أثر الاستفادة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج العبوات البلاستيكية

The Impact of Utilizing 3D Printing Techniques on the Production of Plastic Packages

أ.د/ عبير سيد محمود

أستاذ تكنولوجيا إنتاج عبوات التغليف ورئيس قسم الطباعة والنشر والتغليف - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

Prof. Abeer Sayed Mahmoud

Professor of packaging technology production& Head of the printing, publishing and packaging department, Faculty of Applied Arts - Helwan University

Abeerfsayed50@yahoo.com

أ. د/ عبد الرحمن رجب حسن

أستاذ إدارة الإنتاج بقسم الطباعة والنشر والتغليف - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

Prof. Abdul Rahman Rajab Hassan

Professor of Production Management, Printing, Publishing & Packaging Department, Faculty of Applied Arts - Helwan University

Info@appliedart-eg.com

م. د/ أحمد مصطفى رموزى

مدرس بقسم التصميم الصناعى كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان

Dr. Ahmed Mustafa Romouzy

Lectruer in Industrial Design Department, Faculty of Applied Arts - Helwan University

ahmed_romouzy@hq.helwan.edu.eg

الباحثة/ سارة شكرى على

بكالوريوس الطباعة والنشر والتغليف كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

Researcher. Sara Shokry Aly Hassan

Bachelor of Printing, Publishing and Packaging Dept. Faculty of Applied Arts, Helwan University

Sarsh-84@hotmail.com

ملخص البحث

أحدثت الطباعة ثلاثيَّة الأبعاد **ثورة تكنولوجية صناعية** من خلال تصنيع منتج ثلاثي الأبعاد مجسم وملموس عن طريق تصميمه على الحاسوب و طباعته (تصنيعه) بالطابعات ثلاثية الأبعاد . وتتعدد استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى العديد من المجالات منها **مجالات الفضاء والطب والترفيه والتعليم** و مجالات التصنيع والتغليف وتقتصر إستخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى السوق التغليف المصرى على انتاج النماذج الأولية (نماذج تُصنع لإختبار تصميم معين وتجربته ليقوم بوظيفة معينة قبل الإقبال على انتاج كمية كبيرة منه). يهدف البحث إلى الاعتماد على الطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج النماذج الأولية والمشخصنة والانتاج المحدود لعبوات التغليف بغرض الاستفادة من المميزات العديدة التى توفرها الطباعة ثلاثية الأبعاد منها **انخفاض التكلفة المبدئية** مما يؤدى إلى حل لمشكلة نقص الموارد المتاحة مع صغار المستثمرين, وهى ميزة من شأنها تشجيع الكثيرين علي الاستثمار مما بدوره يزيد من عجلة الانتاج **وتقليل الوقت** اللازم لعملية التصنيع مما يساعد فى زيادة سرعة دورة الانتاج و **حرية تصميم وانتاج**

العبوات ذات الهيكل البنائى المعقد بالإضافة إلى التخلص من المشاكل و القيود التي تفرضها الطرق التقليدية (القولبة بالحقن وقولبة الحقن بالنفخ) ممثلة فى صعوبة انتاج النماذج الأولية المعقدة وإهدار الوقت والتكلفة العالية للعمالة وأدوات القولبة

إن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فى مجال انتاج عبوات التغليف محليا يقتصر على انتاج النماذج الأولية. ولتحقيق الاستفادة القصوى من تلك التقنية في مجال التغليف محليًا لابد من دراسة الجوانب الاقتصادية والفنية للتقنيات المختلفة للطباعة ثلاثية الأبعاد وكذلك الخامات المستخدمة ومدى موائمة تلك التقنيات للمواصفات الخاصة بالمنتج المطلوب واحتياجات المستهلك والسوق المصرى. فمع انخفاض تكاليف الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل كبير من المتوقع التوسع فى نطاق تطبيقاتها بما يناسب التطور التقنى للطباعة ثلاثية الأبعاد وما تملكه من حلول إبداعية فى مجال تصميم عبوات التغليف

الكلمات الدالة:
الطباعة ثلاثية الأبعاد – النماذج الأولية – تقينة نمذجة الترسيب المنصهر

ABSTRACT

3D printing has revolutionized the industrial technology by manufacturing a three-dimensional, tangible and concrete product by designing it on a computer and printing it (manufacturing it) with 3D printers. The uses of three-dimensional printing in many areas, including space, medicine, entertainment, education, manufacturing and packaging, and the uses of three-dimensional printing in the Egyptian packaging market are limited to the production of prototypes (models that are made to test a specific design and try it to do a certain job before the large amount of it is required) . Relying on 3D printing in the production of prototypes and packaging packages is intended to take advantage of the many advantages that 3D printing provides, including lower initial cost, and thus has provided a solution to the problem of lack of available resources with small investors, a feature that encourages many to invest, which in turn increases From the production wheel and reducing the time needed for the manufacturing process, which helps to increase the speed of the production cycle and freedom to design and produce packages with a complex structural structure in addition to getting rid of problems and restrictions imposed by traditional methods such as injection molding Represented in the difficulty of producing complex prototypes, wasting time, high cost of labor, and molding tools .The use of 3D printing in the field of manufacturing packaging locally is limited to the production of prototypes. In order to make the most of this technology in the field of packaging locally, it is necessary to study the economic and technical aspects of the various technologies for 3D printing, as well as the materials used and the extent of the compatibility of these technologies with the specifications of the required product and the needs of the consumer and the Egyptian market. With the greatly reduced costs of 3D printing, the range of its applications is expected to expand to suit the technological development of 3D printing and its innovative solutions in the field of packaging design

Key words:
3d printing – prototype – fused deposition molding

مقدمة البحث

لاشك أن الطباعة ثلاثية الأبعاد أصبحت تشكل ثورة صناعية جديدة من شأنها تغيير الواقع والمستقبل لما تملكه من تقنيات فريدة تختلف جوهريا عن الطرق التقليدية فى التصنيع بمختلف المجالات والمتبعة حاليًا والتى يجابهها الكثير من التحديات .

فالطباعة ثلاثية الأبعاد قائمة بالأساس على تكنولوجيا متقدمة فى التصنيع لبناء الأجزاء بالتجميع فى طبقات أصغر من مقياس المليمتر، مما يجعلها تنفرد بالدقة الفائقة والجودة العالية للمجسمات التى تقوم الطابعات بانتاجها. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه التقنية توفر الخامات الأولية المستخدمة عن طريق إخراج الكمية المطلوبة فقط مع امكانية اعادة استخدام المواد الخام المتبقية مرة أخرى. كما أن تلك التقنية لها القدرة على انتاج نماذج سريعة ذات أشكال مركبة مهما بلغ تعقيدها فليس هناك حدود لمدى تعقيد التصميم حيث يمكن الحصول على المنتج بأى الشكل مطلوب وبالتعديلات التي يمكن ان تطرأ عليه فى كل مرة وهذا يمثل إحدى الخصائص الفريدة لتلك التقنية وهى القدرة على التخصيص فى الانتاج.

دفعت تلك المميزات الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى اقتحام مجالات عديدة مثل الطب والأجهزة التعويضية والتعليم وصناعة السيارات والطيران وأجهزة الفضاء والأثاث وغيرها

ولا تتوقف الصناعة عند ما تم إنجازه في المجالات المذكورة فقط بل استطاعت أيضا اقتحام مجال التغليف الذى يقتصر فى الوقت الحالى تجاه انتاج النماذج الأولية والانتاج المشخصن والانتاج المحدود على مستوى العالم.

وفي المقابل نجد أن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فى مجال انتاج عبوات التغليف محليا يقتصر على انتاج النماذج الأولية. ولتحقيق الاستفادة القصوى من تلك التقنية في مجال التغليف محليًا لابد من دراسة الجوانب الاقتصادية والفنية للتقنيات المختلفة للطباعة ثلاثية الأبعاد وكذلك الخامات المستخدمة ومدى موائمة تلك التقنيات للمواصفات الخاصة بالمنتج المطلوب واحتياجات ورغبات المستهلك والسوق المصرى. فمع انخفاض تكاليف الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل كبير من المتوقع التوسع فى نطاق تطبيقاتها بما يناسب التطور التقنى للطباعة ثلاثية الأبعاد وما تملكه من حلول إبداعية فى مجال تصميم عبوات التغليف ولكن يبقى المدى الذي قد تبلغه هذه التقنية صعب التوقع.

مشكلة البحث

- لا توجد استفادة كافية من استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج النماذج الأولية و المشخصنة والانتاج الكمى المحدود لعبوات التغليف
- قصور فى تحديد الفاعلية التقنية لتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى سوق التغليف المصرى

فروض البحث

- يحقق اختيار التقنيات والخامات المناسبة للطباعة ثلاثية الأبعاد من الناحيتين الفنية والإقتصادية أعلى درجة محاكاة بين النموذج الأولى والعبوة النهائية (للأنواع المختلفة للعبوات).
- تطبيق الطباعة ثلاثية الأبعاد فى مجال التغليف يخلق بيئة تنافسية مختلفة وفريدة من شأنها تحقيق رغبات وإحتياجات المستهلك بما يتلائم مع التطور التكنولوجى لتلك التقنية فى مجال انتاج النماذج الأولية على نطاق أوسع فى المستقبل وتحديد أوجه الاستفادة منها.

أهداف البحث

- تحديد تقنيات وخامات الطباعة ثلاثية الأبعاد التى تحقق أعلى درجة من محاكاة النموذج الأولى لشكل العبوة النهائية (للأنواع المختلفة من العبوات) من خلال تصنيف تلك التقنيات والخامات المختلفة.

- تحديد مدى الملائمة التقنية لاستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فى مجال انتاج النماذج الأولية والمشخصنة والانتاج المحدود لعبوات التغليف محليًا.
- تحقيق أقصى استفادة ممكنة لتلك التقنية فى مجال انتاج عبوات التغليف وخلق بيئة تنافسية جديدة فى مجالات انتاج النموذج الأولى والعبوات التى تنتج عند الطلب أو لأغراض خاصة.

أهمية البحث

- تعظيم الاستفادة والاستغلال الأمثل للتقنيات المختلفة للطباعة ثلاثية الأبعاد فى تطوير انتاج عبوات التغليف، مع دراسة الخامات الملائمة والجوانب الفنية والاقتصادية لكل تقنية بما يتلائم مع شكل المنتج المطلوب تصنيعه.

منهج البحث

- يعتمد البحث على استخدام المنهج الوصفى والتحليلى، والمنهج التجريبى للوصول إلى هدف البحث عن طريق الدراسة والملاحظة وتجميع البيانات وتحليلها، وإجراء التجارب العملية والقياسات.

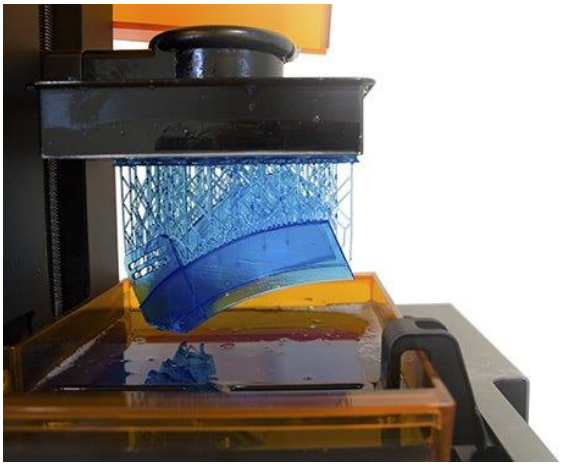
- **الدراسة النظرية:ـــ**
- **الطباعة ثلاثية الأبعاد:**
- الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية تصنيع مضافة (AM) لتصنيع مجموعة واسعة من الهياكل والأشكال الهندسية المعقدة من بيانات نموذج ثلاثي الأبعاد (3d). تتكون العملية من طباعة طبقات متتالية من المواد التي يتم تشكيلها فوق بعضها البعض[3] تتنوع تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد فى السوق المصرى لتستوعب الأغراض والتطبيقات المحتلفة، وعلى الرغم من اختلاف مسارية الطباعة لكل تقنية إلا أنها تتشابه جميعها وتشترك فى ثلاث مراحل أساسية:

- **١- مرحلة ما قبل الطبع**
- تبدأ تلك المرحلة عادة بإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للمجسم المراد طباعته بواسطة برنامج CAD سيكون هذا الملف بمثابة مخطط للماكينة ، من خلال تحديد الحدود الخارجية والأدلة للخامة التى يتم تكوينها طبقة تلو الأخرى. يتم بعد ذلك تحويل النماذج ثلاثية الأبعاد إلى ملف قابل للقراءة للبرنامج الخاص بالطباعة (ملف .STL). [4]

- **٢- مرحلة الطبع**
- تتضمن الخطوة الثانية من الطباعة ثلاثية الأبعاد طباعة المجسم أو بنائه.بعد تحميل الملف على الطابعة ثلاثية الأبعاد ستستخدم الطابعة ثلاثية الأبعاد الإرشادات الموجودة في الملف الخاص لتحديد مكان وكيفية ترسيب الخامة.ستقوم الطابعة ثلاثية الأبعاد ببناء الطبقة السفلية أولاً من ثم الطبقات الأعلى. قد تستخدم الطابعات ثلاثية الأبعاد مواد مختلفة لبناء الأشياء ، إلا أن اللدائن الحرارية هي أكثر المواد شيوعًا المستخدمة في هذه العملية. [5]

- **٣- مرحلة المعالجة أو مرحلة ما بعد الطبع**
- تتعدد تقنيات معالجة ما بعد الطباعة المستخدمة اعتمادًا على الخامة المستخدمة وجودة الطباعة والنتيجة النهائية المرغوبة ونوع الطباعة وما إلى ذلك ،.تشمل بعض تقنيات المعالجة ما بعد الطبع: إزالة مادة الدعم أو الحواف و صنفرة المجسم المطبوع و عمليات اللصق و الطلاء [6]

- **تصنيفات الطباعة ثلاثية الأبعاد طبقا لطبيعة المادة الخام المستخدمة**
- ويمكن تصنيف الطرق المختلفة تبعا للخامات المستخدمة فى تلك الطرق كالتالى
- **١- الطرق ذات القاعدة السائلة:**
- تعتبر الطرق ذات القاعدة أول تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد التي ظهرت مع تسويق تقنية الحفر المجسم (SLA) في عام ١٩٨٧ من قبل أنظمة ثلاثية الأبعاد ويعتمد بناء القطع أو الأجزاء فى الطرق ذات القاعدة السائلة على تصلب الراتنجات السائلة الفوتوبولمرية وهى راتنجات عضوية يتم تصلبها عند تعرضها لأشعة الليزر مكونة طبقة رقيقة صلبة تنخفض تلك الطبقة باستخدام أنظمة تحكم فى الإرتفاع لتسمح للطبقة التالية بتغطيتها وتستمر تلك العملية حتى اكتمال القطعة أو الجزء كما هو موضح بالشكل (١) ثم تجفيف الوعاء وإزالة القطعة لإجراء المزيد من المعالجة إذا لزم الأمر[2].



شكل رقم (١) إحدى تقنيات الطرق ذات القاعدة السائلة

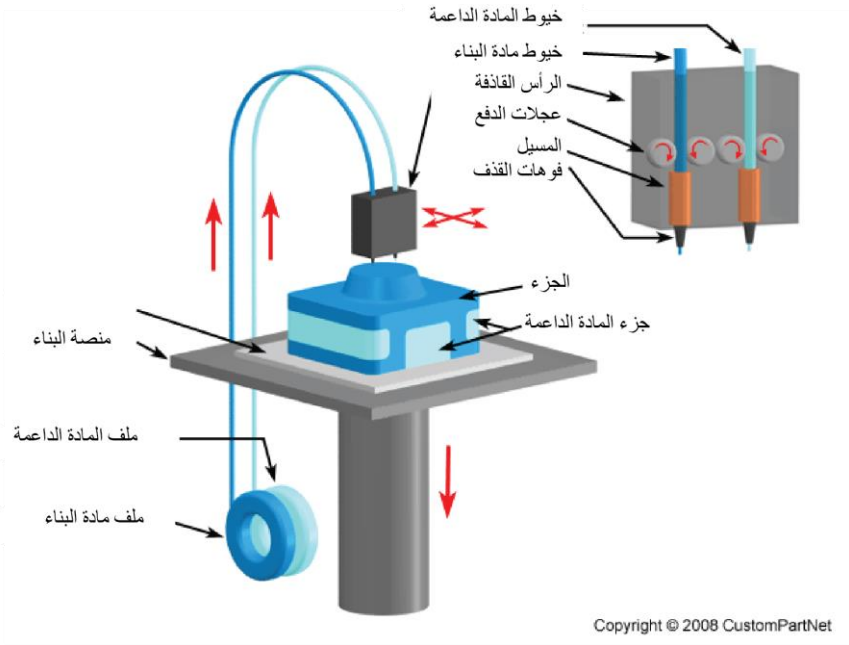
- **٢- الطرق ذات قاعدة من المسحوق:**
- هى فئة واسعة الانتشار من الطابعات ثلاثية الأبعاد تتم بها عملية لصق الطبقات المتتالية من المادة الخام مع بعضها البعض يمكن الحصول عليها عن طريق نفث المادة اللاصقة فى كل طبقة من طبقات المسحوق أو عن طريق صهر حبيبات المسحوق معا باستخدام الليزر أو أى مصدر حرارى أخر [7] كما هو موضح بالشكل (٢).

شكل رقم (٢) إحدى تقنيات الطرق ذات القاعدة المسحوقية

- **٣- الطرق ذات قاعدة من المواد الصلبة:**
- يوجد نوع أخر من الطابعات ثلاثية الأبعاد تعتمد على انتاج المجسمات عن طريق بثق المواد الخام المنصهرة أو مواد شبه سائلة من فوهات الرأس الطابعة. تعد تلك الطابعات الأكثر شيوعا وتعتمد على بثق المواد الثرموبلاستيكية. [1] كما هو موضح بالشكل (٣)

الشكل (٣) يوضح إحدى ماكينات الطرق ذات القاعدة من المواد الصلبة

- **أشهر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة لانتاج العبوات البلاستيكية فى مصر:**
- **تقنية النمذجة بالترسيب المنصهر**
- هى إحدى أهم تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد التى يمكننا انتاج أجزاء هندسية معقدة عبر عمليات الصهر والترسيب والتصلب للثرموبلاستيك طبقة تلو الأخرى. [8]



شكل رقم (٤) نمذجة الترسيب المنصهر

- **وتنقسم عملية التصنيع المضافة بإستخدام تقنية الترسيب المنصهر إلى ثلاث مراحل:**
- **أولا: عملية ما قبل البناء**

تعتبر المرحلة الأولى لكل تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد وتشمل قراءة ملف CAD الخاص بالمجسم المراد بناؤه و تحويله إلى مجموعة من الشرائح والطبقات الأفقية. [9]

- **ثانيا: عملية البناء**

يتم فى البداية رفع درجة حرارة رأس الباثقة وتثبيتها حراريا ثم تقوم بسحب مادة البناء والمادة الداعمة من ملفات التخزين. تلك الخيوط من الثرموبلاستيك تنصهر فى رأس البثق وتتحول لحالة لدنة شبه منصهره ثم تُرسب وتُصلب على منصة البناء بمجرد الإنتهاء من الطبقة التى يتراوح سمكها فى العادة ما بين ١٧٢. إلى ٣٦٥. مم (يتوقف على إحتياجات النموذج) فإن منصة البناء تهبط لأسفل للسماح ببناء الطبقة التالية من رأس البثق قد تستغرق تلك العملية بضع دقائق إلى عدة ساعات وذلك يرجع لمدى تعقيد وحجم الجزء المراد بناؤه.[1]

- **ثالثا: عملية ما بعد البناء**

يتم فصل جزء المادة الداعمة عن المجسم النهائى ثم تنظيفه.

مميزات تقنية النمذجة بالترسيب المنصهر

1. تعتبر آلات نمذجة الترسيب المنصهر من بين أكثر وسائل انتاج النماذج الأولية بتكلفة إنتاجية معقولة.

2. تتمثل الميزة الفريدة لـ FDM في القدرة على تقليل الوزن الجزئي عن طريق انشاء أجزاء مجوفة جزئيًا. بدلاً من طباعة نواة صلبة، يمكن استخدام نقش متقاطع بدلاً من ذلك. يسمح ذلك بتخفيض الوزن وتقليل وقت الطباعة دون المساس بالسلامة الهيكلية بشكل كبير.

3. نطاق واسع من مجموعة المواد المستخدمة . حيث يمكن استبدال المواد بسهولة . [10]

خامات طريقة النمذجة بالترسيب المنصهر

تستخدم الطابعات الخاصة بتقنية نمذجة الترسيب المنصهر خيوط من اللدائن الحرارية التى تكون فى شكل بكر(يبلغ قطرها١,٧٥ أو٣مم) ..ويتعدد اللدائن المستخدمة فى تلك التقنية منها حمض اللبنيكPLA و أكريلونتريل بوتادين ستايرين ABSو البولى كربوناتPC و البولى أميد أو النايلونNYLON و البولى إثير كيتون PEEK والبولى يورثان الحرارىTPU [11]

أهمية إستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فى سوق التغليف المصرى

١. **انخفاض التكلفة الأولية:** تعتبر التكلفة المبدئية للطابعات ثلاثية الأبعاد أقل منها فى الطرق التقليدية للانتاج نظرا لعدم وجود عمليات تجهيزية كإعداد القالب وغيرها، بينما التكلفة الأولية تعد مرتفعة للغاية فى حالة القولبة بالحقن وقولبة النفخ بالحقن تصل إلى الآلاف الجنيهات للقالب واحد ، إذا كنت تبحث عن الطلب والانتاج على نطاقات أصغر حجمًا [12] ، فستكون الطباعة ثلاثية الأبعاد هي الحل الأكثر فعالية من حيث التكلفة والكفاءة

2- تستغرق العبوات المنتجة باستخدام طرق التصنيع التقليدية وقتًا أطول بشكل عام ، حيث يلزم تصنيع قوالب قبل البدء فى الانتاج. في بعض الأحيان ، قد يستغرق تحضيرها ما يصل إلى أشهر ،. يستغرق الأمر ١٥-٦٠ يومًا (وأحيانًا أكثر) للحصول على الجزء الأول بينما لا يتطلب الأمر فى الطباعة ثلاثية الأبعاد استخدام القوالب. [13]

٣-**سهولة طباعة التصاميم المعقدة:** ، يمكنك الانتقال من تصميم CAD إلى طابعاتFDM في ثوانٍ من خلال برامج وسيطة عند النظر في تحويل الفكرة في رأسك إلى منتج حقيقي أو جزء منه ، إن طبيعة الانتاج للطباعة ثلاثية الأبعاد تجعلها مثالية لانشاء الهياكل البنائية المركبة. الأجزاء والمنتجات ذات الأشكال المعقدة والزوايا والأبعاد هي الأفضل والأكثر كفاءة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بالمقارنة بالطرق التقليدية. [14]

٤- انتاج الكميات المحدودة والنماذج الأولية والعبوات المشخصنة:

يكمن التأثير الأكبر للطباعة ثلاثية الأبعاد على السلع الاستهلاكية في امكانية طباعة منتجات بكميات محدودة ، مصممة خصيصًا لمتطلبات المستهلكين.، حيث تُصنع المنتجات عادةً بكميات كبيرة باستخدام الطرق التقليدية ويعتبر انتاج المنتجات المخصصة على دفعات صغيرة غير فعال من حيث التكلفة والوقت (15)

توفر الطباعة ثلاثية الأبعاد مزايا عديدة للتطبيقات منخفضة الكمية مثل النماذج الأولية والعبوات المشخصنة منها السرعة العالية والتكلفة المنخفضة. نظرا لقلة الوقت المستغرق لإعداد الماكينة وعدم الحاجة إلى إنشاء أداة قوالب مكلفة (16)

-السماح بإجراء تغيرات متعددة.

وعندما تحتاج إلى تغييرات في المنتج ، ستجد نفسك تنفق مبالغ غير عادية من المال والوقت في تصنيع قوالب جديدة لإجراء تلك التغييرات (17) . سيتيح وقت التشغيل السريع والتكلفة المنخفضة للطباعة ثلاثية الأبعاد اختبار وجمع الملاحظات وتحديد وتغيير العديد من الاختلافات اللازمة لمنتجك النهائي.

٦. **التحكم في مستويات المخزون من المواد الخام المستخدمة**: وهو ما يعنى طلب ما تحتاجه وهو ما يعتبرغير متاح فى حالة الاستعانة بالطرق التقليدية للقولبة (18)

الدراسة التطبيقية

1- مسارية انتاج نموذج أولى لعبوة الذرة

أولا المواصفات الفنية للعبوة

(أ) نوع المنتج : حبوب الذرة الحلوة

(ب) الوزن المعبأ : ٢٣٠جرام

(ج) الخامة المستخدمة

حمض اللبنيك (Polylactic Acid (PLA : هو أحد مواد بوليمرات البلاستيك الحراري المستمدة من مصادر طبيعية مثل نشا الذرة. وهي إحدى أهم المواد شيوعا لطابعات تقنية نمذجة الترسيب المنصهر

خصائص حمض اللبنيك (PLA)

تتميز خامة حمض اللبنيك باستخدام آمن مع المواد الغذائية وينتج عادة مجسمات ذات تفاصيل سطح أفضل وأكثر دقة مما يجعله مثاليا للأجزاء الصغيرة إلى جانب سهولة إجراء عمليات المعالجة ما بعد الطبع للخامة

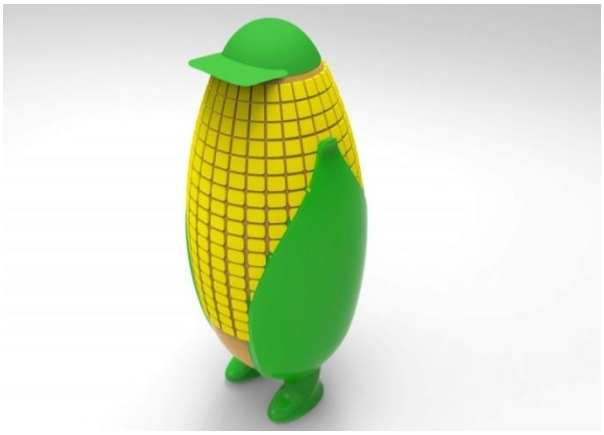
ثانيا: مواصفات الماكينة المستخدمة

تم استخدام ماكينة Creality Ender 3 Pro وهى إحدى ماكينات نمذجة الترسيب المنصهر FDM مقاس ٢٢٠ X٢٢٠ X٢٥٠مليمتر بسرعة تصل ٤٠ مم / ثانية تقوم بالطباعة برأس طابعة واحدة ذو درجة حرارة تصل إلى ٢٠٠ درجة مئوية

الشكل (٥) يوضح شكل الماكينة

ثالثا تصميم العبوة

تم اختيار العبوة الفائزة بالمركز الثالث فى مسابقة إستارباك ٢٠١٨ للمصممة دينا خطاب حيث صُممت العبوة على أشهر برامج التصميم ثلاثي الأبعاد السوليدورك SolidWork و يتم حفظ الملف بصيغة (.Stl) وهي الصيغة المقبولة في الطباعة ثلاثية الأبعاد.تم تقسيم العبوة لثلاثة أجزاء إلى جانب الجزء الخاص بغطاء العبوة نظرا لندرة الماكينات الطابعة لأكثر من خامة فى نفس الوقت . من ثم يتم لصق الأجزاء مع بعضها البعض بعد الطباعة



الشكل (٦) يوضح الهيكل البنائى للعبوة المراد إنتاجها

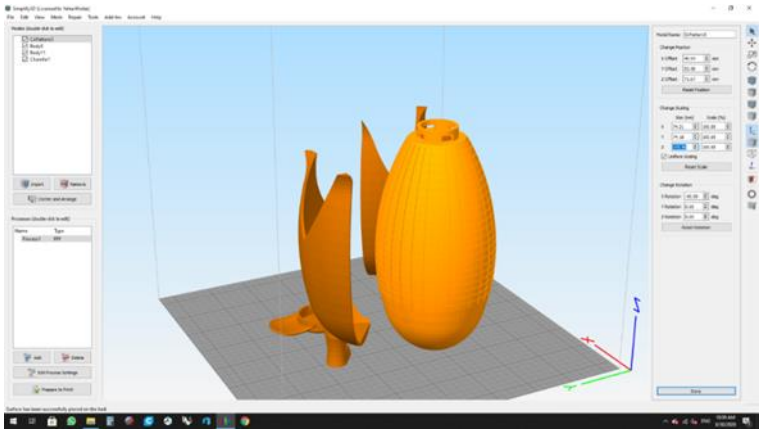
رابعا تحويل التصميم إلى كود تفهمه الطابعة (جي كود G-Code)

الطابعة ثلاثية الأبعاد عبارة عن آلة ميكانيكية (هيكل ومحركات) متصلة بجزء إلكتروني (وهو المتحكم في حركة الآلة بالكامل) لا يمكنه ترجمه الأشكال ألا من خلال البرامج الوسيطة منها برنامج SIMPLIFY 3D المستخدم لتحويل ملفات التصميم الSTL إلى كود يترجمه الجزء المتحكم (الجزء الإلكتروني) وهو جي كود.

- **أهم مكونات الجي كود-G Code**

الجي كود عبارة عن ملف يحتوي على جميع الأوامر التي ستنفذها الطابعة حتى تنتهي من تصنيع المنتج ومن أهم هذه الأوامر: درجة حرارة انصهار المادة الخام وسمك الطبقة الواحدة وعدد الطبقات المستخدمة وطريقة ملئ الطبقات البينية و كمية المادة الخام المستخدمة وحجم المجسم وعدد النسخ المطلوبة وسرعة الطباعة من أشهر البرامج مفتوحة

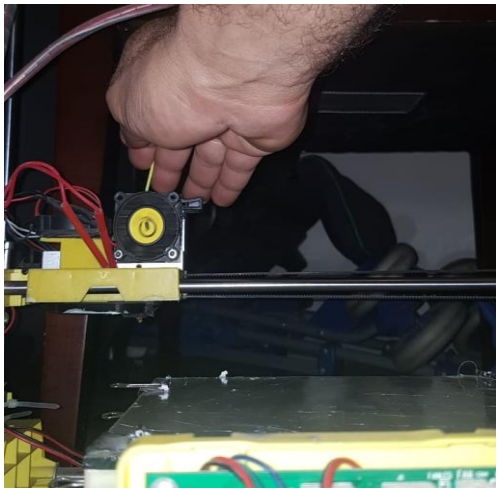
المصدر وتعمل على أي نظام تشغيل وتحول التصميم إلى الجي كود بخطوة بسيطة جدا وسريعة برنامج 3DSIMPLIFY



الشكل (٧) يوضح شكل برنامج SIMPLIFY 3D

خامسا :تجهيز الطابعة وإرسال الجي كود إلى الطابعة

تأتى المرحلة التالية من التجهيز للطباعة وهى توصيل الطابعة بالحاسوب ونقل ملف الجي كود إلى برنامج تشغيل الطابعة. تم رفع درجة حرارة الطابعة لإدخال المادة الخام (تكون غالباً على هيئة بكرة من الخيوط -Filament) ثم ضبط نقطة البداية وتثبيت سطح الطباعة جيدا ويتم إرسال الجي كود إلى بطاقة الذاكرة الخاصة بالماكينة

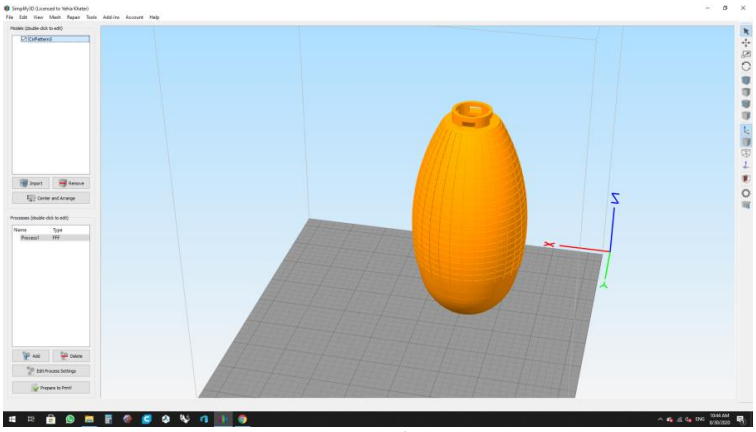


الشكل (٨) يوضح تجهيز الخامة داخل الطابعة

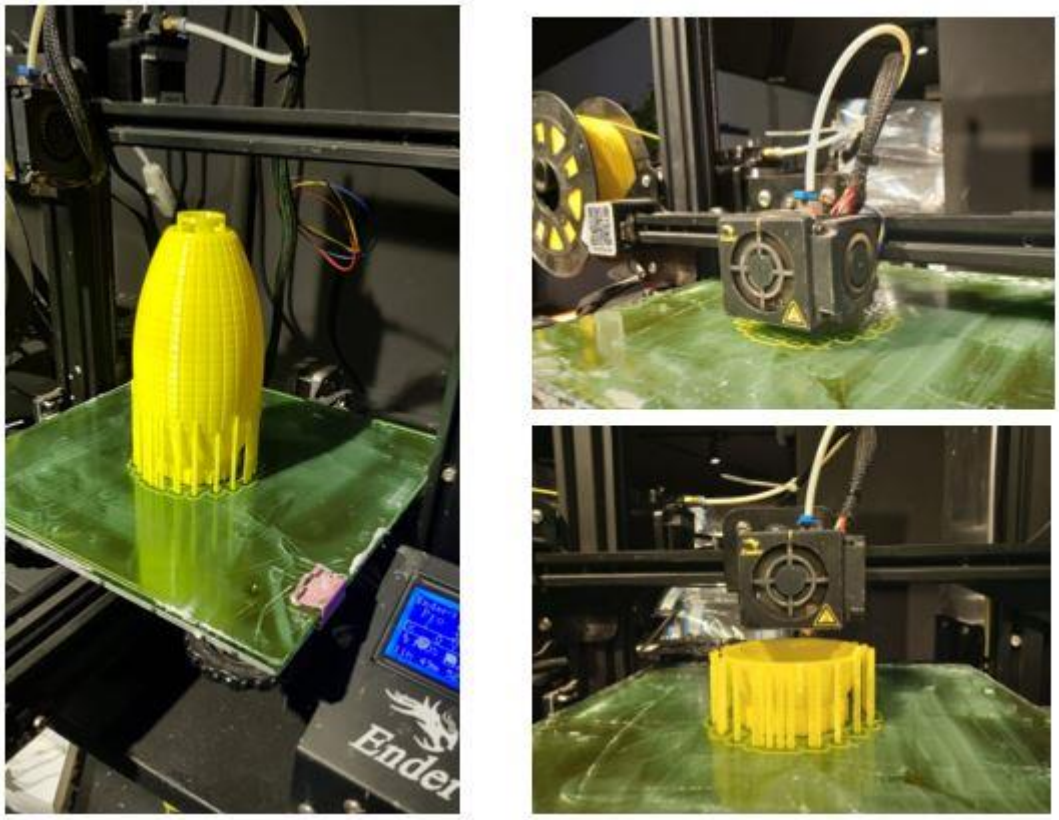
سادساً:عملية الطباعة

(أ) مرحلة طباعة الجزء الداخلى (الأصفر) للعبوة

تبدأ مرحلة الطباعة للجزء الأول من العبوة (المقسمة لثلاثة أجزاء) الشكل (٩) المقسمة لثلاثة أجزاء وهو الجزء الداخلى للعبوة مزودا بالأجزاء الداعمة حيث تقوم الطابعة أولاً برسم وتحديد الإطار الذي ستعمل فيه ثم تقوم برسم وتكوين الطبقة الأولى ثم تملئ الطبقات التالية حتى تصل إلى الطبقة الأخيرة بحيث يكتمل الشكل النهائى للجزء الأول من العبوة الشكل (١٠)



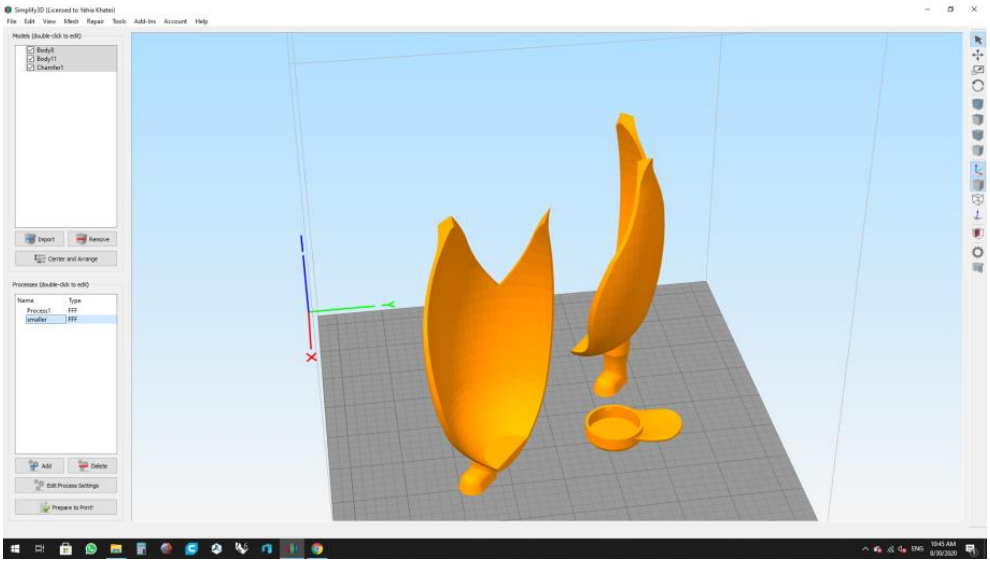
الشكل (٩) يوضح الجزء الأول (الداخلى للعبوة) من العبوة



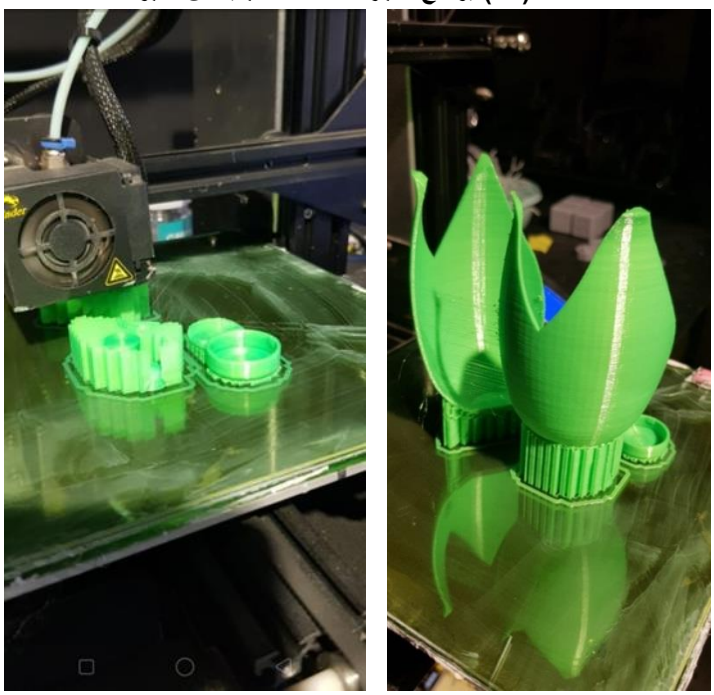
الشكل (١٠) يوضح مراحل تكوين الجزء الداخلى للعبوة

(ب) مرحلة طباعة الأجزاء الثلاثة من العبوة

تم تزويد الطابعة ببكرة خامة الpla ذات اللون الأخضر و تقوم الطابعة أولاً برسم وتحديد الإطار الخارجى للأجزاء الثلاثة المتبقية من العبوة ثم رسم و تكوين الطبقة الأولى وتليها الطبقات واحدة تلو الأخرى إلى أن نصل لتكوين الأجزاء الثلاثة المتبقية من العبوة



الشكل (١١) يوضح الأجزاء الثلاثة المتبقية من العبوة



الشكل (١٢) يوضح مراحل تكوين الطبقات للأجزاء الثلاثة المتبقية

سابعا مرحلة التشطيب

تم نزع الأجزاء الداعمة من العبوة و استخدام الصنفرة للتخلص من بعض الزوائد وتنعيم حواف العبوة.

ثامناً مرحلة ربط أجزاء العبوة

تعتمد هذه المرحلة على استخدام مواد لاصقة رابطة بين الأجزاء الثلاثة للعبوة لتظهر العبوة بشكلها النهائى الشكل (١٣)

الشكل (١٣) يوضح الشكل النهائى للعبوة

التكلفة الإقتصادية لانتاج النموذج الأولى للعبوة

وزن العبوة =١٥٠جم (وزن الغطاء(٤,٥جم) +وزن الجزء الداخلى (٨٧جم) + وزن الجزء الأول الخارجى (٢٩,٥ جم)+وزن الجزء الثانى الخارجى (٢٩,٥جم)

حساب التكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد = تكلفة الجرام x وزن العبوة بالجرام

= ٥ x ١٧٠ جم = **٨٥٠ جنيها**

الوقت المستغرق لانتاج النموذج الأولى للعبوة

الوقت المستغرق لطباعة الجزء الداخلى للعبوة (الجزء الأصفر) = ١٠ ساعات

الوقت المستغرق لطباعة الجزء الخارجى من العبوة (المكون من جزأين) يصل ل٨ ساعات بمعدل ٤ ساعات لكل جزء ، الوقت المستغرق لطباعة غطاء العبوة يصل لنصف ساعة ، الوقت المستغرق لطباعة العبوة بالكامل يصل ل ١٨ ساعة

1- مسارية انتاج العبوة بالإنتاج المشخصن

تتشابة مسارية الانتاج لكل من العبوة المشخصنة وعبوة النموذج الأولى إلا أنه يتم اضافة مرحلة المعالجة والتغطية بمادة الإيبوكسى عن طريق غمر العبوة فى المادة لتصبح أكثر أمانا لتعبئة المواد الغذائية

التكلفة الاقتصادية لانتاج العبوة المشخصنة

تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد + تكلفة المعالجة بمادة الإيبوكسى = ٨٥٠ + ١٠٠ = ٩٥٠ جنيها

الوقت المستغرق لانتاج العبوة المشخصنة

تستغرق العبوة للطباعة ثلاثية الأبعاد يوم وللتغطية بمادة الإيبوكسى يوما أخر تحتاج لطباعة العبوة المشخصنة يومين

2- مسارية انتاج العبوة بالإنتاج المخصص

لانتاج كميات محدودة من العبوة تمر بمرحلة إضافية بعد الإنتهاء من عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد وهى عملية الصب بالتفريغ وتشمل المراحل التالية :

عملية معالجة العبوة

تم عمل معالجة نهائية للعبوة المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد (القطعه الأصل) وذلك من خلال استخدام الصنفرة و مادة غلق للمسام (filler) ثم معجون ورش دوكو للحصول على السطح النهائى ناعم

انتاج قوالب للعبوة

تعتمد عملية انتاج قوالب عبوة الذرة على تكون العبوة من قالبين يشمل القالب الأول الجزء الداخلى للعبوة (الجزء الأصفر) والقالب الثانى محتويا على الغطاء والجزء الخارجى (الجزء الأخضر) للعبوة .

لانتاج القالب الأول من العبوة يتم صب مادة السيليكون فى درجة حرارة (٢٥-٢٠) على الجزء الداخلى من العبوة (الجزء الأصفر) المكون من جزأين مجوفين والمنتج بالطباعة ثلاثية الأبعاد لمدة ساعة ونصف لتتحول للشكل المطاطى. يتم انتاج القالب الثانى من العبوة والمحتوى على غطاء العبوة والجزء الخارجى (الأخضر) من العبوة بنفس الطريقة ثم تأتى مرحلة قطع القالب وإخراج العبوة (القطعة الأصلية)المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بعد ٢٤ ساعة ثم يتم تغطية قالبى السيليكون من الداخل بعد فتحهما بمادة الشمع (release agent) وذلك لإطالة العمر الإفتراضى للقالب السيليكون وجعله أكثر تحملا للانتاج أكبر قدر من العبوات ثم غلق القالبين بإحكام مع وجود ثقب يتم من خلالها صب مادة العبوة

عملية الصب بالتفريغ

يتم وضع كل قالب داخل جسم محكم الغلق مفرغ الهواء بحيث يتم وزن مادة البروبلين (مادة العبوة) الشكل (١٤) وخلطها مع صبغة التلوين وصبها من خلال ثقب داخل قالب السيليكون الشكل (١٥) ليأخذ شكل القطعة الأصلية والمحفورة داخل القالب

الشكل (١٤) يوضح وزن مواد الصب (البروبلين وصبغة التلوين)

الشكل (١٥) يوضح صب مادة البروبلين وصبغة التلوين داخل قالب السيليكون

المعالجة فى الفرن

بعد الإنتهاء من عملية الصب لقالبى العبوة تأتى مرحلة المعالجة فى الفرن لقالبى العبوة لمدة ٣ ساعات وبعد نزع القالب وإخراج أجزاء العبوة تُوضع مرة أخرى داخل الفرن لمدة ٤ ساعات للحصول على متانة أعلى للعبوة ثم تركيب أجزاء العبوة مع بعضها البعض

التكلفة الاقتصادية للانتاج المخصص للعبوة

تكلفة الكمية المتاح انتاجها من القوالب =٤٠ عبوة

تكلفة ال٤٠ عبوة = (تكلفة جزأين الصب للعبوة x ٤٠) = (٤٧٥+٥١٥) x ٤٠ =٣٩٦٠٠ جنيه

الوقت المستغرق للانتاج المخصص للعبوة

الوقت المستغرق لانتاج ٤٠ عبوة = الوقت المستغرق للطباعة ثلاثية الأبعاد + الوقت المستغرق للمعالجة + الوقت المستغرق لعملية الصب بالتفريغ

= يوم واحد + ٣ أيام + ١٨ يوم = ٢٢ يوم

جدول (١) مقارنة بين انتاج النماذج الأولية والمشخصنة والانتاج المحدود لعبوة الذرة بالطرق التقليدية والطباعة ثلاثية الأبعاد

أوجه المقارنه	الطباعة ثلاثية الأبعاد			الطرق التقليدية		
	النماذج الأولية	العبوة المشخصنة	الإنتاج المخصص	النماذج الأولية	العبوة المشخصنة	الإنتاج المخصص
مسارية التشغيل عبوة الذرة	١-**مرحلة تصميم العبوة:** يتم تصميم الهيكل الخارجى للعبوة على برامج التصميم ثلاثي الأبعاد(السوليدورك) و يتم حفظ الملف بصيغة (.Stl) وهي الصيغة المقبولة في الطباعة ثلاثية الأبعاد ٢- يتم تحويل ملفات التصميم الSTL إلى ملف	تتشابة مسارية الانتاج لكل من العبوة المشخصنة وعبوة النموذج الأولى إلا أنه يتم اضافة مرحلة المعالجة والتغطية بمادة الإيبوكسى عن طريق غمر العبوة فى المادة لتصبح أكثر أمانا لتعبئة المواد الغذائية	١-**عملية معالجة العبوة** : تُعالج العبوة المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد (القطعه الأصل) وذلك من خلال استخدام الصنفرة واستخدام مادة غلق للمسام (filler) ثم معجون ورش دوكو للحصول على السطح النهائى ناعم ٢- **انتاج قوالب العبوة (الإسطمبة):** تعتمد عملية	١-**مرحلة تصميم شكل الإسطمبات** ٢-**مرحلة انتاج الإسطمبات أو القوالب :** تحتاج العبوة لتصميم ثلاثة إسطمبات من الالومنيوم الإيطالى الإسطمبة الأول : الجزء الداخلى للعبوة (الأصفر) الإسطمبة الثانى : الجزء الخارجى للعبوة (الأخضر) الإسطمبة الثالث : غطاء العبوة ٢-تركيب الإسطمبة الأولى (الخاصة بالجزء الداخلى للعبوة) على ماكينة قولبة النفخ بالحقن مرور عملية الإنتاج بمرحلتين		

	جى كود مثل برنامج SIMPLIFY 3D ٣- تجهيز الطابعة وإرسال الجي كود إلى الطابعة ثم تركيب ملف الخامة على الطابعة ٤-**عملية الطباعة** : تقوم الطابعة أولاً برسم وتحديد الإطار الذي ستعمل فيه ثم يتم رسم وتكوين الطبقة الأولى من ثم تملئ الطبقات التالية حتى تصل إلى الطبقة الأخيرة بحيث يكتمل الشكل النهائى للجسم الخارجى وغطاء العبوة ٥-**مرحلة التشطيب** تم نزع الأجزاء الداعمة من العبوة و استخدام الصنفرة للتخلص من بعض الزوائد وتنعيم حواف العبوة. ٦- **ربط أجزاء العبوة** تعتمد هذه المرحلة على استخدام مواد لاصقة رابطة بين الأجزاء الثلاثة للعبوة لتظهر العبوة بشكلها النهائى		يتم صب مادة السيليكون فى درجة حرارة (٢٠-٢٥) على القطعة الأصلية والمنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد لمدة ساعة ونصف لتتحول للشكل المطاطى ثم تأتى مرحلة قطع القالب واخراج العبوة (القطعة الأصلية)المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بعد ٢٤ ساعة ثم يتم تغطية قالبى السيليكون من الداخل بعد فتحهما بمادة الشمع وذلك لإطالة العمر الإفتراضى للقالب السيليكون وجعله أكثر تحملا لانتاج أكبر قدر من العبوات ثم غلق القالبين بإحكام ٣-عملية الصب بالتفريغ :يتم وضع كل قالب داخل جسم محكم الغلق مفرغ الهواء بحيث يتم وزن مادة البروبلين (مادة العبوة) وخلطها مع صبغة التلوين وصبها من خلال ثقب داخل قالب السيليكون ليأخذ شكل القطعة الأصلية والمحفورة داخل القالب ٤-**المعالجة فى الفرن:**بعد الإنتهاء من عملية الصب لقالبى العبوة تأتى مرحلة المعالجة فى الفرن لقالبى العبوة لمدة ٣ ساعات وبعد نزع القالب وإخراج أجزاء العبوة تُوضع مرة أخرى داخل الفرن لمدة ٤ ساعات للحصول على متانة أعلى للعبوة ثم تركيب أجزاء العبوة مع بعضها البعض	**المرحلة الأولى** يتم تصنيع الشكل المعد مسبقا او perform من خلال عملية القولبة بالحقن التقليدية **أما المرحلة الثانية** فيتم نقل البريفورم إلى مرحلة النفخ حيث يتم وضعه فى قالب أخر ويتم تثبيته فى مكانه بحيث يصبح مرتبطا بتجويف القالب .ثم يبدأ الهواء المضغوط فى حقن وسط الجزء مما يضطر جدران أنبوبة البريفورم إلى التمدد والاتساع للخارج إلى أن تصل إلى جدران القالب الثانى وبمجرد تبريد المادة وتصلبها يتم فتح القالب لإخراج جزء العبوة ٤- تركيب الإسطمبة الثانية (غطاء للعبوة)على ماكينة القولبة بالحقن تعتمد عملية الانتاج على ماكينات القولبة بالحقن على **حقن القالب بالمواد البلاستيكية بعدما يتم صهرها بدرجه الحراره التى تجعلها تتدفق داخل الاسطمبة بواسطة ماكينه حقن البلاستيك وبعد ذلك يتم تبريد المنتج داخل القالب ثم يتم اخراجه من الاسطمبة بالشكل النهائى** ٦- يتم ربط أجزاء العبوة الداخلية والخارجية مع بعضها البعض من خلال تواجد أجزاء متداخلة فى كل جزء

الوقت المستغرق لانتاج العبوات	الوقت المستغرق لطباعة العبوة بالكامل = ١٤ ساعة	تستغرق العبوة للطباعة ثلاثية الأبعاد يوم وللتغطية بمادة الإيبوكسى يوما أخر نحتاج لطباعة العبوة المشخصنة يومين	الوقت المستغرق لانتاج ٤٠ عبوة = ٢٢ يوم	يعتمد الوقت المستغرق لانتاج النماذج الأولية والعبوات المشخصنة والإنتاج المخصص بالطرق التقليدية على الوقت اللازم لإنتاج إسطمبات العبوة وهو شهرا وتحتاج الماكينة لفترة ٣ ساعات لتركيب تلك الإسطمبات والبدء فى عملية الإنتاج
التكلفة النهائية	حساب التكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد = تكلفة الجرام x وزن العبوة بالجرام = ٥ x ١٧٠ جم = ٨٥٠ جنيها	تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد + تكلفة المعالجة بمادة الإيبوكسى = ٨٥٠+١٠٠ = ٩٥٠جنيها	تكلفة الكمية المتاح إنتاجها من القوالب =٤٠ عبوة تكلفة ال٤٠ عبوة = (تكلفة جزئين الصب للعبوة x ٤٠ (٤٧٥+٥١٥) x ٤٠ =٣٩٦٠٠ جنيها	تعتمد تكلفة النماذج الأولية والمشخصنة و الانتاج المحدود على التكلفة الكلية للإسطمبات تكلفة إسطمبة الجزءالداخلى للعبوة (الجزء الأصفر) = ٣٥ ألف جنيه تكلفة إسطمبة الجزءالخارجى للعبوة (الجزء الأخضر)= ٣٥ ألف جنيه تكلفة إسطمبة غطاء للعبوة = ٢٠٠٠٠ ألف جنيه التكلفة الكلية للإسطمبات = ٩٠ ألف جنيه

نتائج البحث

١-حقق استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد فرصا واسعة لانتاج الأشكال البنائية المعقدة من العبوات المختلفة

٢- أمكن استغلال النماذج الأولية المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج كميات محدودة من العبوات باستخدام تقنية الصب بالتفريغ بتكلفة ووقت أقل من انتاجها بالطرق التقليدية

التوصيات

1- التوسع فى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج النماذج الأولية والمشخصنة لما تحققة من مميزات

٢-ضرورة زيادة الوعى بالمميزات الإقتصادية والتقنية لماكينات الطباعة ثلاثية الأبعاد داخل المؤسسات الصناعية الكبرى ومصانع التغليف فى السوق المصرى لتلافى مشاكل الطرق التقليدية فى الإنتاج

٣-الاهتمام باتساع رقعة التصنيع المحلى لماكينات الطباعة ثلاثية الأبعاد لخلق بيئة تنافسية تعمل على تلبية كافة متطلبات السوق المصرى

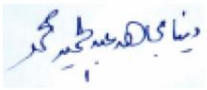
4- ضرورة استغلال النماذج الأولية المنتجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد فى انتاج الكميات المحدودة من العبوات باستخدام تقنية الصب بالتفريغ بتكلفة ووقت أقل من انتاجها بالطرق التقليدية

إلى من يهمه الأمر :

أقر أنا **دينا مجاهد عبد الحميد** بأنه تمت الموافقة منى على استخدام التصميم الخاص بي لعبوة الذرة الفائزة بالمركز الثالث فى مسابقة ARAB STUDENT STARPACK فى الدراسة البحثية فقط للدارسة سارة شكري علي مع الاحتفاظ بكامل حقوقى القانونية ، وعدم تنفيذ التصميم او ادخاله فى اى عمل اخر عدا هذا البحث ...

وتفضلوا بقبول وافر الاحترام

المصممة : دينا مجاهد عبد الحميد محمد



المراجع

1-A. Ramya , Sai leela Vanapalli , 2016, 3D printing technologies in various application, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 7, Issue 3, pp.396–409

2- Insaf Bahnini, Mickael Rivette , Ahmed Rechia , Ali Siadat & Abdelilah Elmesbahi, 2018, Additive manufacturing technology: the status, applications, and prospect, , International Journal of Advanced Manufacturing Technology - Vol. 97, p.147-161

3- Tuan D. Ngoa,⁎⁎, Alireza Kashania,⁎, Gabriele Imbalzanoa, Kate T.Q. Nguyena, David Hui, 2018, Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges,' Composites Part B: Engineering, vol.143 pp. 172-196

مراجع المواقع الإلكترونية

4-https://scanse.io/additive-manufacturing-3d-printing-applications/#r Accessed on (3/5/2020)

5- https://monroeengineering.com/blog/the-3-basic-steps-of-3d-printing Accessed on (8/6/2020)

6- https://tractus3d.com/knowledge/post-processing Accessed on (15/6/2020)

7-https://ir.stonybrook.edu/xmlui/bitstream/handle/11401/76151/Mu_. pdf?sequence=1 Accessed on (12/7/2020)

8-https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html Accessed on (15/7/2020)

9-https://www.iitk.ac.in/dordold/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=200&Itemid=2199 Accessed on (20/7/2020)
10-http://sites.psu.edu/keithgrauerportfolio/wpcontent/uploads/sites/26487/2015/04/Defining-Fused-Deposition-Modeling1.pdf Accessed on (25/7/2020)
11-https://www.essentracomponents.com/en-us/news/guides/understanding-3d-printing Accessed on (27/7/2020)
12-https://additive3dasia.com/news/traditional-manufacturing-3d-printing/ Accessed on (28/7/2020)
13-https://www.ironcad.com/blog/6-advantages-of-3d-printing-vs-injection-molding/ Accessed on (29/7/2020)
14- https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/3d-printing-vs-injection-molding Accessed on (30/7/2020)
15-https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/ Accessed on (2/8/2020)
16-https://revpart.com/injection-molding-vs-3d-printing/ Accessed on (6/8/2020)
17-https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/3d-printing-vs-injection-molding Accessed on (8/8/2020)
18-https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons Accessed on (15/8/2020)