

2021

## Effects of cooling during 3D Printing for PLA filaments on printed models quality

Neveen Abdel Aziz Saleh

*Professor at Printing, Publishing and Packaging Department, Faculty of Applied Arts - Helwan University,,  
Nevine\_saleh@a-arts.helwan.edu.eg*

Wessam Oncy Ibrahim Mohamed

*Professor at Metal Products and Jewelry Department, Faculty of Applied Arts - Helwan University,,  
wessam.onsy@buc.edu.eg*

Marwa Mahmoud Abdellatif Mubarak

*Teaching Assistant, Department of E-Learning, Information Technology Institute, Ministry of  
Communications and Information Technology - Egypt, marwa.mubarak@hotmail.com*

Follow this and additional works at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/faa-design>



Part of the [Art and Design Commons](#)

---

### Recommended Citation

Saleh, Neveen Abdel Aziz; Mohamed, Wessam Oncy Ibrahim; and Mubarak, Marwa Mahmoud Abdellatif (2021) "Effects of cooling during 3D Printing for PLA filaments on printed models quality," *International Design Journal*: Vol. 11 : Iss. 4 , Article 20.

Available at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/faa-design/vol11/iss4/20>

This Article is brought to you for free and open access by Arab Journals Platform. It has been accepted for inclusion in International Design Journal by an authorized editor. The journal is hosted on [Digital Commons](#), an Elsevier platform. For more information, please contact [rakan@aarj.edu.jo](mailto:rakan@aarj.edu.jo), [marah@aarj.edu.jo](mailto:marah@aarj.edu.jo), [u.murad@aarj.edu.jo](mailto:u.murad@aarj.edu.jo).

## أثر التبريد أثناء الطباعة ثلاثية الأبعاد بخيوط متعدد حمض اللاكتيك على جودة النماذج المطبوعة

### Effects of cooling during 3D Printing for PLA filaments on printed models quality

أ.د. نيفين عبد العزيز صالح

أستاذ بقسم الطباعة والنشر والتغليف، كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان، القاهرة، مصر، Nevine\_saleh@a-arts.helwan.edu.eg

أ.د. وسام أنسى إبراهيم

أستاذ بقسم المنتجات المعدنية والحلى، كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان، القاهرة، مصر، Wesam.Onsy@buc.edu.eg

مروة محمود عبد اللطيف مبارك

معيدة بقسم التعلم الإلكتروني بمعهد تكنولوجيا المعلومات، وزارة الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات، القاهرة، مصر، marwa.mubarak@hotmail.com

#### ملخص البحث Abstract:

#### كلمات دالة Keywords:

جودة الطباعة ثلاثية الأبعاد  
3D Printing Quality  
تبريد الجزء  
Part Cooling  
التشكيل بالخيوط المنصهرة  
Fused Filament  
Fabrication  
خيوط متعدد حمض اللاكتيك  
PLA "Polylactic Acid"  
filament

التشكيل بالخيوط المنصهرة "FFF" Fused Filament Fabrication والمعروفة أيضا بالنمذجة بالترسيب المنصهر "FDM" Fuse deposition modelling من أكثر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد إنتشارا والأكثر استخداما بالطابعات المكتبية ثلاثية الأبعاد والتي زادت إنتشارا في السنوات القليلة الماضية بين العديد من الفئات سواء متخصصين أو هواة، والمواد الخام المستخدمة بها من اللدائن الحرارية Thermoplastics على شكل خيوط أشهرها خيوط متعدد حمض اللاكتيك PLA وذلك لسهولة استخدامه وكونه يعد صديقا للبيئة لقابليته للتحلل وتعتمد تلك التقنية في طريقة بناءها للنماذج على مبدأ الترسيب الانتقائي لتلك الخيوط بعد تليينها حراريا لتصبح قابلة للتشكيل والبيق من فوهة الطباعة Nozzle ومن ثم تندمج طبقاتها الساخنة معا وتتصلب بعد تبريدها. وتكمن مشكلة البحث في ظهور العديد من المشكلات بالنماذج المطبوعة بخيوط الـ PLA تعود أسبابها الى تبريد النموذج المطبوع أثناء طباعته وبعد بثقه من فوهة الطباعة مباشرة هذه المشكلات مثل دقة الأبعاد وتشوه السطح الخارجي للنموذج، لذا اهتم البحث بتوضيح أثر التبريد على جودة المطبوعات بخيوط PLA وتوضيح طرق التحكم في تبريد الجزء المطبوع من خلال إجراء عدة تجارب طباعية بطروف تبريد مختلفة وتسجيل ومقارنة النتائج وبيان ما تم تطبيقه خلال التجارب لحل المشكلات ورفع جودة المطبوعات، حيث أشارت النتائج الرئيسية أثر التبريد الواضح على دقة الأبعاد وجودة السطح خاصة تصميمات الأجزاء البارزة والنهائيات الدقيقة بمطبوعات الـ PLA وكذلك أهمية تصميم قناة توزيع الهواء حول الجزء المطبوع Fan/blower duct.

Paper received 9<sup>th</sup> February 2021, Accepted 4<sup>th</sup> May 2021, Published 1<sup>st</sup> of July 2021

#### مقدمة Introduction:

تعددت تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد في الوقت الحاضر وبشكل متزايد في مختلف المجالات في الصناعة والتعليم والطب والفن والفضاء ولإنتشار الطابعات المكتبية مفتوحة المصدر بتقنية التشكيل بالخيوط المنصهرة FFF أثر كبير في وصول التجرب الطباعية لأيدى العديد من المستخدمين هواة أو متخصصين وادت هذه الإتاحة الى زيادة انتشار تلك التقنية وانخفاض ملحوظ في اسعار طابعاتها وخاماتها ومع هذا الانتشار المتزايد والمستمر كانت الحاجة ملحة للبحث المستمر في جودة الطباعة ومخرجاتها وتقديم حلول فعالة لما قد يتعرض له مستخدميها في مختلف المجالات خاصة من غير التقنيين او المتخصصين بالمجال، وخيوط متعدد حمض اللاكتيك PLA هي أشهر خيوط اللدائن الحرارية المستخدمة في تلك الطابعات وتتأثر جودة النماذج المطبوعة بخيوط اللدائن الحرارية بعدة عوامل خلال رحلة الطباعة مؤثرة على الجودة الجمالية ودقة أبعادها وأحد أهم تلك العوامل هو التبريد أثناء الترسيب الطباعي وبعد بثقها من فوهة الطابعه حيث خروجها من تحكم الطباعة الى العوامل البيئية المحيطة والمؤثرة على سرعة وكيفية فقدانها لحرارتها وبالتالي جودة الترسيب الإنتقائي وجودة التشكيل. وبالتحكم الجيد في تلك العملية وسرعتها ومعرفة أثارها والمشكلات الناجمة عنها تتحسن جودة المطبوعات النهائية.

#### مشكلة البحث Statement of the problem:

تأثر جودة المطبوعات ثلاثية الأبعاد بخيوط متعدد حمض اللاكتيك بعملية تبريد النموذج أثناء الطباعة بطابعات التشكيل بالخيوط المنصهرة.

#### أهمية البحث Importance:

تكمن أهمية البحث في بيان تأثير التبريد أثناء الطباعة بخيوط متعدد حمض اللاكتيك على جودة المطبوعات وبيان طرق التحكم المختلفة في التبريد لحل مشكلات المطبوعات.

#### أهداف البحث Objectives:

يهدف البحث إلى التعرف على أثر التبريد على جودة المطبوعات ثلاثية الأبعاد المطبوعة بخيوط متعدد حمض اللاكتيك PLA وبيان المشكلات المتعلقة بالتبريد، وكيفية تحسين جودتها وحل تلك المشكلات من خلال ضبط تبريد الجزء أثناء الطباعة.

#### منهج البحث Research Methodology:

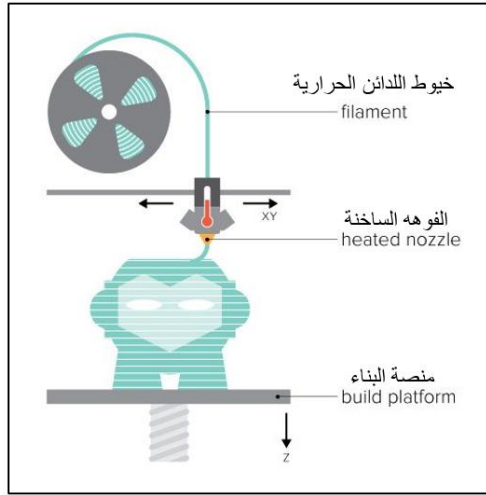
يعتمد البحث على المنهج الوصفي والمنهج التجريبي في تطبيق الحلول وملاحظة النتائج.

#### الاطار النظري Theoretical Framework:

##### 1- مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الطباعة ثلاثية الأبعاد ويطلق عليها أحيانا التصنيع بالإضافة (شلتوت، ٢٠١٩) هو مصطلح يشير إلى عملية الحصول على نموذج مادي من تصميم رقمي ثلاثي الأبعاد من خلال إضافة طبقات رقيقة متتالية من مادة ما طبقة تلو الأخرى حتى يصل إلى الشكل النهائي المكتمل (Prusa, 2019). وتعد أى من هذه الطبقات جزء من مقطع عرضي من النموذج النهائي (صيام، ٢٠١٥). ويتراوح حجم النماذج التي يمكن إنتاجها بالطباعة ثلاثية الأبعاد بين حجم النانو متناهي الصغر الى العديد من الأمتار مثل أحجام المباني والمنزل (شلتوت، ٢٠١٩).

##### 2- طابعات التشكيل بالخيوط المنصهرة FFF:



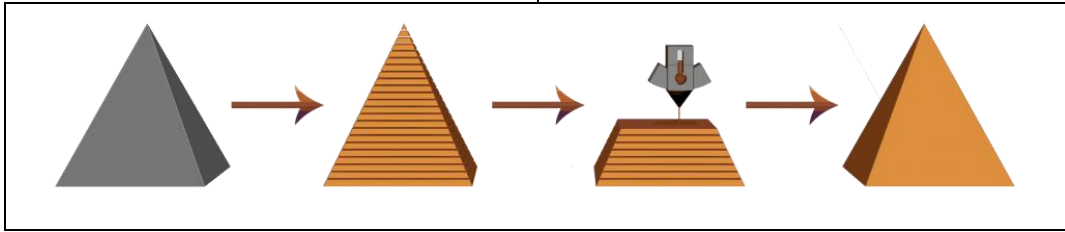
شكل رقم (١): شكل مبسط لعملية الطباعة بالخيوط المنصهرة (3dlink, 2016)

بالترسيب المنصهر "FDM Fuse deposition modelling" وهذا هو المصطلح الذي سجلت به هذه التقنية لصالح شركة Stratasys بينما ظهر مصطلح التشكيل بالخيوط المنصهرة FFF من قبل مشروع "Replicating Rapid prototype" RepRap تجنباً للوقوع في قضايا العلامة التجارية مع الشركة المالكة. وهو مشروع اهتم بتطوير تلك التقنية وجعلها مفتوحة المصدر وكان بداية انتشار حقيقي للطابعات المكتبية ثلاثية الأبعاد.

#### مراحل طباعة النموذج ثلاثي الأبعاد:

عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد تتم من خلال خطوات أساسية كما هو موضح في رسم بسيط بالشكل رقم (٢) وهذه الخطوات هي:

هناك العديد من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتي تختلف فيما بينها في طريقة إضافة الطبقات والية اندماجها معاً لتكوين النموذج ثلاثي الأبعاد النهائي والطابعات التي تعمل بتقنية التشكيل بالخيوط المنصهرة Fused Filament Fabrication FFF والتي هي إحدى تقنيات الطباعة بثق المواد Material Extrusion (PrintLab.,2018). تعتمد في طريقتها لبناء النماذج ثلاثية الأبعاد على عملية بثق المادة الخام بشكل انتقائي كما هو موضح في رسم مبسط في شكل رقم (١) وعادة ما تكون المادة الخام على شكل خيوط بوليمرية مطاوعة للحرارة "اللدائن الحرارية" Thermoplastics وذلك من خلال نظام بثق Extruder ينتهي بفوهة الطابعة والذي يعمل على صهر خيوط المادة الخام وجعلها قابلة للتشكيل. وتعرف أيضاً بطابعات النمذجة



شكل رقم (٢): يوضح خطوات الطباعة بتقنية التشكيل بالخيوط المنصهرة (my3dconcepts,2017)

١-٣ **الخطوة الأولى:** وهي التصميم بمساعدة الحاسب Computer Aided Design، للحصول على الملف الرقمي للنموذج المراد إنتاجه والذي يحوى معلومات محددة حول البناء الهيكلي للنموذج وحفظ هذه المعلومات بصيغة ملف قياسية وهي STL، وهي اختصار لغة الفيسفساء القياسية Standard Tessellation Language والتي بإمكان أغلب الطابعات التعامل معها.

#### ٢-٣ **الخطوة الثانية:**

الإعداد الطباعي وهي إعداد ملف STL، وتسمى أيضاً مرحلة التقطيع والتي يتم فيها تحديد خصائص العملية الطباعية من حيث دقة الطباعة وسرعتها ودرجة الحرارة وطبيعة المادة الخام وغيرها من الخصائص التي تساعد على التحكم في جودة العملية الطباعية وحفظها بصيغة تفهمها الآلة وهي ملف الـ G-code والذي يحوى معلومات دقيقة تترجم من قبل الآلة إلى حركات لإتمام بناء النموذج (Pollette, 2019).

#### ٣-٣ **الخطوة الثالثة:**

وهي الطباعة وتبدأ بإعداد الطابعة، وتجهيزها للقيام بعملية طباعية جديدة. مثل إعادة تعيين المادة الخام وتنظيف منصة الطباعة ثم تحميل ملف الـ G-code

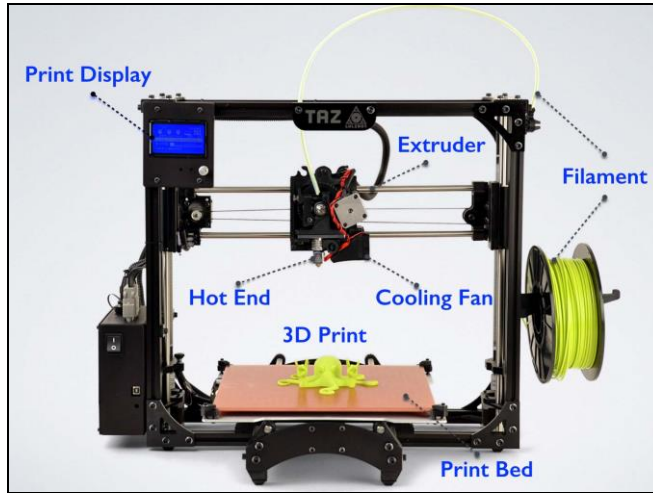
#### ٤-٣ **الخطوة الرابعة:**

الإزالة، إزالة الغرض أو الأغراض المطبوعة من الآلة واستخدامها أو معالجتها بالطرق المناسبة كالتجميع أو إزالة الدعامات أو التلوين إذا تتطلب الأمر (PrintLab.,2018).

#### ٣- **أهمية التبريد أثناء الطباعة:**

في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد لبتق خيوط اللدائن الحرارية يرفع الباتق Extruder درجة حرارة الخيط للحصول على اللزوجة المناسبة لتدفقه عبر الفوهة الساخنة Hot End/Nozzle، يتم بعد ذلك تحريك الفوهة من مكان لآخر داخل المساحة الطباعية بواسطة نظام حركة الطباعة ثلاثية الأبعاد لبتق كائن بأكمله تدريجياً طبقة تلو الأخرى (Noorani, 2018).

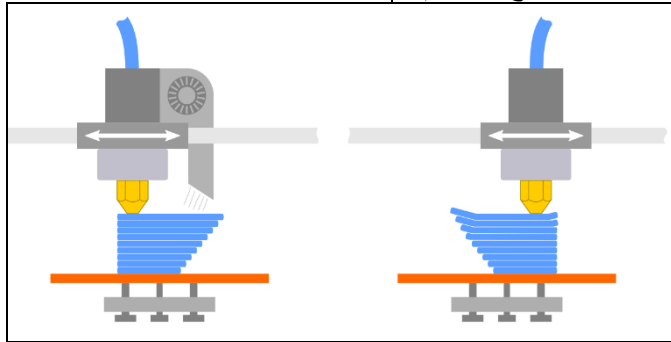
ويوضح الشكل رقم (٣) المكونات الأساسية لطابعات الخيوط الحرارية والتي يظهر بها مروحة التبريد بجانب الفوهة والتي تسمى أحياناً بالنهاية الساخنة والتي تمر منها المادة الخام للترسيب على سرير الطباعة Print Bed وفقاً لتصميم المطبوع ثلاثي الأبعاد 3D Print.



شكل رقم (٣): شكل يوضح المكونات الأساسية لطابعات FFF (my3dconcepts,2017)

مبسط بالشكل رقم (٤) . لذلك من الأهمية بمكان التأكد من عدم تحرك البلاستيك أو تشوهه بعد ترك الفوهة (Stevenson, 2016). ويتم ذلك عن طريق اعادته لحالته الصلبة في أسرع وقت ممكن وهنا يظهر أهمية التبريد. لذلك نجد مراوح تبريد الجزء المتواجدة بجانب الفوهة الساخنة بالطابعات ثلاثية الأبعاد والمختصة بتبريد الطبقات المطبوعة أثناء الطباعة تطلق هذه المراوح الهواء على البلاستيك المبتوق حديثاً في محاولة لتبريده بسرعة كبيرة.

وعندما يتحرك خيط المادة الخام داخل الطابعة عبر البائق والفوهة فإنه يكون تحت سيطرة الطابعة من خلال أوامر ملف الـ G-CODE المحمل بأوامر تفهمها الآلة وترجمها لحركات فيتم التحكم في سلوكه من خلال التحكم بدرجة حرارته وسرعة تدفقه، ولكن بمجرد أن يترك الفوهة، وتبدأ عملية الترسيب يصبح خارج عن السيطرة متروكا لخصائصه متأثرا بالعوامل البيئية بسهولة وذلك بسبب حالته اللينة المساعدة على سهولة تحكم قوى الجاذبية به فتسحب خيوطه لأسفل مسببة تدلى أو تشوه لطبقاته كما هو موضوع في رسم



شكل رقم (٤): رسم مبسط يوضح أثر التبريد على شكل الطبقات المطبوعة (Stemfie3D, 2019)

واحدة لتبريد الجزء المطبوع Single cooling Fan وتم استخدام برنامج Ultimaker Cura 4.7 للتقطيع وإعداد ملف الـ G-Code الطبايعي.

وقبل عرض التجارب العملية التي توضح المشكلات التي ظهرت بالمطبوعات متأثرة بالتبريد من الضروري توضيح كيفية التحكم في التبريد أثناء الطباعة.

#### 1- طرق التحكم في تبريد الجزء المطبوع أثناء الطباعة

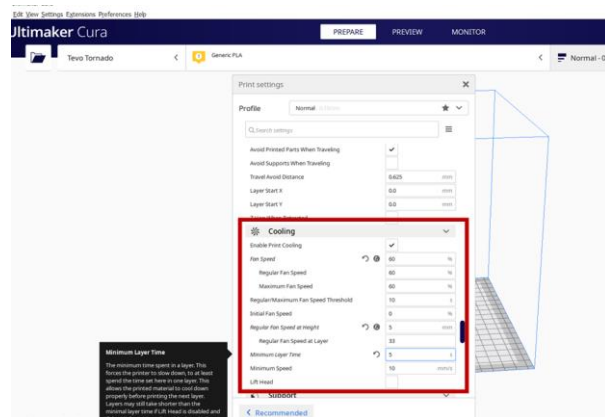
أثناء التجربة الطبايعية هناك طريقتين للتحكم في تبريد الجزء/النموذج المطبوع الطريقة الأولى من خلال برنامج الإعداد الطبايعي "برنامج التقطيع" أثناء عملية إعداد الملف الرقمي STL حيث يمكن من خلال برنامج Ultimaker Cura4.7 المستخدم في إعدادات ملفات التجارب الطبايعية التحكم في سرعة مروحة التبريد من خلال إعدادات التبريد Cooling Setting الموضحة بالشكل رقم (٥) والتي من خلالها يمكن التحكم في سرعة مروحة Fan Speed التبريد وبالتالي قوة الهواء المستخدم في تبريد النموذج أثناء الطباعة كما يمكن التحكم في وقت تبريد الطبقة الواحدة من خلال تحديد أقل وقت يمكن للطبقة بعده استقبال طبقة جديدة Minimum Layer Time.

في بعض الحالات ، يكون التبريد أقل أهمية لأن البلاستيك المبتوق يستريح ببساطة على طبقة سابقة. لكن هذا ليس هو الحال دائماً. في بعض الأحيان يكون للبثق الجديد بروز طفيف. إذا لم يتم تبريده بشكل صحيح، فقد يتدلى محدثاً تشوها للجزء. وقد يكون الأمر أكثر صعوبة إذا كان هناك "جسر" حيث لا يوجد شيء على الإطلاق تحت خيوط المادة الخام المبتوقة حديثاً بحاله لينة بامتداد لمسافة معينة بين نقطتي ارتكاز الجسر إذا لم يتم تبريده بشكل صحيح، فسوف تتدلى الطبقات الأولى منه وينخفض الجسر أو حتى ينهار (Pelonis, 2013).

هذا هو السبب في أهمية التبريد والمراوح حول الفوهة. ويجب ألا تتسبب المراوح في تبريد الطرف الساخن Hot end، لكن يجب أن تعمل على تبريد البثق الجديد من الخيوط بطريقة صحيحة للحصول على الجودة الطبايعية المطلوبة.

#### الدراسة التجريبية Experimental Study:

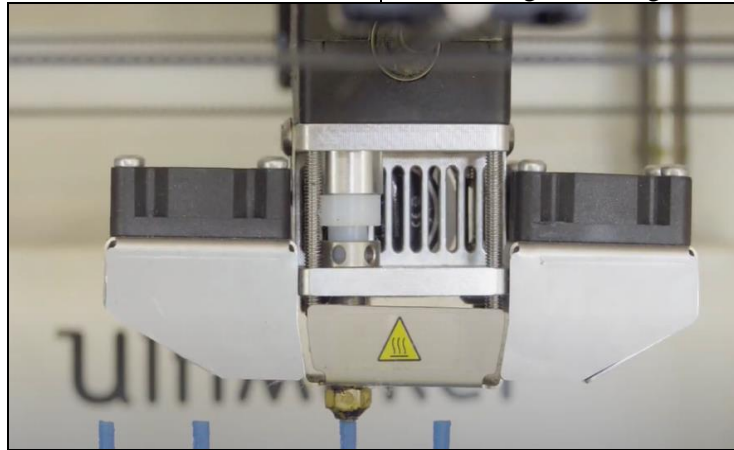
تم إجراء التجارب العملية باستخدام خيوط متعدد حمض اللاكتيك PLA وبادجى طابعات التشكيل بالخيوط المنصهرة مفتوحة المصدر ذات نظام التبريد الأحادي حيث تحتوى على مروحة



شكل رقم (٥): يوضح اعدادات التحكم بالتبريد في برنامج Ultimaker Cura 4.7

موضح بالشكل رقم (٧) أمثلة على نظام وكل نظام منهم له استخداماته وإحتياجاته وفقا للمادة الخام المستخدمة في الطباعة فعلى سبيل المثال تحتاج الطباعة بمواد مرنة لقوة تبريد عالية والتي تتوفر من خلال نظام التبريد الثنائي بينما لا تحتاج الطباعة بخيوط مثل متعدد حمض اللاكتيك " Polylactic Acid " PLA وهي من اشهر المواد الخام بطابعات الخيوط البلاستيكية الى قوة تبريد عالية ويوفر النظام أحادي المروحة التبريد اللازم لها.

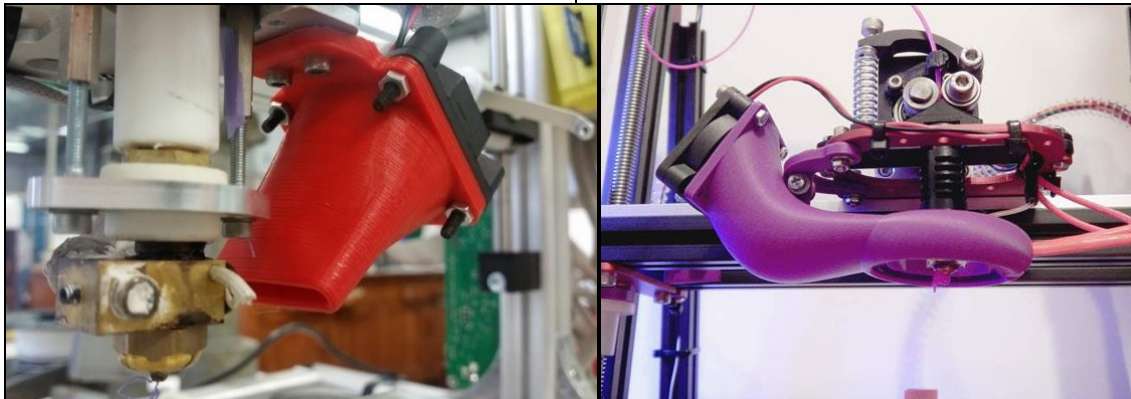
أما الطريقة الثانية للتحكم في التبريد هي نظام تبريد الجزء بماكينة الطباعة والمكون من مروحة تبريد الجزء Part Cooling Fan وقناة توزيع الهواء الملحقة به Fan Duct ونجد أن هناك طابعات تحتوي على مروحتين بدلا من واحدة لتبريد الجزء المطبوع ويعرف نظام التبريد بها بنظام التبريد ثنائي المروحة Dual Cooling Fan كما هو موضح بشكل رقم (٦) أو تكون مروحة واحدة فقط كما في الطباعة المستخدمة في تجارب البحث ويسمى نظام التبريد بأحادي المروحة Single Cooling Fan كما هو



شكل رقم (٦): يوضح مثال على نظام التبريد الثنائي Dual cooling fan

العوامل المؤثرة على جودة النموذج حيث يتحكم هذا التصميم في كيفية توزيع الهواء على الطبقات المطبوعة (Quintans, 2016). وتصميم قناة المروحة شديد العلاقة والتأثير في أنظمة التبريد الأحادية.

ويمكن التحكم في نظام التبريد الميكانيكي بالماكينة بتشغيله أو إيقافه أو كمية هواء التبريد من خلال برنامج الإعداد الطباعي كما سبق التوضيح بالتحكم في سرعة المروحة. أما كيفية توزيع الهواء فيكون من خلال تصميم مجرى الهواء بقناة المروحة Fan duct والتي يكون تصميمها أحد



شكل رقم (٧): يوضح التصميمات المختلفة لقناة المروحة Fan Duct بنظام التبريد الأحادي Single cooling fan

تم طباعة النموذج مرتين DNA 02-DNA 01 بطرفون ثابتة مع اختلاف ظروف التبريد، ويوضح الجدول رقم (١) ظروف التجربة الثابتة.

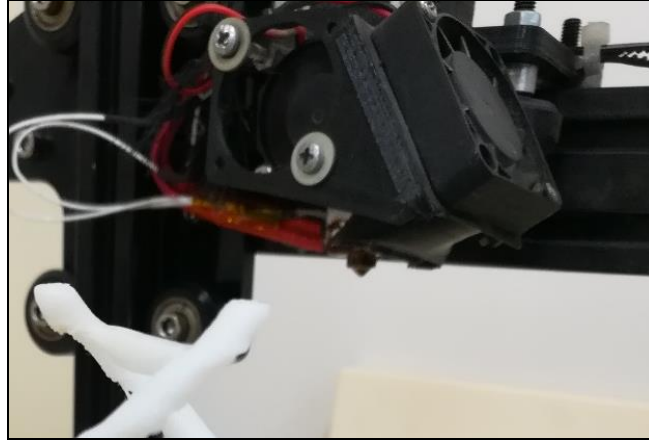
1- التجربة الأولى: تمثل التجربة طباعة نموذجا للحمض النووي DNA، تصميم النموذج به جسورا وأجزاء بارزه.

جدول رقم (١): يوضح الظروف الثابتة لنموذجي الـDNA بالتجربة الأولى

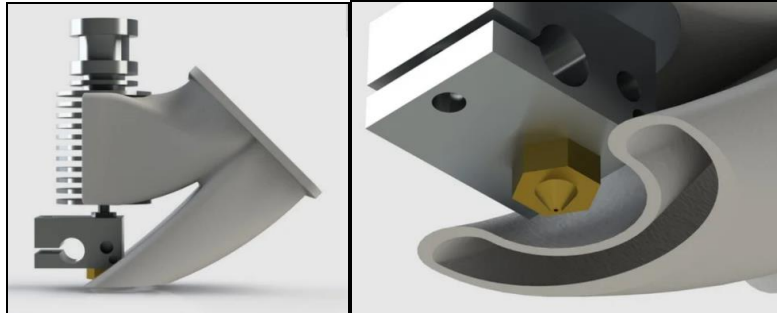
Material	White PLA+	المادة الخام
Layer Hight	0.2mm	ارتفاع الطبقة
Infill	20%	الحشو
Print Speed	40mm/s	سرعة الطباعة
Extrusion Temperature	205 °C	درجة حرارة الطباعة
Print Cooling	Enable	التبريد الطباعي
Fan speed	60 mm/s	سرعة المروحة

(٨) ومفصلا تصميمه بالشكل رقم (٩). أما تصميم قناة التبريد عند طباعة النموذج الثاني كانت ثنائية التوزيع تحيط بفوهة الطابعة كما تظهر بالشكل رقم (١٠).

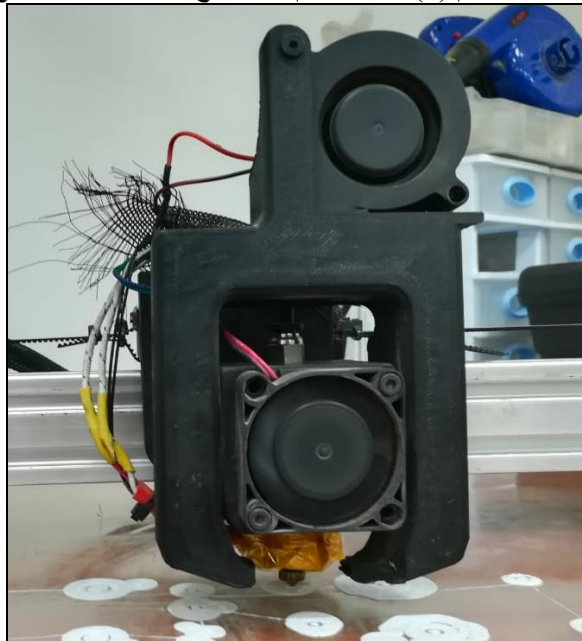
أما عن الاختلاف في ظروف التبريد بين النموذجين فتتمثل في تصميم قناة توزيع الهواء الملحقة بمروحة التبريد ففي المرة الأولى لطباعة نموذج الـDNA كان تصميم قناة المروحة Fan Duct جانبي كما هو موضح بالشكل رقم



شكل رقم (٨) : يوضح شكل نظام التبريد بالطباعة الأولى لنموذج الـDNA



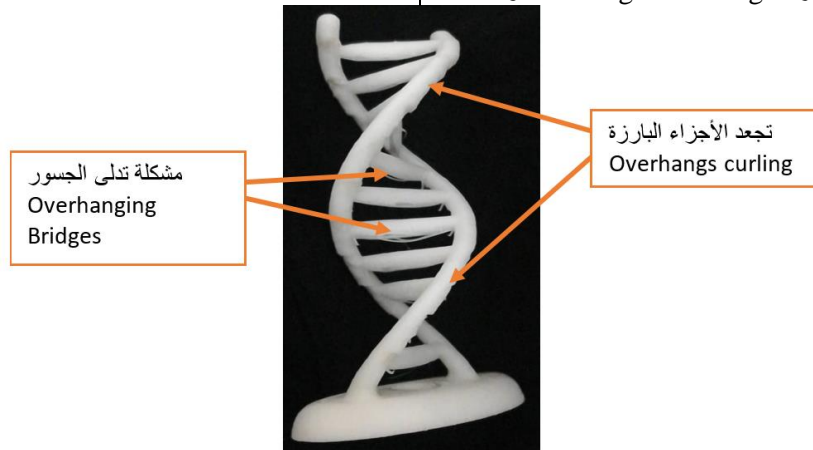
شكل رقم (٩) : صورة موضحة للشكل رقم (٨) حيث تصميم قناة توزيع الهواء أحادية المخرج (Eipionezero, 2015)



شكل رقم (١٠): يوضح تصميم قناة توزيع الهواء الملحقة بمروحة التبريد ثنائية المخرج

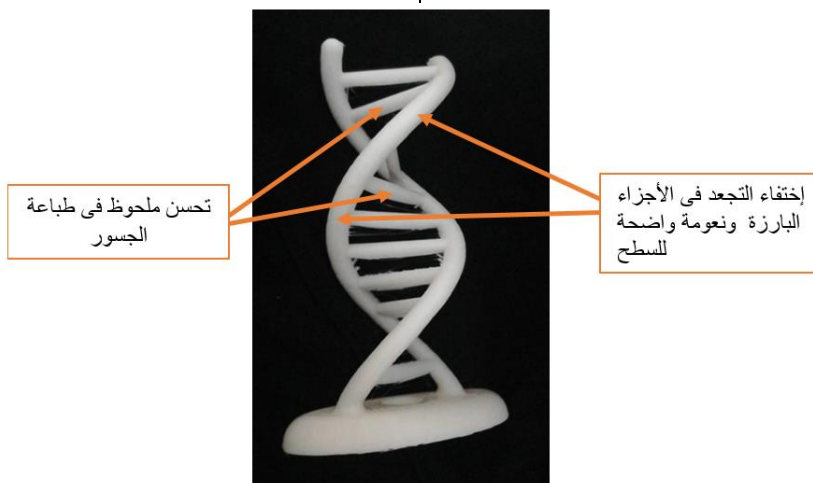
تدلى الطبقات الأولى للجسور  
بالنموذج.

ويوضح الشكل رقم (١١) مظهر النموذج بعد الطباعة الأولى حيث يظهر بالنموذج مشكلات بالسطح تتمثل في تجعد لأجزاء البارزة Curling Overhangs، ومشكلة



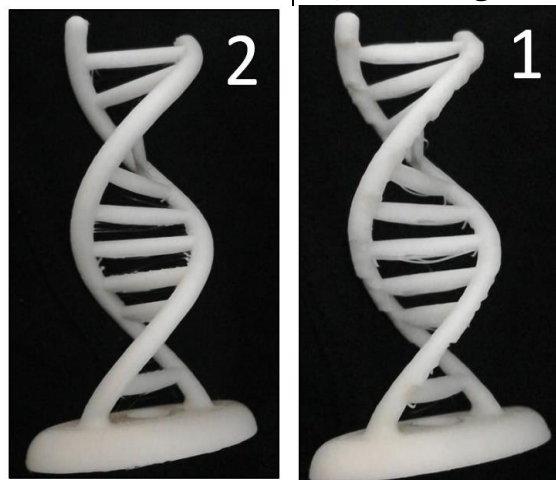
شكل رقم (١١) : يوضح مظهر نموذج الـ DNA بالطباعة الأولى البارزة وإختفاء التجعد، وتحسن ملحوظ في طباعة الجسور.

ويوضح الشكل رقم (١٢) مظهر النموذج بعد الطباعة الثانية حيث يظهر بالنموذج بعد الطباعة الثانية طباعة جيدة للأجزاء



شكل رقم (١٢) : يوضح مظهر نموذج الـ DNA بالطباعة الثانية للنموذج أدت الى جودة طباعية أعلى حيث أدت الى حل مشكلة التجعد وإلى تحسن ملحوظ بطباعة الجسور ورفع جودة النموذج كما هو موضح بالشكل رقم (١٣).

نتائج التجربة الأولى جاءت من خلال الملاحظة والمقارنة البصرية بين النموذج بالطباعة الأولى والنموذج بالطباعة الثانية حيث وجد أن تصميم قناة مروحة التبريد ثنائية التوزيع والتي تحيط بفوهة الطابعة والمستخدم في الطباعة الثانية



شكل رقم (١٣) : يوضح المقارنة بين مظهر النموذج بالطباعة الأولى والثانية بظروف ثابتة مع اختلاف ظروف التبريد بين المرتين ويمثل الجدول رقم (٢) الظروف الثابتة للتجربة.

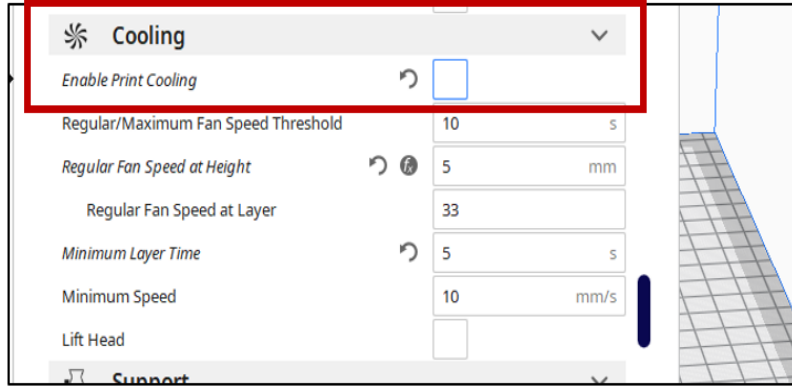
2- التجربة الثانية: تمثل التجربة طباعة نموذجاً لهم، قمة الهرم تمثل مثلاً على النهايات الدقيقة للنماذج حيث تم طباعة النموذج مرتين

جدول رقم (٢): يوضح الظروف الثابتة للتجربة الثانية

Material	Clear PLA+	المادة الخام
Layer Hight	0.2mm	ارتفاع الطبقة
Infill	100%	الحشو
Print Speed	30mm/s	سرعة الطباعة
Extrusion Temperature	210 °C	درجة حرارة الطباعة

Ultimaker Cura Print Cooling ببرنامج الإعداد الطباعي 4.7 كما هو موضح بالشكل رقم (١٣).

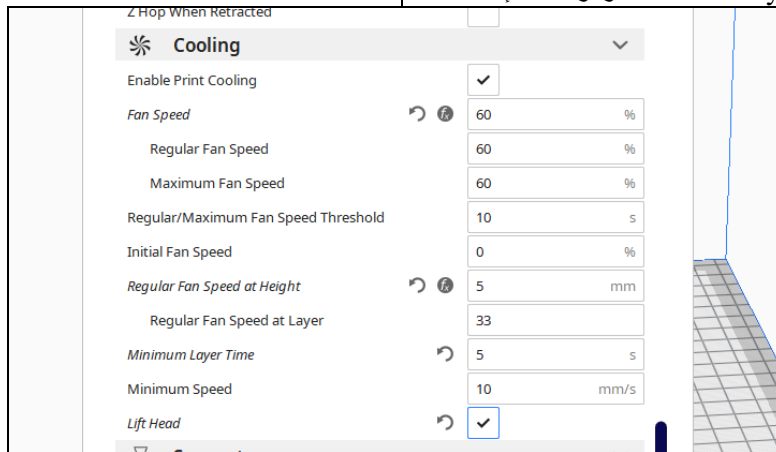
أما عن الإختلاف في ظروف التبريد بين النموذجين فتمثل في وجود التبريد وعدم وجوده حيث تم طباعة النموذج في المرة الأولى بدون تبريد تماما من خلال عدم تفعيل الإعداد Disable



شكل رقم (١٣): يوضح إيقاف التبريد من برنامج Ultimaker Cura 4.7

الهامة لضبط تبريد النهايات الدقيقة أثناء الطباعة ويوضح الشكل رقم (١٤) الإعدادات بالطباعة الثانية لنموذج الهرم.

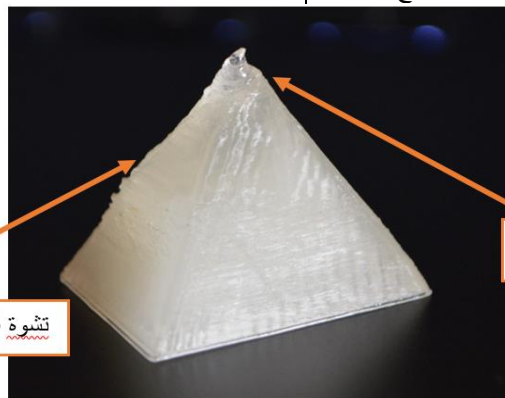
ثم تم طباعة نموذج الهرم في المرة الثانية بتشغيل إعدادات التبريد مع مراعات وقت تبريد الطبقة الواحدة ألا يقل عن ٥ ثوان من خلال إعداد Minimum layer Time وهو أحد الإعدادات



شكل رقم (١٤): يوضح تفعيل وضبط إعدادات التبريد بالطباعة الثانية لنموذج الهرم

ومظهر ذوبان واضح بها وبالطبقات القريبة من القمة.

ويوضح الشكل رقم (١٥) مظهر نموذج الهرم بعد الطباعة الأولى بدون تبريد وتشوه واضح بالقمة



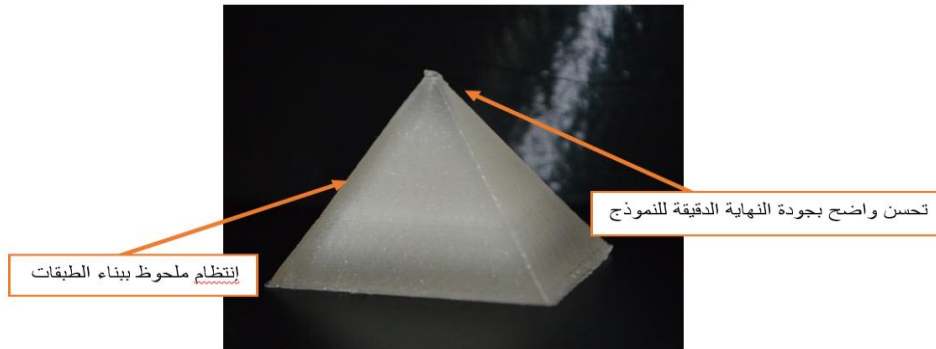
تشوه الطبقات القريبة من القمة

ذوبان واضح بطبقات القمة

شكل رقم (١٥): توضح مشكلة تشوه النهايات الدقيقة والطبقات بنموذج الهرم الهرم وإخفاء مظهر الذوبان السابق.

بينما يوضح الشكل رقم (١٦) مظهر نموذج الهرم بعد الطباعة الثانية في وجود التبريد حيث طباعة جيدة لقمة

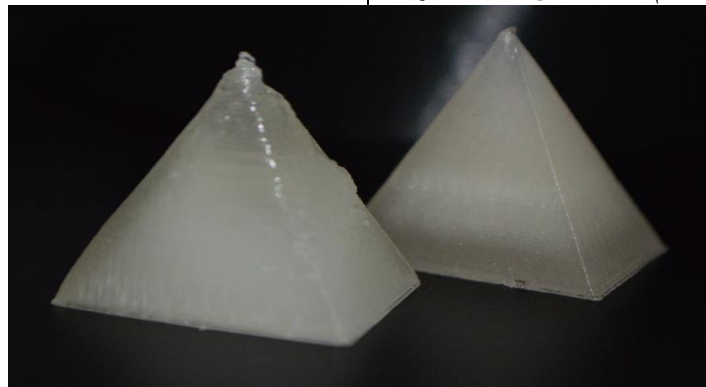




شكل رقم (١٦): يوضح مظهر النموذج بعد الطباعة الثانية وتحسن ملحوظ بالجودة

بالإعدادات الصحيحة في الطباعة الثانية أدى إلى حل مشكلة تشوه النهاية الدقيقة لقمة الهرم ورفع جودة النموذج.

نتائج التجربة الثانية جاءت من خلال الملاحظة والمقارنة البصرية بين نموذج الهرم بالطباعة الأولى ونسخته الأخرى بالطباعة الثانية كما هو موضح بالشكل رقم (١٧) حيث تم ملاحظة أن تفعيل التبريد



شكل رقم (١٧): صورة مقارنة بين النموذجين بالطباعة الأولى والثانية

بظروف ثابتة موضحة بالجدول رقم (٣) مع اختلاف ظروف التبريد أحدهما في وجود تبريد للنموذج أثناء الطباعة والأخرى بدون تبريد أثناء الطباعة ثم قياس الأبعاد.

### 3- التجربة الثالثة:

تمثل التجربة الثالثة طباعة مكعب مفتوح طول ضلعه وفقا للتصميم المعد ٢٠ مم. تم طباعة المكعب مرتين مكعب ١ و مكعب ٢

جدول رقم (٣): يوضح الظروف الثابتة للتجربة الثالثة

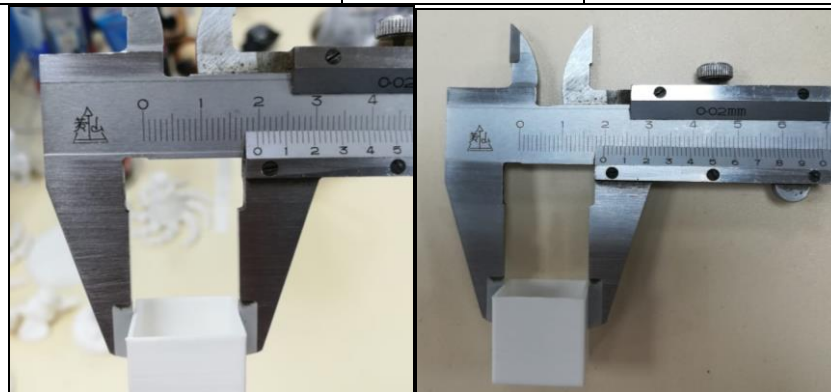
Material	White PLA	المادة الخام
Layer Hight	0.2mm	ارتفاع الطبقة
Shell	0.8mm	سمك الجدران
Infill	0%	الحشو
Print Speed	30mm/s	سرعة الطباعة
Extrusion Temperature	210°C	درجة حرارة الطباعة

رقم (٤).

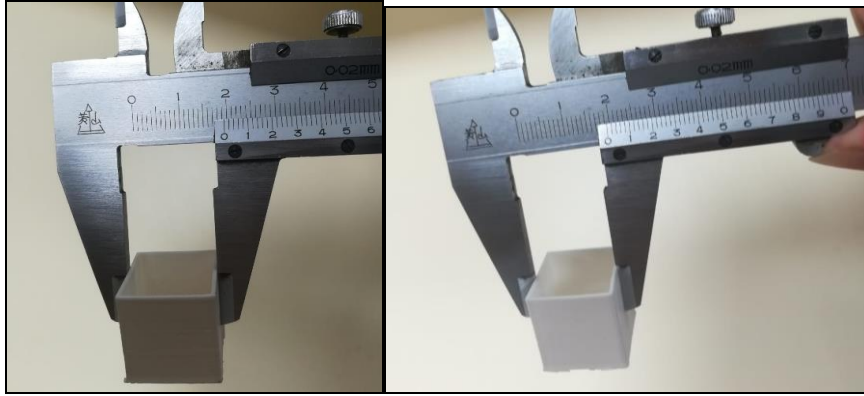
ثم تم قياس أبعاد النموذج بعد كل طباعة من الجهتين باستخدام القدمة ذات الورنية وتسجيل النتائج بالجدول

جدول (٤): يوضح قياسات أبعاد النموذج بالتجربة

Cube 01 dimensions without cooling	19.4 * 19.4 mm	أبعاد المكعب ١ بعد الطباعة الأولى بدون تبريد
Cube 02 dimensions with cooling	19.8 * 19.8 mm	أبعاد المكعب ٢ بعد الطباعة الثانية بالتبريد



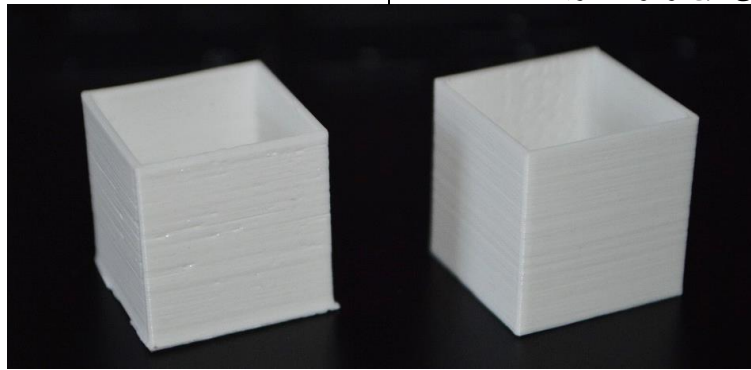
شكل رقم (٢٠): يوضح قياس المكعب ١ بدون تبريد باستخدام القدمة ذات الورنية



شكل رقم (٢١): يوضح قياس المكعب ٢ مع وجود تبريد باستخدام القدمة ذات الورنية

ضروري لضمان دقة الأبعاد. أيضا من خلال الملاحظة بصريا كان مظهر الطبقات الطبوعة ذات جودة أعلى في حالة تفعيل التبريد كما هو موضح في الشكل رقم (٢٢).

4- نتائج التجربة الثالثة جاءت من خلال مقارنة نتائج القياس لنموذجي المكعب بين الطباعة الأولى والثانية حيث أثبتت أنه في حالة تفعيل التبريد كانت دقة الأبعاد أقرب ما يمكن لدقة الأبعاد المطلوبه وبالتالي فإن وجود التبريد أثناء الطباعة



شكل رقم (٢٢) يوضح مقارنة بين مظهر النموذجين بالتجربة الثالثة

المؤدى للشكل المجعد وبدا ذلك واضحا في أطراف النموذج الخارجية أما الجسور Bridges فهو مصطلح في الطباعة ثلاثية الأبعاد يشير إلى بثق أفقي للمادة الخام بين نقطتين بارزتين دون أي دعم من الأسفل وقد يحدث أحيانا تدلى للطبقات الأولى عند طباعتها قد تؤدي الى مشكلة أكبر وهي ضعف الجسور وسهولة إنكسارها خاصة تلك ذات السمك القليل وقد ظهر في الطباعة الأولى للنموذج تدلى الطبقات الأولى للجسور الموجودة بمنتصف النموذج وظهرت هذه المشكلة بالتجربة الأولى نتيجة تعرض النموذج لتوزيع هواء التبريد بشكل جانبي تسبب فيه تصميم قناة مروحة التبريد جانبية التصميم وقد يكون ناجحا هذا التصميم في التصميمات المسطحة بينما لم ينجح هنا حيث لان أجزاء النموذج تتطلب توزيعا متساويا للهواء وأثبت ذلك أنه عندما تعرض بنفس الظروف لقناة توزيع ثنائية المخرج أدت الى توزيع متساوي للهواء على جانبي النموذج أثناء الطباعة وإختفت المشكلات التي ظهرت بالطباعة الأولى. أما المشكلة الثانية التي تأثرت بالتبريد وظهرت واضحة في التجربة الثانية عند طباعة نموذج الهرم هي تشوه النهايات الدقيقة والطبقات القريبة من قمة الهرم ففي حين أن الطبقات الأولى للهرم طبعت بشكل جيد إلا أنه كلما ارتفعت الطبقات ظهرت المشكلة حيث تقلصت مساحة الطبقات تبعا للتصميم مما أدى إلى سرعة إستقبال الطبقات لبعضها دون تعرضها لتبريد كافي فكلما ارتفعت الفوهة في بناء الشكل كلما كانت تتحرك راس الطابعه في مساحة بناء أصبى فتزداد درجة الحرارة للطبقة ولا يحدث أن تأخذ وقتا كافيا للتصلب لتحتمل ضغط الطبقات الأعلى فتستقبل الطبقات الأعلى وهي لينة مما يؤدي الى تأثرها بالضغط بشدة ويحدث تأثير الذوبان Melting الواضح على الطبقات مسببا تشوه للنموذج. وقد يكون احد الحلول للتحكم في تبريد الطبقات في النهايات الدقيقة هو تكرار النموذج حتى تنتقل رأس الطابعة بين النموذجين موفرة فرصة كافية للطبقات في تلك المناطق لكي تبرد قبل الطبقة التالية. إلا أن الحل

## النتائج Results:

- تتمثل نتائج البحث في النقاط التالية:
- التبريد أحد العوامل الهامة المؤثرة على جودة النماذج بطابعات التشكيل بالخيوط المنصهرة .
- وجود تبريد أمر ضروري في حالة النماذج التي يحتوى تصميمها على جسور أو أجزاء بارزة أو نهايات دقيقة.
- وجود التبريد أمر ضروري لضمان دقة الأبعاد للنماذج المطبوعة.
- تفعيل التبريد ليس كافيا لطباعة جيدة.
- الضبط الصحيح لإعدادات التبريد ببرنامج التقطيع أحد أهم عوامل نجاح طباعة النهايات الدقيقة.
- تصميم قناة مروحة تبريد الجزء Part Design Cooling Fan Duct يؤثر بشكل كبير على جودة النماذج الطباعية بخيوط الـ PLA.
- خيوط مادة الـ PLA لا تتطلب قوة تبريد عالية ويمكن الحصول على طباعة جيدة بنظام أحادي للتبريد Single Cooling Fan بتصميم جيد لقناة المروحة يضمن توزيع الهواء من جميع جوانب النموذج أثناء الطباعة .

## المناقشة Discussion:

توضح التجارب العملية أن عدم تعرض النموذج المطبوع أثناء الطباعة للتبريد الصحيح يؤدي إلى العديد من المشكلات والتي ظهرت في التجارب من خلال تشوهات بالجسور والأجزاء البارزة بالتجربة الأولى لنموذج الـ DNA والأجزاء المتدلية في الطباعة ثلاثية الأبعاد Overhangs هي المكان الذي يبرز فيه الفتيل/ المادة الخام "يتدلى" من الطبقة السابقة بعيدا جدا إلى النقطة التي تكون فيها في منتصف الهواء ولا يتوفر دعم أسفلها. مما قد ينتج عن ذلك أن الطبقة الميثوقة Extruded layer "تتدلى" وتنتج جودة طباعية رديئة تبدو كترام الطبقات بشيء من الترحيل

- [printing-guide-for-teachers](#)
6. Quintans, desi. (2016, February 21). The effects of fan types and fan shrouds on overhangs and warping in 3D printing. Retrieved April 12, 2021, from <http://www.desiquintans.com/coolingtests#thingstested>
  7. Noorani, Rafiq.(2018)- 3D Printing Technology, Applications, and Selection-Book- Taylor & Francis Group, LLC
  8. Stevenson, Kerry. (2016, November 14). The Critical Importance of Cooling During Plastic 3D Printing. Blog. Retrieved March, 2021, from <https://www.fabbaloo.com/blog/2016/11/14/the-critical-importance-of-cooling-during-3d-printing>
  9. Pelonis, Sam. (2013, December 12).Using Cooling Fans for 3D Printing. Retrieved April 19, 2021, from <https://www.pelonistechnologies.com/blog/using-cooling-fans-for-3d-printing>
  10. Pollette, Chris & Crawford, Stephanie. (2019, September 26). How 3-D Printing Works. Article. Retrived April 18,2021, from <https://computer.howstuffworks.com/3-d-printing.htm>
  11. 3dlink: “Fdm-technologie 3d printer”, 2016, Retrived March,2021 from <https://www.3dlink.nl/2016/08/23/dddprint-er-in-zeeland/fdm-technology/>.
  12. my3dconcepts.com (2017, April 28), HOW 3D PRINTING WORKS?. Retrieved April 17,2021 from <http://my3dconcepts.com/explore/how-3d-printing-works/>
  13. my3dconcepts.com (2017, April 28), Main Components Of Fdm 3d PRINTERS. Retrieved April 17,2021 from <http://my3dconcepts.com/explore/main-components-of-desktop-3d-printers/>
  14. Stemfie3D. (2019, July 1). File:3D printing calibration part-cooling fan airflow.svg, Retrieved April 16,2021 from [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D\\_printing\\_calibration\\_part-cooling\\_fan\\_airflow.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_printing_calibration_part-cooling_fan_airflow.svg)
  15. Eipionezero (2015, May 21), 2-in-1 fan duct: extruder and filament cooler for E3D V6 and others, Retrieved April 12,2021 from <https://www.thingiverse.com/thing:839620>

الأكثر فاعلية هو الضبط الصحيح لإعدادات التبريد ببرنامج التقطيع وتحديد أقل مدة زمنية متاحة لتبريد الطبقة قبل استقبال طبقة جديدة فمن الأخطاء الشائعة في ضبط إعدادات التبريد إغفال ذلك وتساوى التبريد على طول النموذج وكان تشغيل التبريد بالشكل الصحيح سببا في حل المشكلة في الطباعة الثانية لنموذج الهرم إلا أن هناك ملاحظه بخصوص شفافية النموذج حيث تمت طباعته بخيوط PLA شفافة وتم ملاحظة اختلاف في الشفافية على طول النموذج زاد بوضوح في النهاية الدقيقة للنموذج الأول عند غياب التبريد وارتفاع درجة حرارة الطبقات وتتطلب تلك الظاهرة مزيدا من البحث لم يكن محلها البحث إلا أن التفسير يؤكد أن جودة الشفافية تتطلب ارتفاعا لدرجة حرارة الطباعة، أيضا مشكلة دقة الأبعاد التي ظهرت في التجربة الثالثة لطباعة المكعب أحد المشكلات توضح تأثر دقة الأبعاد عند الطباعة في غياب التبريد إلا أن الاختلاف جاء مختلفا عن ما هو متوقع بالزيادة في الأبعاد وليس بالنقصان حيث أن انضغاط الطبقات التي لم تتعرض لتبريد كاف من المفترض أن يسبب قدرا من الذوبان وبالتالي زيادة في الأبعاد وهذا ما لم يتوصل اليه البحث لتفسيره بشكل علمي إلا أن الهدف من التجربة تحقق في تأثر دقة الأبعاد بالتبريد وأن وجود التبريد عاملا هاما في الحصول على دقة الأبعاد المطلوبة ومظهر جيد للطباعة حيث تأثر المظهر في التجربة الثالثة سلبا في عدم وجود التبريد.

#### الخلاصة Conclusion:

هناك علاقة واضحة بين جودة الطباعة ثلاثية الأبعاد بخيوط متعدد حمض اللاكتيك PLA وبين التبريد الذي يتعرض له النموذج أثناء الطباعة ففي غياب التبريد يبدو التأثير السلبي واضحا على المظهر الجمالي للنموذج وأيضاً على دقة الأبعاد فمن المشكلات شديدة التأثير بالتبريد هي مشكلة تشوه الاجزاء البارزة والجسور والنهايات الدقيقة ودقة الأبعاد ويأتي التحكم في التبريد من خلال الفهم والضبط الصحيح لإعدادات التبريد ببرنامج التقطيع هاما لرفع جودة المطبوع كما نجد أن النموذج يتأثر بكيفية توزيع الهواء أثناء الطباعة في حالة إحتواء على أجزاء بارزة أو جسورا والتي تتم طباعتها دون أى دعم أسفلها لذا فإجراء مزيد من البحث حول التصميمات المختلفة من قنوات توزيع الخواء الملحقة بتبريد الجزء يمثل توصية للبحث وأيضا إجراء المزيد من البحث في أثر التبريد على الخيوط الأخرى من اللدائن الحرارية المختلفة حيث اهتم البحث بالتطبيق على خيوط PLA دون غيرها.

#### المراجع References:

1. شلنتوت، محمد – العبد الله، ديمة (٢٠١٩)، الطباعة ثلاثية الابعاد في التعليم (أسس ومهارات النمذجة التعليمية)، الرياض / مكتب التربية العربي لدول الخليج.
2. صيام، إبراهيم (مارس، ٢٠١٥)، كيف تعمل الطباعة المجسمة (ثلاثية الأبعاد). جمعية أنا أصدق العلم.تم استرجاعه في ٢٠٢١/٤/١٨ على الرابط <https://www.ibelieveinsci.com/?p=4920>
3. Prusa, Josef (2019). Basics of 3D printing.book. Published by:Prusa Research s.r.o.
4. Aranda, Sean. (2020). 3D Printing Failures, How to Diagnose & Repair all Desktop 3D Printing Issues.book. Monee,IL.
5. PrintLab. (April 2018). 3D Printing Guide for Teachers. Retrieved April 18, 2021, from <https://classroom.weareprintlab.com/p/3d->