطابعة ثلاثية الأبعاد (Obudho, 2018)

ويحتاج الممارسون إلى فهم كيفية الاستفادة بشكل جيد من مواد الطباعة إذا كانوا يريدون التحكم في هذه المواد المسببة للضرر، والتي يُفترض أنها تستغرق ما بين 10 إلى 1000 عام لتتحلل. والشكل رقم (1) يوضح المهملات الناتجة عن الأشكال المطبوعة عن طريق الطابعة ثلاثية الأبعاد (Obudho, 2018). وفي دراسة بكانين وآخرين (Pakkanen et.al,2017) ذُكِر أن استدامة مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد ذات أهمية قصوى للمستقبل، حيث من المتوقع أن ينمو سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد بمعدل سنوي يبلغ حوالي 26٪ حتى عام 2020.

ومن الضروري إعادة تدوير المواد الزائدة وغير المرغوب فيها في المقام الأول إلى مواد أوَّلية جديدة، أو إيجاد طرق جديدة للمادة لتتحلل، أو تتحول إلى سماد وكتل بناء غير ضارة في الطبيعة، ويجري التعامل مع نفس المشكلات التي تواجه إعادة تدوير البلاستيك -بشكل عام- أثناء إعادة تدوير النفايات الصادرة من طابعة(FDM). ويعتبر (Proto Cycler) جهاز إعادة التدوير المثالي للطابعة ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن لهذه الآلة تمزيق وفك بقايا خيوط الطباعة ثلاثية الأبعاد، وإعادة لف خيوط "جديدة" على بكرة فارغة باستخدام عملية إعادة تدوير متكاملة. (Wild,2020)، والشكل رقم

(2) يوضح جهاز (oto cycler

شكل رقم (2) جهاز Proto cycler (Wild,2020)

ويتضح التأثير الاقتصادي لتطبيق تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأزياء في تكلفة البيع بالتجزئة للملابس والإكسسوارات المطبوعة بتقنية ثلاثية الأبعاد، حيث تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد خيارًا أكثر تكلفةً من منتجات الأزياء المصنوعة بالطرق التقليدية، كون التصميم باستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد عملية معقدة قد تتطلب تعاونًا من المعرفة والمهارات متعددة التخصصات (Vanderploeg et al.,2016).

وفي دراسة كيم وآخرين (Kim et al,2019)كُشِفَ عن مشكلات حجم الطباعة ووقت الطباعة عند استخدام طابعة سطح المكتب من نوع (FDM) ذات التكلفة المنخفضة. إنَّ سرعة الطباعة هنا بطيئة نسبيًّا، حيث تستغرق طباعة وحدة واحدة من النموذج الأساسي ما لا يقل عن 30 دقيقة، وتتطلب طباعة قطعة كاملة من الملابس عمليات طباعة متعددة، وتستهلك الكثير من الوقت والجهد. وتزداد التكلفة مع الطابعات الكبيرة من نوع (FDM) ، مما يجعل من الصعب على عامة الناس استخدامها.

ومما سبق فإنه مع التطورات التي ستلاحق هذه التقنية، سيُختصَر الوقت اللازم لتسويق منتج جديد في العديد من المجالات، بالجمع بين التصميم والتصنيع مباشرة، وتخفض تكلفة المنتج بواسطة تخفيض تكلفة مرحلة التطوير والتحديث، وسيزيد معدل الإنتاج بتخصيص كل ماكينة أو طابعة لإنتاج نوعية واحدة من المنتجات، لذلك فإنَّ الطباعة الثلاثية الأبعاد هي الثورة القادمة في التصنيع، لكونها الرائدة في الإنتاج السريع للنماذج الأولية، وكذلك الأجزاء النهائية للمنتج.

التأثير الإبداعي لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على صناعة الأزياء

أبرز مُصممي الأزياء مستخدمي الطباعة ثلاثية الأبعاد

إيرس هيربن (Iris van Herpen):

هي مُصممة أزياء هولندية، أطلقت مجموعتها الأولى من الأزياء الراقية في أسبوع الموضة

بأمستردام 2007، وكانت رائدة في استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد المطبقة في عالم الموضة، وعرضت أول ملابس مطبوعة ثلاثية الأبعاد لها في أسبوع الموضة في أمستردام 2010، وأنتجت أول فساتينها المطبوعة ثلاثية الأبعاد وكانت مبتكرة في دمجها مع تخصصات أخرى، حيث إنها تبدأ بتصميم الملابس أولًا، ثم تكمل العمل على الكمبيوتر مع المهندس المعماري؛ حتى تتمكن من دمج الموضة مع التخصصات الأخرى، ثم تُطبَع الملابس ثلاثية الأبعاد في النهاية. وفي عام 2014 جمعت إيرس بين عالم الموضة والفن والقرصنة البيولوجية، والتي تضمنت قطعًا مطبوعة ثلاثية الأبعاد مصنوعة من مادة البولي يوريثين بالحرارة(TPU) (أبو الأسعاد، 2018)، ويوضح الشكل رقم (3) أعمال إيرس هيربن.

ميلندا لوي(Melinda Looi)

في عام 2013 قدَّمت ميلندا -مصممة الأزياء الماليزية- وشركة ماتيريلز المتخصصة في الطباعة ثلاثية الأبعاد أول عرض أزياء مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في آسيا، وكانت مجموعة العمل تتألف من ستة إلى ثمانية أشخاص (ثلاثة مصممي نماذج ثلاثية الأبعاد، ومهندسين، وفريق ماليندا)، وتُطبع غالبية عناصر الملابس المطبوعة ثلاثية الأبعاد على شكل قطع ثم تُجَمَّع بعد الطباعة، إلا أنها استطاعت تنفيذ ثوب كامل الطول مطبوع ثلاثي الأبعاد في قطعة واحدة (Kristen،2017)، ويوضح الشكل رقم (4) التصاميم من أعمال ميلندا لوي.

نوا رافايف (Noa Raviv)

درست نوا رافايف تصميم الأزياء في كلية الهندسة والفنون والتصميم، وتخرجت فيها عام 2014، ثم التحقت بفصول البرامج ثلاثية الأبعاد، واستخدمت تقنية الطابعات ثلاثية الأبعاد لمشروعها النهائي، وبالتعاون مع ستراتاسيز -واحدة من أكبر الشركات المصنعة للطابعات ثلاثية الأبعاد في العالم- ابتكرت المصممة تصميمات تتميز بصور رقمية، وأنماط شبكية يستحيل إنتاجها باستخدام الطرق التقليدية. القطعة النهائية ثلاثية الأبعاد غير المتماثلة طُبِعت ثلاثية الأبعاد، ثم خِيطتْ على الفستان لعمل نوع من الوهم البصري بين الأنماط ثنائية وثلاثية الأبعاد (Pearson،2020)، ويوضح الشكل رقم (5) التصاميم من أعمال نوا رافايف.

دانيت بيليق (Danit Peleg)

هي مصممة أزياء ورائدة في الأزياء المطبوعة ثلاثية الأبعاد. في عام 2015 تصدَّرت عناوين الصحف الدولية، لكونها المصمم الأول في العالم لإنشاء مجموعة كاملة باستخدام الطابعات المنزلية ثلاثية الأبعاد لسطح المكتب (FDM) لمشروع تخرجها من مرحلة البكالوريوس في كلية الهندسة والتصميم (Danit, n.d.)، ولم تتلقَّ أي تدريب للطباعة ثلاثية الأبعاد خلال فصول الدراسة، إلا أنها تواصلت مع العديد من الخبراء عبر الإنترنت. طُبِعتْ مجموعتها بنوع الخيط ((Filaflex TPU (Kristen, 2017). وذكرت المصممة أنه يمكنها طباعة كل شيء، المشكلة التي واجهتها أن اللوح صغير جدًّا، بعرض واحد وعشرين سنتيمترًا وطول تسعة وعشرين، لذا عليها أن تطبع أجزاء الثوب بهذا الحجم، ومن ثَمَّ لصقها ببعضها، ولا تحتاج إلى خياطتها، بل يمكن استخدام الغراء (أبو الأسعاد، 2018)، ويوضح الشكل رقم (6) التصاميم من أعمال دانيت بيليق.

شكل رقم (3) أعمال
(Iris van Herpen Pearson,2020)

شكل رقم (4) التصاميم من أعمال
(Melinda LooiKristen,2017)

شكل رقم (5) التصاميم من أعمال (Noa RavivPear
(son,2020

شكل رقم (6) التصاميم من أعمال
(Kristen, 2017 Danit Peleg)

المنهجية

منهج البحث

يتبع هذا البحث المنهج الوصفي التحليلي في بيان تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية FDM،

وتأثيرها على صناعة الأزياء، مع تطبيق التقنية في طباعة تصميم النموذج الأوَّلي، وطباعة التصميم بمداخل تجريبية متعددة.

مجتمع البحث

جميع العناصر ذات العلاقة بمشكلة البحث، والتي يسعى البحث إلى أن يعمّم عليها نتائج الدراسة، ومن هنا يتحدد مجتمع الدراسة في: التقنيات المستخدمة للطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال صناعة الملابس.

عينة البحث

عينة مادية تمثلت في:

- استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من نوع (FDM)في مجال تصنيع الأزياء.
- استخدام خيوط من مادة البولي يوريثين الحراري (TPU) (Thermoplastic Polyurethane)، وهي الأكثر مرونة في العالم للطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي إحدى المواد التي استُعمِلت من قِبَل العديد من مصممي الأزياء، بسبب المرونة العالية التي تنتج عنها.

أدوات البحث

استمارة تحكيم للنماذج المنفَّذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من نوع (FDM)

الدراسة التطبيقية

طُبِّقت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لطباعة النماذج باستخدام طابعة من نوع (FDM) ، نوع الطابعة: (Ender-3 V2) كما هو موضح في الشكل رقم (7):

شكل (7): طابعة(Ender-3 V2)(الدليل الإرشادي للطابعة)

كما استُخدمت خيوط الطباعة من مادة البولي يوريثين الحراري (Thermoplastic Polyurethane TPU) حسب المواصفات التالية:

جدول (1): مواصفات الخيوط المستخدمة في تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد من نوع (FDM) (من تصميم الباحثتين)

نوع المادة	الوصف	قُطر الخيط (مم)	درجات الانصهار المناسبة للفوهة (Nozzle)	درجة الحرارة المناسبة للوحة البناء (Build Plate)
مادة البولي يوريثين الحراري (Thermo-plastic Polyure-thane) (TPU)	(TPU) هي الأكثر مرونة في العالم للطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي إحدى المواد استُعملت من قِبَل العديد من مصممي الأزياء مثل(Danit Peleg و Anastasia Ruiz)بسبب المرونة العالية التي تنتج عنها.	1.75 مم	200-230 درجة مئوية	50-80 درجة مئوية

إجراءات الدراسة التطبيقية

استنادًا على دراسة تشام وآخرين (Cham et al ,2021) طُبِّقت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لطباعة النماذج تضمَّنت الخطوات التالية:

أولًا: مرحلة التحليل

وتضمَّنت ما يلي:

التجارب الأولية

أُجريت تجارب أولية لطباعة نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام أنواع خيوط مختلفة، وإحداث تغييرات في الإعدادات.

استكشاف المشاكل

استُكشِفتْ أبرز المشاكل عند الطباعة، وهي: عدم نزول الخيط من الفوهة، عدم ترابط الأجزاء الداخلية للنموذج، عدم اكتمال طباعة النموذج، ظهور التوتير (تكوين هياكل تشبه شبكة العنكبوت حول نموذج الطباعة)، ومعرفة أسبابها، والتوصل لطرق تلافيها.

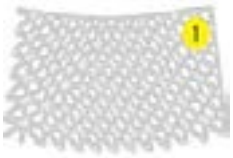
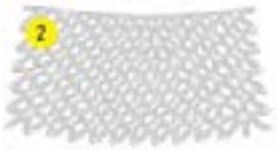
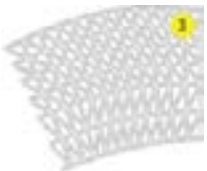
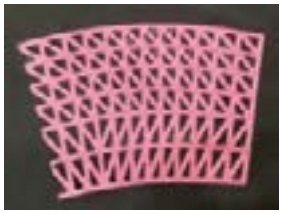
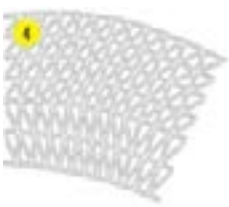
ثانيًا: مرحلة تطوير النموذج

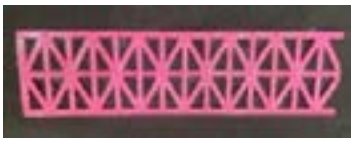
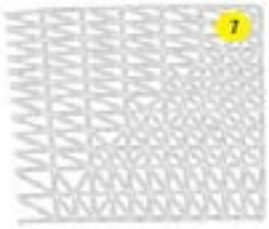
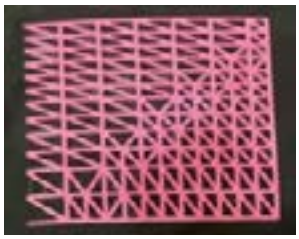
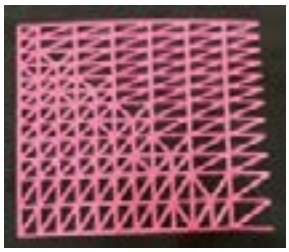
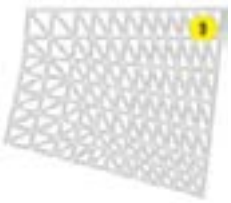
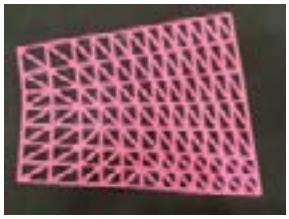
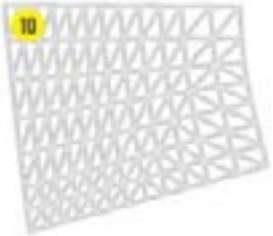
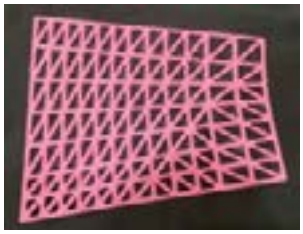
وتضمَّنت ما يلي:

طباعة النموذج الأوَّلي للتصميم

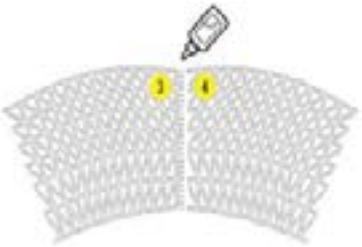
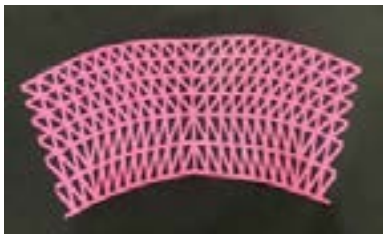
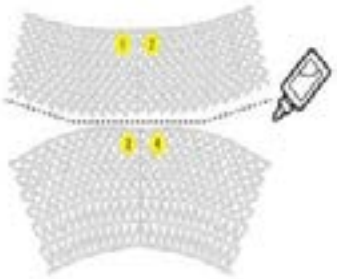
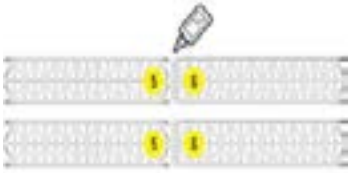
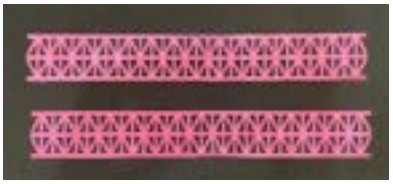
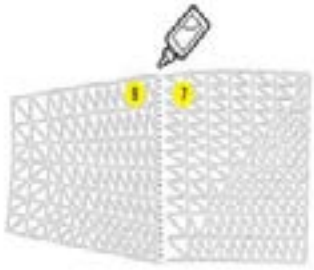
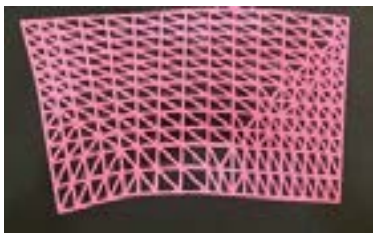
طُوِّر النموذج وطُبِع الكورساج بعد ضبط إعدادات البرنامج والطابعة للمتغيرات (درجة حرارة انصهار الخيط- سرعة الطباع – سُمك القطعة)، واستغرقت جميع القطع ما يقارب 47 ساعة من زمن الطباعة.

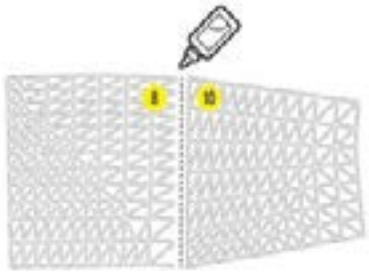
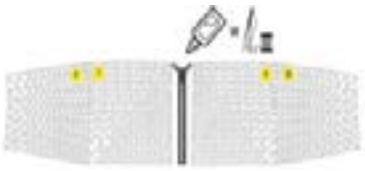
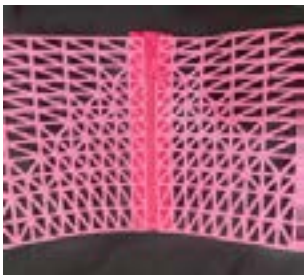
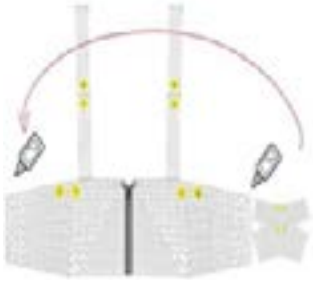
جدول (2): أجزاء نموذج الكورساج بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد (من تصميم الباحثتين)

الأجزاء	القطعة قبل الطباعة	القطعة بعد الطباعة
الأمام		
الأمام		
الأمام		
الأمام		

الأجزاء	القطعة قبل الطباعة	القطعة بعد الطباعة
٢x الحمالة		
٢x الحمالة		
الخلف		
الخلف		
الجنب		
الجنب		

جدول (3): مراحل دمج القطع مع بعضها البعض (من تصميم الباحثتين)

الأجزاء	القطعة قبل الطباعة	القطعة بعد الطباعة
تجميع قطع الجزء العلوي من الأمام		
تجميع قطع الجزء السفلي من الأمام		
تجميع قطع الأمام		
تجميع الحمالات		
تجميع قطع الخلف مع الجنب		

الأجزاء	القطعة قبل الطباعة	القطعة بعد الطباعة
تجميع قطع الخلف مع الجنب		
تركيب السحَّاب		
تجميع الحمَّالات في الخلف		
تجميع الأمام مع الخلف		

طباعة التصميم بمداخل تجريبية متعددة

صُمِّمت وطُبِعتْ 8 نماذج بخيارات لونية، واستُخدمت وسائل ربط مختلفة، حيث استُخدم خيط من نوع (TPU) باللونين الأزرق الفاتح والفوشيا، واستُخدمت وسائل الربط التالية:

أقمشة منسوجة- السُّستة- خيوط القيطان- الحلقات المعدنية- خيط (TPU)، الغراء الخاص بالتقنية.

شكل 8 -أ الأمام (من تصميم الباحثتين)

شكل 8 -ب الجنب (من تصميم الباحثتين)

شكل 8 -ج الخلف (من تصميم الباحثتين)

شكل 8 -د وسيلة الربط: استخدام الإبرة والخيط (من تصميم الباحثتين)

شكل (8): نموذج رقم 1

شكل 9 -أ الأمام

شكل 9 -ب الجنب

شكل 9 -ج الخلف

شكل 9 -د وسيلة الربط: استخدام الغراء

شكل (9) نموذج رقم 2(من تصوير الباحثتين)

شكل 10 –أ الأمام

شكل 10 –ب الجنب

شكل 10 –أ الخلف

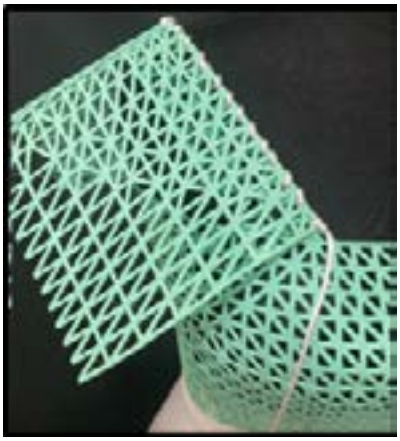
شكل 10 –د وسيلة الربط: استخدام الإبرة والخيط

شكل (10): نموذج رقم 3(من تصوير الباحثتين)

شكل 11 –أ الأمام

شكل 11 –ب الجنب

شكل 11 –ج الخلف



شكل 11 –د وسيلة الربط: استخدام القيطان

شكل (11): نموذج رقم 4(من تصوير الباحثتين)

شكل 12 –أ الأمام

شكل 12 –ب الجنب

شكل 12 –ج الخلف

شكل 12 –د وسيلة الربط: استخدام الإبرة والخيط

شكل (12): نموذج رقم 5(من تصوير الباحثتين)

شكل 13 –أ الأمام

شكل 13 –ب الجنب

شكل 13 –ج الخلف

شكل 13 –د وسيلة الربط: استخدام خيط من نوع TPU

شكل (13): نموذج رقم 6(من تصوير الباحثتين)

شكل 14 –أ الأمام

شكل 14 –ب الجنب

شكل 14 –ج الخ

شكل 14 –د وسيلة الربط: استخدام الحلقات

شكل (14): نموذج رقم 7(من تصوير الباحثتين)

شكل 15 –أ الأمام

شكل 15 –ب الجنب

شكل 15 –ج الخلف

شكل 15 –د وسيلة الربط: استخدام السحَّاب

شكل (15): نموذج رقم 8(من تصوير الباحثتين)

ثالثًا: مرحلة تقييم النموذج

قُـيِّمت النمـاذج المنفَّـذة بتقنيـة الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد مـن قِبَـل المتخصصيـن، مـن خـلال أدوات البحـث التـي تمثلـت فـي استمارة تحكيـم للنمـاذج المنفـذة بتقنيـة الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد، حيـث صُمِّمـت اسـتبانة مكونـة مـن ثلاثـة محـاور رئيسـة لاسـتطلاع التقييمـات، لإبـراز موضـوع وعناصـر البحـث، والتحقـق

من أهداف البحث، وقد اشتملت المحاور الرئيسة الثلاثة على فقرات فرعية (18 فقرة) لتقدير تحقق المحاور الرئيسة، وقد جرى تحليل النتائج إحصائيًّا باستخدام برنامج الإحصاء (SPSS)، وكانت التحليلات الإحصائية كالتالي:

صدق وثبات استمارة التحكيم:

الصدق: جرى التحقق من صدق الاستمارة بطريقة الصدق الظاهري، حيث عُرِضت على (13) من أعضاء هيئة التدريس بالجامعات السعودية في مجال التخصص، بهدف تحكيمها، والتأكد من صلاحيتها وصدقها من جوانبها المتعددة.

جدول (4): نِسَب اتفاق المحكِّمين على بنود استبانة تقييم التصاميم (من تصميم الباحثتين)

العبارة	ملائم		ملائم إلى حدّ ما		غير ملائم	
	ت	%	ت	%	ت	%
سلامة الصياغة اللغوية للعبارات	12	92,3	1	7,7	–	–
الصياغة العلمية للعبارات	13	100	–	–	–	–
سهولة ووضوح العبارات	12	92,3	1	7,7	–	–
ملاءمة المحاور لهدف الاستبانة	12	92,3	1	7,7	–	–
تناسُب عدد المحاور مع الهدف المُعَد من أجله	13	100	–	–	–	–
تناسُب عدد العبارات داخل كل محور	13	100	–	–	–	–
التسلسل المنطقي للعبارات في كل محور	13	100	–	–	–	–

من الجدول السابق يتضح أن العبارات جميعها بنود مقبولة، لأنها حصلت على نسب اتفاق عالية من قِبَل المحكمين، ممَّا يشير إلى صدق استمارة التقييم، والوثوق بنتائجها.

ثبات الاستبانة:

لقياس مدى ثبات أداة الدراسة (الاستبانة) أُجريت معادلة (ألفا كرونباخ) على نتائج بيانات الاستبانة لعينة كلية مكونة من تقييم (13) عضوًا مُحكِّمًا لـ8 تصاميم عبر 18 فقرة استبانة، والجدول رقم (5) يوضح مُعامِلات ثبات أداة الدراسة:

جدول (5): ثبات الاستبانة(Reliability Statistics) (من تصميم الباحثتين)

محاور الاستبانة	عدد الفقرات	عدد التصميمات	عدد المفردات	ألفا كرونباخ
المحور الأول: الجانب الجمالي	6	8	48	0.976
المحور الثاني: الجانب الوظيفي	6	8	48	0.973
المحور الثالث: الجانب التكنولوجي	6	8	6	0.956
مجموع المفردات	102			
الثبات العام للاستبانة Alpha) (Cronbach's	0.988			

يتضح من بيانات الجدول رقم (5) أن مُعامِل الثبات العام لمحاور الدراسة الثلاثة مرتفع جدًّا، حيث بلغ (0.988) لإجمالي فقرات الاستبانة الثماني عشرة، فيما بلغ ثبات المحاور الثلاثة للاستبانة ما بين (0.976) كحد أعلى، وبين (0.956) كحد أدنى، أي إن الاستبانة تتمتع بدرجة عالية جدًّا من الثبات تمكِّن من الاعتماد عليها في التطبيق الفعلي للدراسة.

نتائج البحث

نتائج استمارة تحكيم للنماذج المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

وللتحقق من فرضية الدراسة أُجريَ اختبار تحليل التباين.

اختبار تحليل التباين أحادي الاتجاه (One Way ANOVA):

1 – اختبار التجانس

جدول (6): اختبار التجانس Test of Homogeneity of Variances (من تصميم الباحثتين)

معيار حساب التجانس	اختبار ليفيني Levene Statistic	درجات الحرية 1 df1	درجات الحرية 2 df2	الدلالة Sig. الإحصائية
على أساس المتوسط	5.643	2	19	.012
على أساس الوسيط	5.656	2	19	.012
df على أساس الوسيط ومع ضبط درجات الحرية	5.656	2	14.366	.015
على أساس خفض المتوسط	5.678	2	19	.012

نجد قيمة الدلالة الإحصائية (P-value) لاختبار(Levene Statistic) بين (0.012 إلى 0.015)، وهي قيمة أقل من 0.05، لذا فإننا نرفض الفرض البديل، ونقبل الفرض الصفري وهو: (التجانس بين متوسطات محاور الاستبانة أداة الدراسة) كشرط لصحة إجراء اختبار التباين.

2- اختبار التباين:

جدول (7): تحليل التباين أحادي الاتجاه One Way ANOVA (من تصميم الباحثتين)

محاور الاستبانة	المتوسط	الانحراف المعياري	ف F	الدلالة Sig. الإحصائية
المحور الأول: الجانب الجمالي	85.4475	7.26044	3.967	.036
المحور الثاني: الجانب الوظيفي	85.7362	6.37075		
المحور الثالث: الجانب التكنولوجي	93.5900	1.79634		

وبإجراء اختبار تحليل التباين الأحادي (ANOVA) للوقوف على مدى وجود فروق ذات دلالة إحصائية من عدمه بين متوسطات محاور الاستبانة محل الدراسة، ومن ثَمَّ معرفة تأثير تلك الفروق -إن وُجدت- على صحة الفرضية البحثية من عدمه، حيث جاءت قيم (F) تساوى 3.967 بقيمة احتمالية (P-value) تساوى 0.036 أي جاءت أقل من 0.05 ومن ثَمَّ يتضح وجود اختلاف معنوي ذي دلالة إحصائية بين اثنين على الأقل من متوسطات محاور الدراسة الثلاثة عند مستوى الدلالة 0.05، ويُعزى ذلك إلى أنَّ متوسطات محاور الدراسة من الجانب الجمالي والوظيفي إلى الجانب التكنولوجي هي متوسطات متفاوتة في التقييم والقيمة، ومن ثَمَّ فهي متفاوتة في درجة التأثير الإيجابي على إمكانية نجاح توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال تصميم وكفاءة تنفيذ نماذج الأزياء المطبوعة.

الاستنتاج: بما أن القيمة الاحتمالية (P-value) تساوي 0.036 أي أقل من 0.05 لمحاور التقييم الثلاثة، لذا فإننا نرفض الفرض الصفري ونقبل الفرض البديل الذي ينص على: وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة 0.05 بين اثنين على الأقل من متوسطات المحاور الثلاثة للتقييم، بما يعني، وبنسبة تأكد وثقة 95%، أن نقرر أنها تميل إلى التفاوت في التأثير الإيجابي على إنجاح التجربة البحثية.

أي يوجد اختلاف أو تأثير إيجابي للمتغيرين (الجانب الجمالي) و(الجانب الوظيفي) على المتغير (الجانب التكنولوجي) بما يمكّن من نجاح الفرض البحثي، نتيجة تفاوت تلك المتغيرات في التأثير الإيجابي على نجاح الفرضية البحثية.

تحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة البحثية

لتحليل طبيعة العلاقات بين متغيرات الدراسة البحثية، وتأثير ذلك في نجاح أهداف الدراسة البحثية، أُجريَ كل من: 1- اختبار تحليل الارتباط الخطي المتعدد، 2- تحليل الانحدار الخطي المتعدد.

-1اختبار تحليل الارتباط (Correlation Analysis)

جدول (8): مصفوفة الارتباط (Correlations Matrix) (من تصميم الباحثتين)

محاور الاستبانة		المحور الأول الجانب الجمالي	المحور الثاني الجانب الوظيفي	المحور الثالث الجانب التكنولوجي -0.163
المحور الأول: الجانب الجمالي	الدرجة	1	0.960	-0.163
	المعنوية	0.00	.000	0.757
المحور الثاني: الجانب الوظيفي	الدرجة	0.960	1	-0.223
	المعنوية	.000		0.671
المحور الثالث: الجانب التكنولوجي	الدرجة	-0.163	-0.223	1
	المعنوية	0.757	0.671	

لتقدير درجة الارتباط الخطي واتجاه هذه العلاقة الخطية بين المتغيرات -محل الدراسة- حُسِبتْ مصفوفة الارتباطات بين محاور التقييم الثلاثة -محل الدراسة- باستخدام مُعامِل ارتباط بيرسون (Person)، واتضح أنَّ هناك علاقة ارتباط غير صفرية، بل علاقة ارتباط ما بين الطردية والعكسية متفاوتة الدرجات والقوة، وذلك بين كل زوج من محاور الدراسة الثلاثة.

وبالتركيز على علاقة كل من المحاور الأول والثاني والثالث ببعضها البعض للوصول إلى التنبؤ بهدف الدراسة نجد أنَّ:

- علاقة الارتباط جاءت طردية قوية جدًّا بين كل محور من محورَي الدراسة الأول والثاني على حدة، حيث جاءت درجة الارتباط (0.960) طردية قوية جدًّا ذات دلالة معنوية (0.000) أقل من (0.001)

بيـن المحوريـن الأول والثانـي.

- علاقـة الارتبـاط جـاءت عكسـية بيـن كل محـور مـن محـورَي الدراسـة الأول والثالـث علـى حـدة، فقـد جـاءت درجـة الارتبـاط (0.163 -) عكسـية ضعيفـة جـدًا، وذات دلالـة معنويـة (0.757) بيـن المحـور الأول والمحـور الثالـث.

- علاقـة الارتبـاط جـاءت عكسـية بيـن كل محـور مـن محـورَي الدراسـة الثانـي والثالـث علـى حـدة، فقـد جـاءت درجـة الارتبـاط (0.223 -) عكسـية ضعيفـة، وذات دلالـة معنويـة (0.671) بيـن المحـور الثانـي والمحـور الثالـث.

- يلاحـظ مـن الجـدول أنَّ قيمـة (P-value) بيـن كل مـن محـورَي الدراسـة الأول والثانـي جـاءت 0.000 أي أقـل مـن 0.01 ويلاحـظ مـن الجـدول أن قيمـة (P-value) بيـن كل مـن محـورَي الدراسـة الأول والثالـث جـاءت 0.757 أي أكبـر مـن 0.01 ويلاحـظ مـن الجـدول أن قيمـة (P-value) بيـن كل مـن محـورَي الدراسـة الثانـي والثالـث جـاءت 0.671 أي أكبـر مـن 0.01

الاسـتنتاج: نرفـض الفـرض الصفـري الـذي يفتـرض أنـه لا توجـد علاقـة ارتبـاط بيـن محـاور الدراسـة، ونقبـل بالفـرض البديـل القائـل بـأن علاقـة الارتبـاط بيـن المتغيـرات علـى المحـاور الثلاثـة للدراسـة تختلـف عـن الصفـر.

أي إنَّ: علاقـة الارتبـاط بيـن المتغيـرات -محـل الدراسـة- جـاءت مختلفـة التأثيـر والتأثـر مـا بيـن الطرديـة والعكسـية والمعنويـة، أي إنهـا لا تسـاوي الصفـر، أي إن محـاور الاسـتبانة -محـل الدراسـة- يكمـل بعضهـا بعضًـا ولا تتنافـر، بـل تتضافـر معًـا فـي تحقيـق: "إمكانيـة توظيـف تكنولوجيـا الطباعـة ثلاثيـة الأبعـاد فـي تصميـم وكفـاءة تنفيـذ ملابـس مطبوعـة تحقـق القيـم الجماليـة والوظيفيـة وتواكـب الموضـة".

2-تحليل الانحدار الخَطّي المتعدد (Multiple Regression):

جدول (9): ملخص نتائج نموذج اختبار الانحدار (Regression Model Summaryb) (من تصميم الباحثتين)

المتغير التابع	المتغيرات المتنبئة المفسرة	مُعامِل ارتباط بيرسون R	مُعامِل التحديد R Square	ف F	دلالة ف الإحصائية Sig.	بيتا غير المعيارية B	قيمة ت T	الدلالة الإحصائية Sig.
الجانب الجمالي	الثابت	.963a	.927	19.102	.020b	-33.882	-.460	.677
	الجانب الوظيفي					1.121	6.091	.009
	الجانب التكنولوجي					.246	.336	.759

لمعرفة العلاقة بين كفاءة ومدى تأثير وتأثر الجانب الجمالي لمنتج الأزياء أو النماذج المطبوعة وفق الطباعة ثلاثية الأبعاد من جانب والمتغيرات المستقلة المفسرة (الجانب الوظيفي والجانب التكنولوجي) من جانب آخر، وصياغة معادلة خط الانحدار، فقد بُنيَ نموذج الانحدار على افتراض أن المحور الأول (الجانب الجمالي) متغير تابع، ووضع باقي محاور التقييم الأخرى (الجانب الوظيفي، والجانب التكنولوجي) كمتغيرات تفسيرية مستقلة، وعليه جرت الاستعانة بنموذج الانحدار الخَطي المتعدد.

نجد أنَّ قيمة مُعامِل بيرسون للارتباط بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع تساوى 0.963، بقيمة مُعامل التحديد (R Square) تساوى 0.927، وهذا معناه أنَّ المتغيرات المستقلة (X1,X2) تفسر تقريبًا 93% من التباين في التغيرات التي تحدث في المتغير التابع Y، وهى نسبة مرتفعة جدًّا، والنسبة الباقية تقريبًا 7%، وهي نسبة هامشية ترجع إلى عوامل أخرى، منها: الخطأ العشوائي.

الاستنتاج: أي إنَّ محورَي الدراسة الثاني والثالث (الجانب الوظيفي والجانب التكنولوجي) قادران على تفسير 93% تقريبًا من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع الأول (الجانب الجمالي للطباعة ثلاثية الأبعاد).

كما يتضح أيضًا من الجدول (9) لتحليل التباين (ANOVA) لاختبار معنوية نموذج الانحدار أنَّ نموذج الانحدار ككل معنوي الدلالة، وذلك من خلال قيمة (ف F) البالغة 19.102 بدلالة معنوية 0.020 أي جاءت أقل من مستوى المعنوية 0.05 ومن ثَمَّ فإننا نرفض الفرض الصفري الخاص بالنموذج ونقبل

الفرض البديل، وهو أن الانحدار معنوي الدلالة.

الاستنتاج: نستطيع القول إن نموذج الانحدار معنوي الدلالة، ومن ثَمَّ يوجد تأثير من المتغيرات المستقلة للدراسة على المتغير التابع (الجانب الجمالي للطباعة ثلاثية الأبعاد)، ويمكن التنبؤ بالمتغير التابع من خلال هذه المتغيرات المستقلة. كما جاءت قيمة بيتا -التي توضح العلاقة بين الجانب الجمالي والجانب الوظيفي- بقيمة (1.121) ذات دلالة إحصائية، حيث يمكن استنتاج ذلك من قيمة (ت) والدلالة المرتبطة بها، ويعني ذلك أنه كلما زاد الانتفاع من الجانب الوظيفي للتصميم بمقدار وحدة، ارتفع -بالنتيجة- مستوى كفاءة وفاعلية الجانب الجمالي في تنفيذ التصميم والنموذج المطبوع بمقدار 1.121 وحدة. وكذلك جاءت قيمة بيتا -التي توضح العلاقة بين الجانب الجمالي والجانب التكنولوجي- بقيمة 0.246 ذات دلالة إحصائية، حيث يمكن استنتاج ذلك من قيمة (ت) والدلالة المرتبطة بها، ويعني ذلك أنه كلما زاد الانتفاع من الجانب التكنولوجي للتصميم بمقدار وحدة، ارتفع -بالنتيجة- مستوى كفاءة وفاعلية الجانب الجمالي في تنفيذ التصميم والنموذج المطبوع بمقدار 0.246 وحدة.

التمثيل البياني

حُسِبَ الوزن النسبي لتقييم بنود التحكيم الثمانية عشرة في محاورها الثلاثة الناتجة عن تحكيم 8 تصاميم متنوعة تحقق "إمكانية توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم وكفاءة تنفيذ ملابس مطبوعة تحقق القيم الجمالية والوظيفية وتواكب الموضة".

وعُرضت نتائج تقييم المحكمين في الجدول (10)، وتمثيل نتائج كل محور على حدة، وفي النهاية عُرِض التقييم الإجمالي للتصميمات المنفذة من خلال عرض نتائج متوسطات المحاور معًا، رُتِّبَ نجاح التصميمات في تحقيق الفرض البحثي من خلال التقييم الإجمالي للتصميمات.

جدول (10): الوزن النسبي لنسب تحقق محاور وعبارات الاستبانة في التصميمات المنفذة (من تصميم الباحثتين)

المحور	المحور الأول: الجانب الجمالي					
العبارات	عبارة 1	عبارة 2	عبارة 3	عبارة 4	عبارة 5	عبارة 6
نسبة التحقق (%)	85.00	86.54	85.96	85.19	85.00	85.00
المحور	المحور الثاني: الجانب الوظيفي					

العبارات	عبارة 1	عبارة 2	عبارة 3	عبارة 4	عبارة 5	عبارة 6
نسبة التحقق (%)	85.77	84.04	86.73	85.77	87.12	85.00
المحور	المحور الثالث: الجانب التكنولوجي					
العبارات	عبارة 1	عبارة 2	عبارة 3	عبارة 4	عبارة 5	عبارة 6
نسبة التحقق (%)	92.31	90.77	93.85	95.38	93.85	95.38

شكل (16): تقييم مدى تحقق محاور الاستبيان وفق العبارات

شكل (17): تقييم مدى تحقق عبارات الاستبانة وفق المحاور

ومن الجدول (9) والشكلين (16) و(17) يتضح أن:

- بنود المحور التكنولوجي حققت أعلى نسب للتقييم مقارنة ببنود المحورين الجمالي والوظيفي.

- تقييم عبارات المحور التكنولوجي تراوحَ ما بين 90.77% كحد أدنى و95.38% كحد أقصى.
- العبارتان الرابعة والسادسة من عبارات المحور التكنولوجي حققتا النسبة الأعلى في تقييم المحكِّمين وهي 95.38%
- العبارة الرابعة للمحور التكنولوجي 95.38%، وتنص على: تُساير تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد التطورات التكنولوجية الحديثة في صناعة الأزياء، وهذا يتفق مع دراسة أريباس وألفارو ((Arribas & Alfaro, 2018 التي قدمت دراسة حالة تصف التجربة الحقيقية لمصمم أزياء مبدع باستخدام التكنولوجيا الرقمية ثلاثية الأبعاد بالتعاون مع شركة برمجيات، وهدفت إلى استخلاص مزايا استخدام هذه التكنولوجيا على طول العملية من الإنشاء إلى العميل، بالإضافة إلى التحديات المستقبلية لكل من شركات البرمجيات والأزياء المتعلقة بتنفيذ هذه التكنولوجيا.
- العبارة السادسة للمحور التكنولوجي 95.38%، وتنص على: تفتح تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مجالات متوسعة لإبداع المصممين في خطوط الأزياء، وهذا نتج عنه التأثير الإبداعي لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على صناعة الأزياء، وكان من أبرز مصممي الأزياء مستخدمي الطباعة ثلاثية الأبعاد:-Iris van Herpen, Melinda Looi, Noa Raviv, Zoe Jia-Yu Dai, Danit Peleg, Anstasia Ruiz ,Laura Thapthimkuna، كما تتفق مع دراسة أبو الأسعاد (2018)، حيث أثبتت الدراسة أن استخدام التكنولوجيا -المتمثلة في الطباعة ثلاثية الأبعاد- في إنتاج الملابس يساهم في فتح باب الإبداع والطلاقة أمام المصممين، للاستفادة منها في مجال الموضة والأزياء، وتعد فكرة جديدة وجديرة بأن تتضمَّنها أبحاث ودراسات فنون تصميم الموضة والأزياء.
- تقييم عبارات المحور الجمالي تراوحَ ما بين 85% كحد أدنى و86.54% كحد أقصى.
- العبارة الثانية من فقرات المحور الجمالي حققت النسبة الأعلى في تقييم المحكِّمين للمحور الجمالي وهي 86.54%، والتي تنص على: تتناسب أشكال وأحجام الزخارف الهندسية في النموذج المطبوع وتحقق قيمة جمالية.
- تقييم عبارات المحور الوظيفي تراوحَ ما بين 84.04% كحد أدنى و87.12% كحد أقصى.
- العبارة الخامسة من عبارات المحور الوظيفي حققت النسبة الأعلى في تقييم المحكمين

للمحور الوظيفي وهي 87.12%، وتنص على: تتناسب الخامة المستخدمة مع التصميم المنفذ للقطع المطبوعة.

جدول (11): الوزن النسبي لتقييم محاور التصميمات المنفذة من خلال بنود الاستبانة المحكمة

المحاور	محاور التقييم			متوسط التقييم الإجمالي
	المحور الأول	المحور الثاني	المحور الثالث	
المتوسط	85.45	85.74	93.59	88.26

(من تصميم الباحثتين)

شكل (18): تقييم مدى تحقق محاور الاستبانة

ومن الجدول (11) والشكل (18) يتضح الآتي:

- بلغ متوسط تحقق المحور الأول (الجانب الجمالي) في التصميمات الثمانية (85.45%)، مسجلًا المركز الثالث بين المحاور الثلاثة وفق تقييم المحكمين.
- بلغ متوسط تحقق المحور الثاني (الجانب الوظيفي) في التصميمات الثمانية (85.74%)، مسجلًا المركز الثاني بين المحاور الثلاثة وفق تقييم المحكمين.
- بلغ متوسط تحقق المحور الثالث (الجانب التكنولوجي) في التصميمات الثمانية (93.59%)، مسجلًا المركز الأول بين المحاور الثلاثة وفق تقييم المحكمين.
- أظهرت النتائج أنَّ بنود المحور الثالث -التي تقيس الجانب التكنولوجي- قد تحققت إجماليًّا بنسبة أعلى من المحاور الأخرى.

1- بلغ متوسط التقييم الإجمالي لمحاور الدراسة الثلاثة (88.26%) وفق آراء وتقييم المحكمين

للتصميمات الثمانية، وهي نسبة مرتفعة تعكس مدى نجاح التجربة البحثية في تطبيق تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد الحديثة في مجال تصميم وتنفيذ الأزياء.

شكل (19): تقييم المحور الأول: تحقق الجانب الجمالي

ومن الشكل (19) نجد أن أعلى التصميمات تحقيقًا للمحور الأول -الذي يقيس الجانب الجمالي- هو التصميم الخامس، حيث بلغت نسبة التقييم (95.64 %)، بينما سجل التصميم الثالث أقل نسبة تحقق للمحور الأول بنسبة بلغت (75.64 %) وفق تقييم المحكمين للتصميمات الثمانية.

شكل (20): تقييم المحور الثاني: تحقق الجانب الوظيفي

ومن الشكل (20) نجد أن أعلى التصميمات تحقيقًا للمحور الثاني -الذي يقيس الجانب الوظيفي- هو التصميم الخامس، فقد بلغت نسبة التقييم (94.10%)، بينما سجَّل التصميم الرابع أقل نسبة تحقق للمحور الثاني بنسبة بلغت (76.41 %) وفق تقييم المحكمين للتصميمات الثمانية.

شكل (21): تقييم المحور الثالث: تحقق الجانب التكنولوجي

يوضح الشكل (21) نِسَب تحقق المحور الثالث -الذي يقيس الجانب التكنولوجي- وجاءت العبارتان الرابعة والسادسة لتحققا أعلى نسبة، فقد بلغت نسبة التقييم (95.38 %)، بينما سجلت العبارة الثانية أقل نسبة تحقق للمحور الثالث (90.76 %).

شكل (22): ترتيب التصميمات الثمانية حسب التقييم الإجمالي تبعًا لآراء المحكمين

وبتحليل التقييم الإجمالي لتحقق محاور الدراسة الثلاثة في التصاميم الثمانية المقترحة لعرض مدى نجاح الدراسة البحثية، وفق الشكل (22)، نجد أن التصميم الخامس قد سجل أعلى درجة تقييم من المحكمين (94.87%) كإجمالي تقييم تحقيقًا لمحاور الدراسة، وصولًا لأهداف البحث، يليه التصميم السادس (92.44%) كأفضل ثاني تصميم، ثم التصميم الأول (90.90%) كأفضل ثالث تصميم، بينما سجَّل التصميم الرابع أقل درجة تقييم من المحكمين (77.05%) بين التصميمات الثمانية المنفذة.

وبلغ متوسط نسبة تحقق التقييم الإجمالي لمحاور الدراسة في التصميمات الثمانية (88.26%)، وهي نسبة عالية تدل على حُسن اختيار محاور البحث.

خلاصة النتائج

- أدى توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الملابس إلى تصميم وتصنيع الملابس المطبوعة بما يحقق الاستدامة وتقليل الإهدار، كما يحقق أيضًا القيم الجمالية والوظيفية لها.
- صدق وثبات أدوات الدراسة البحثية.
- التجانس بين متوسطات محاور أدوات الدراسة.
- علاقة الارتباط بين المتغيرات –محل الدراسة– جاءت معنوية، أي إنها لا تساوي الصفر.
- أمكن من خلال التمثيل البياني لنتائج تقييم فقرات الاستبانة التوصل لأفضل الفقرات تقييمًا من حيث تحقق كل محور من محوري الاستبانة على حدة، كما أمكن تقدير متوسط التقييم الإجمالي لمحوري الدراسة.
- تحقق الفرضية البحثية: "وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات محور الجانب الجمالي والوظيفي والجانب التكنولوجي، ومعرفة درجة التأثير على إمكانية نجاح توظيف تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال تصميم وكفاءة تنفيذ نماذج الأزياء المطبوعة".
- أمكن من خلال التمثيل البياني لنتائج تقييم التصميمات التوصل لأفضل التصميمات من حيث تحقق كل محور من محاور الاستبانة على حدة، كما أمكن ترتيب التصميمات من حيث التقييم الإجمالي لمحاور الاستبانة الثلاثة.

التوصيات

- ابتكار تصاميم وخامات جديدة بواسطة برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد.
- إعداد مقرر لطالبات الجامعات يخص الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأزياء.
- زيادة الفرص لتنمية المشاريع الصغيرة، وذلك باستعمال طابعة ثلاثية الأبعاد من نوع FDM.

المراجع

أبو الأسعاد، مروة السيد إبراهيم. (2018). دراسة تحليلية لأثر الطباعة ثلاثية الأبعاد على الموضة والأزياء. مجلة التصميم الدولية. العدد 8، المجلد (1)، 166-157.

الجمل، جيهان محمد. (2016). أقمشة ملابس السيدات المطبوعة ثلاثية الأبعاد. مجلة التصميم الدولية. العدد (3)، 259-270.

تعريف ومعنى "صناعة" في معجم المعاني الجامع- معجم عربي. المعاني:

/https://www.almaany.com/ar/dict/ar-ar/%D8%B5%D9%86%D8%A7%D8%B9%D8%A9

عطية، رانيا نبيل زكي. (2016). تقنيات ثلاثية الأبعاد في تصميم وإنتاج الملابس. مجلة التصميم الدولية. العدد 6، المجلد (4)، 55-66.

يوسف، سليمان إبراهيم، والأسعد، محمود، والإبراهيم، ماهر. (2019). تحسين خواص الأسطح المصنعة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية نمذجة ترسيب المنصهر FDM لمنتجات ABS. مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات. العدد 3، المجلد (4)، 42-54.

ليبسن، هود، وكيرمان، ميلبا. ترجمة: إبراهيم، زياد. (2017): الطباعة الثلاثية الأبعاد. المملكة المتحدة، مؤسسة هنداوي سي آي سي.

References

Abu Al-Asaad, Marwa Al-Sayyid Ibrahim. (2018). An analytical study of the impact of 3D printing on fashion. International Design Journal.8(1), 157-166

Al-Jamal, Jihan Muhammad. (2016). 3D printed ladies clothing fabrics. International Design Journal. 6(3), 259-270.

Attia, Rania Nabil Zaki. (2016). 3D techniques in clothing design and production. International Design Journal. 6(4), 55-66.

Arribas, V., & Alfaro, J. A. (2018). 3D technology in fashion: from concept to consumer. Journal of Fashion Marketing and Management. 22(2), 240–251. https://doi.org/10.1108/jfmm-10-2017-0114

Bitonti, F. (2019). 3D Printing Design. Great Britain: Bloomsbury Publishing.

Chan, I., Au, J. S., Ho, C. P., & Lam, J. (2021). Creation of 3D printed fashion prototype with multi-coloured texture: a practice-based approach. International Journal of Fashion Design, Technology and

Education. 14(1), 78–90.

Chakraborty, S., & Biswas, M. C. (2020). 3D printing technology of polymer-fiber composites in textile and fashion industry: A potential roadmap of concept to consumer. Composite Structures. 248, 112562. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112562

Danit. (n.d.). About Danit Peleg: https://danitpeleg.com/about/

Kristen, P. (2017). Printed to the Nines: Why 3D-Printing Will Transform the Fashion Industry. Washington, DC: new degree press.

Kloski, L. W., & Kloski, N. (2016). Getting Started with 3D Printing. Canada: Maker Media.

Kim, S. C., Seong, H., Her, Y., & Chun, J. (2019). A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. Fashion and Textiles. 6(1). https://doi.org/10.1186/s40691-018-0162-0

Kwon, Y., Lee, Y., & Kim, S. (2017). Case study on 3D printing education in fashion design coursework. Fashion and Textiles. 4(1). https://doi.org/10.1186/s40691-017-0111-3

Nightingale, P. (2014). What is Technology? Six Definitions and Two Pathologies. Social Science Research Network. https://doi.org/10.2139/ssrn.2743113

-Obudho, B. (2018, December 21). The 3D Printer Filament Recycler's Guide. Retrieved from ALL3DP: https://all3dp.com/2/the-3d-printer-filament-recycler-s-guide/

Pakkanen, J. A., Manfredi, D., Minetola, P., & Iuliano, L. (2017). About the Use of Recycled or Biodegradable Filaments for Sustainability of 3D Printing. In Smart innovation, systems and technologies (pp. 776–785). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_73

Pearson, A. (2020, March 25). 2D Fashion Meets 3D Printing in Noa Raviv's New Award-Winning Collection. https://www.stratasys.com/explore/blog/2014/noa-raviv-3d-printing-fash

Valtas, A., & Sun, D. (2016). 3D Printing for Garments Production: An Exploratory Study. Journal of Fashion

Technology & Textile Engineering. 04(03). https://doi.org/10.4172/2329-9568.1000139

VanderPloeg, A., Lee, S. H., & Mamp, M. (2016). The application of 3D printing technology in the fashion industry. International Journal of Fashion Design, Technology and Education. 10(2), 170–179. https://doi.org/10.1080/17543266.2016.1223355

Wild, J. (2020). 3D Printing 101: The Ultimate Beginner's Guide. Germany.

Zukas, V., & Zukas, J. A. (2015). An Introduction to 3D Printing. Sarasota, FL: First Edition Design Publishing.

Youssef, Suleiman Ibrahim, Al-Asaad, Mahmoud, and Al-Ibrahim, Maher. (2019). Improving the properties of surfaces manufactured by 3D printing with FDM technology for ABS products. Journal of Engineering Science and Information Technology, 3(4), 42-54.