مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(6) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (6) 2020

تصميم وتنفيذ طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بتقنية الترسيب المُنصهر "FDM"

م. ليليان شعيب صموعه*

(تاريخ الإيداع 7/16 /2020. قُبِل للنشر في 17 /8/ 2020)

□ ملخّص □

تمحور العمل في هذا البحث حول تصميم وتنفيذ طابعة ثلاثيّة الأبعاد (Printer) من نوع النمذجة بالترسيب المُنصهر"FDM"، تستخدم الحرارة لتشكيل المُجسم البلاستيكي.

يستعرض البحث الخطوات الميكانيكية لتصميم الطابعة ثلاثيّة الأبعاد والتجهيزات الكهربائية المُستخدمة. مُتحكّم الطابعة هو شريحة الآردوينو "Arduino mega" مع شريحة التحكّم "Shield Ramp" (طراز "RAMPS 1.4").

تمر عملية الطباعة ثلاثيّة الأبعاد بمراحل رئيسية، تبدأ بتصميم المُجسم المُراد طباعته باستخدام "Solidworks". المرحلة التالية، هي ضبط بارامترات عملية الطباعة باستخدام البرنامج "Slic3r" الذي يقوم بتوليد ملف المعلومات ال "G-code" للمُجسم المراد طباعته. ثم باستخدام البرنامج "Pronterface" يتم نقل ملف المعلومات إلى المُتحكّم. تتم برمجة المُتحكّم عن طريق البرنامج "Arduino IDE" بمساعدة الأداة البرمجية"Marlin" (المخصصة للطابعة ثلاثية الأبعاد).

تتميز الطابعة المُصممة بحجمها الصغير وبخفة وزنها وبسعرها المنخفض مقارنة مع الطابعات التجارية. أظهرت النتائج التجريبية لعمل الطابعة أنّ دقة الطابعة مشابهة جداً لدقة الطابعات المتوافرة في الأسواق، وأنّ المجسمات البلاستيكية التي تصنّعها الطابعة متينة يمكن استثمارها في مختلف المجالات.

الكلمات المفتاحية: طابعة ثلاثية الأبعاد"FDM"، تصميم، الآردوينو، ShieldRamp، G-code.

*مهندسة قائمة بالأعمال في قسم هندسة الطاقات المتجددة – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس – سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(6) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (6) 2020

Designing and implementing a "FDM" 3D printer

Eng. Lilian Shoaib Samoeh*

(Received 16/7/2020. Accepted 17/ 8/2020)

□ **ABSTRACT** □

The work in this paper focuses on the design and implementation of a 3D printer "FDM" model, which uses heat to form a plastic model.

The research presents the mechanical steps of 3D printer design and the electrical equipment used. The printer controller is the "Arduino mega" chip with the "Shield Ramp" controller ("RAMPS 1.4").

The printing process consists of basic stages, starting with the design of the object to be printed using "SOLIDWORKS", the next stage is to set the parameters of the printing process using "Slic3r" which generates the "G-code" file for the object to be printed. Then, using the "Pronterface" program, the information file is transferred to the controller that is programmed through the "Arduino IDE" program, where it installs the "Marlin" software tool (intended for the 3D printer).

The designed printer is compact, light in weight and low in price compared to commercial printers. Experimental results of the work of the printer showed that the accuracy of the printer is very similar to the accuracy of the printers on the market, and that the plastic objects that the printer makes are robust and can be used in various fields.

key words: 3D Printer "FDM", Design, Arduino, Shield Ramp, G-code.

*Engineer, Charge d'affaires In the Department of Renewable Energy Engineering Faculty of Technical Engineering, Tartous University. Syria.

1- المقدمة:

نتيجة للتطور التكنولوجي المُتسارع والحاجة الماسّة إلى الدقة في التصنيع ظهرت الآلات الحديثة القادرة على تلبية متطلبات التصميم الصناعي، وفي مقدمتها الطابعات ثلاثية الأبعاد التي أحدثت نقلة نوعية في هذا المجال. تكمُن أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد في أنها تقنية مُبتكرة تستطيع تصنيع كائنات صلبة (مُجسمات) كاملة ومعقدة، حيث تستطيع طباعة (صناعة) المُجسمات باستخدام مواد مختلفة، تدخل في العديد من المجالات: كما في المجال الطبي (الأجهزة التعويضية والأطراف الصناعية، طب الأسنان)، التعليم والبحث العلمي (صناعة نماذج مطابقة للواقع لإجراء الدراسة عليها)، في مجال الروبوتات والالكترونيات، في التصميم الصناعي، وغيرها.[1]

هناك عدة أنواع من الطابعات ثلاثية الأبعاد، أقدمها تقنية "SLA" وهي تقنية تعتمد على الليزر حيث تستخدم التبلمُر الضوئي لصنع مُجسمات صلبة من السوائل. لكن أكثر أنواع هذه الطابعات شيوعاً هو النمذجة بالترسيب المُنصهر"FDM"(Fused Deposition Modeling)، أي عملية سحب مادة الطابعة عن طريق الحرارة. [2]

قمنا في هذا العمل بتصميم وتنفيذ طابعة ثلاثية الأبعاد (3D printer) تعمل بتقنية الـ"FDM" تمكّن من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي يتم ترجمته إلى سلسلة من الشرائح الأفقية ثم طباعته باستخدام البلاستيك عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً (لا يتجاوز سمكها أجزاء من الميليمتر) إلى أن يتم إنشاء المُجسم ثلاثي الأبعاد المطلوب.[3]

2- أهمية البحث وأهدافه:

تكمُن أهمية البحث في وضع خطوات التصميم، بشكل مبسط، لتنفيذ طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بتقنية الترسيب المُنصهر "FDM"، وهي تقنية تصنيع فعّالة لتطوير المُنتجات والنماذج الأولية التي تستخدم في قطاعات مختلفة كالقطاع الصناعي، وقطاع التعليم والبحث العلمي، وغيرها.

وما يترتب على ذلك من فوائد تقنية ومادية، تتمثل في مواكبة التطور التقني والاعتماد على الخبرات المحلية في توطين تقنية تصنيع حديثة تساهم في زيادة الإنتاج وخفض التكاليف.

يهدف البحث إلى تصميم وتنفيذ طابعة تقوم بتصنيع المجسمات البلاستيكية ثلاثية الأبعاد بدقة مساوية لدقة الطابعات التجارية وبتكلفة أقل، يمكن استثمارها في العديد من المجالات.

3- طرائق البحث ومواده:

قمنا في البداية بالتصميم الميكانيكي للطابعة ثلاثية الأبعاد، حيث استخدمنا مادة الألمنيوم الخفيف الوزن لتصميم الهيكل. الخطوة التالية ستكون للتصميم الكهربائي، من أجل رأس الطباعة استخدمنا الأداة " E3D v6 HotEnd"، وقمنا بتحريك محاور الطابعة بواسطة ثلاثة محركات خطوية من نوع "Nema 17"، وكأرضية للطباعة سنستخدم اللوح "HeatBed"، لضبط موقع أرضية الطباعة ونهاية محاور الحركة استخدمنا الحساس "Endstop".

اخترنا الشريحة "Arduino mega" كمُتحكّم للطابعة لما تتمتع به من مزايا تناسب مشروعنا بالإضافة إلى الشريحة الالكترونية "RAMPS 1.4" من إنتاج شركة "RepRap" لتحقيق الربط بين الآردوينو وأجهزة الطابعة. من أجل التصميم البرمجي، استخدمنا البرنامج "Slic3r" لضبط بارامترات عملية الطباعة، وذلك بعد أن يتم استيراد معلومات ملف التصميم ذو الامتداد"STL.". ثم عن طريق البرنامج "Pronterface" يتم نقل ملف المعلومات (الـ "G-code") إلى المُتحكّم. من أجل برمجة الآردوينو استخدمنا البرنامج "Arduino IDE" المفتوح المصدر مع البرنامج "Marlin" المخصص للطابعة ثلاثية الأبعاد.

4- تصميم الطابعة:

قبل البدء بتصميم الطابعة الثلاثية الأبعاد التي تعمل بالترسيب المنصهر، سنوجز فكرة عملها كما يلي: يتلخص مبدأ العمل بذوبان كبل البلاستيك الذي يتم سحبه من بكرة البلاستيك لتغذية فوهة الطارد (Extruder) الساخن، حيث يتم دفع البلاستيك المُنصهر في إحداثيات XوY مع انخفاض أرضية الطباعة في اتجاه Z وذلك عند الانتهاء من كل طبقة من أجل تشكيل طبقات متتالية على أرضية الطباعة، وذلك وفقاً للبيانات ثلاثية الأبعاد المعطاة للطابعة [4].

4-1- التصميم الميكانيكي:

قمنا بتصميم الهيكل الخارجي من مادة الألمنيوم بأبعاد "4×4cm" لمقطع العوارض، وتم إنشاء قاعدة الطابعة على شكل مربع بأبعاد "60×60cm" وارتفاع "60cm"، كما هو مبين في الشكل (1).

الشكل (1): تصميم الهيكل الخارجي للطابعة.

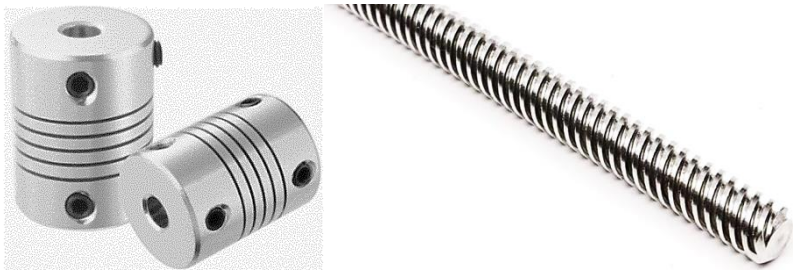
-من أجل جمع العوارض وتثبيتها يبعضها البعض استخدمنا تباشيم تثبيت، كما هو مبين في الشكل (2).

الشكل (2): تثبيت العوارض

-استخدمنا قضبان من الكروم (Smooth rod) لتشكيل محاور الحركة، وقمنا بتثبيتها بواسطة مثبتات من نوع "Sk8". كما هو مبين في الشكل (3).

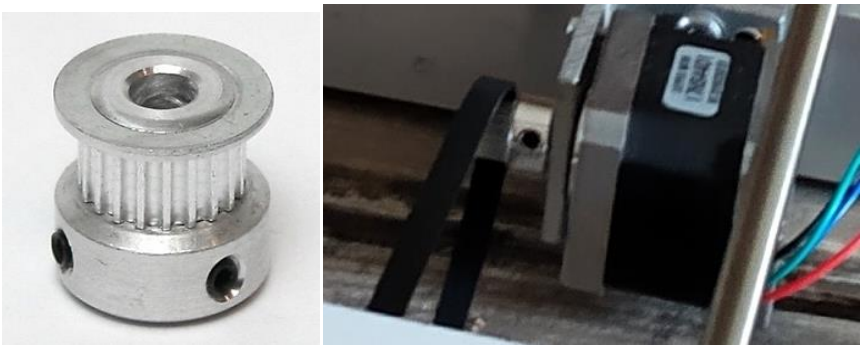
الشكل (3): مثبتات من نوع "Sk8".

-لتحويل الحركة الدورانية إلى حركة انسحابية، استخدمنا ما يعرف بالشرر وهو عبارة عن سيخ سطحه مكون من لفات حلزونية لكل سنتيمتر واحد وهذا العدد من اللفات مطلوب لبرمجة الحركة العمودية، تقوم هذه الأداة بتحويل الحركة من خلال دوران عزقة خاصة به، استخدمنا في التصميم سيخ قطره "8mm"، كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (4): سيخ الشرر مع العزقة الخاصة به.

-لموائمة المحرك الخطوي الخاص بتحريك أرضية الطباعة، ركبنا على محوره الأداة "Coupler" مع المسنن "GT2-pulley" والذي يُربط عليه قشاط تحويل الحركة الدورانية إلى حركة انسحابية، كما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (5): المحرك الخطوي المستخدم لتحريك أرضية الطباعة.

-من أجل ضغط كبل البلاستيك المستخدم في الطباعة إلى رأس الطباعة،استخدمنا الأداة الميكانيكية "Extruder". الشكل (6).

الشكل (6): الأداة الميكانيكية "Extruder"

4-2- التصميم الكهربائي:

- رأس الطباعة:

من أجل عملية إذابة كبل البلاستيك المُستخدم في الطباعة استخدمنا الأداة "E3D v6 HotEnd" المزودة بمروحة (الشكل 7) وذلك لتخفيض الحرارة في حال ارتفاعها. يعمل المُسخّن والمروحة عن طريق مُتحكّم "PID" للحصول على ضبط دقيق للحرارة.[5]

الشكل (7):رأس الطباعة"Hotend with fan".

- المحركات:

لتحريك محاور الطابعة الثلاثة، اخترنا لكل محور المحرك الخطوي من نوع "Nema 17". عزم المحرك هو(4.5kg/cm)، وأبعاده (43.18 x 43.18mm) .[6]

يمتلك هذا المحرك المواصفات المناسبة للطابعة التي نريد تصميمها كما هو مبين في الشكل (8).

الشكل (8): محور المحرك الخطوي "Nema 17"

- **اللوح "HeatBed":**

يمثل هذا اللوح أرضية الطباعة، وهو عبارة عن لوح مُصنّع من السيليكون الحراري، يحتوي على وشائع للتسخين ويُغطى بطبقة عازلة من البلاستك المُعالج ضد ارتفاع الحرارة.[7]

يستطيع هذا اللوح تأمين حرارة تصل إلى 90C°. ويُستخدم لتثبيت المشغولة عليه وضمان بقائها ساخنة لكي تزيد دقة الطباعة، حيث عندما تكون حرارة المشغولة مرتفعة نضمن التصاق الطبقات فوق بعضها البعض بمتانة وتصبح كقطعة واحدة دون ظهور أثار الطباعة عليها. يعمل اللوح عند جهد 12V ويسحب تيار حوالي 10A. انظر الشكل (9).

الشكل (9): اللوح "HeatBed".

- **الحساس "Endstop":**

وهو عبارة عن حساس نهاية شوط (Limit Switch)، يستخدم لضبط موقع أرضية الطابعة ونهاية محاور الحركة. يتم تثبيت هذا الحساس في نهاية كل محور من المحاور (X, Y, Z).انظر الشكل (10).[8]

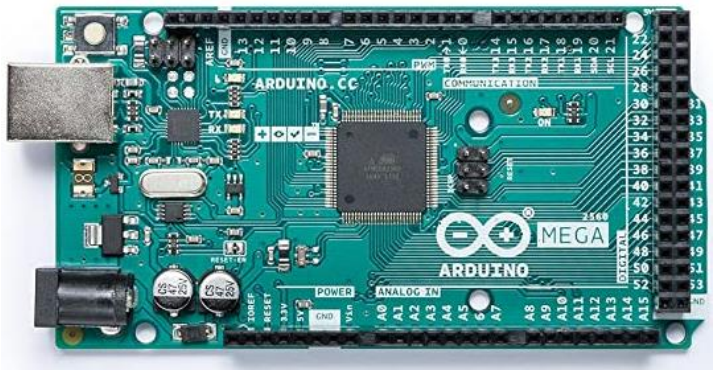
الشكل (10): الحساس "Endstop"

4-3- التصميم البرمجي:

4-3-1- المُتحكّم (Controller):

بمقارنة المُتحكّمات المُمكن استخدامها، اخترنا الآردوينو (Arduino) وذلك لرخص ثمنه وعدم الحاجة إلى جهد كبير لتغذيته واستهلاكه المنخفض للتيار الكهربائي.[9]

بالإضافة إلى سهولة التعامل مع الآردوينو وبساطة لغة البرمجة، يتم برمجته عن طريق برنامج خاص هو "Arduino IDE" والذي يتوفر على موقع الآردوينو الرسمي بشكل مجاني[10]. تتوفر شرائح الآردوينو بإصدارات مختلفة، تختلف عن بعضها البعض بعدد المداخل والمخارج الرقمية والتشابهية وإمكانية وسرعة المعالج المُستخدم.



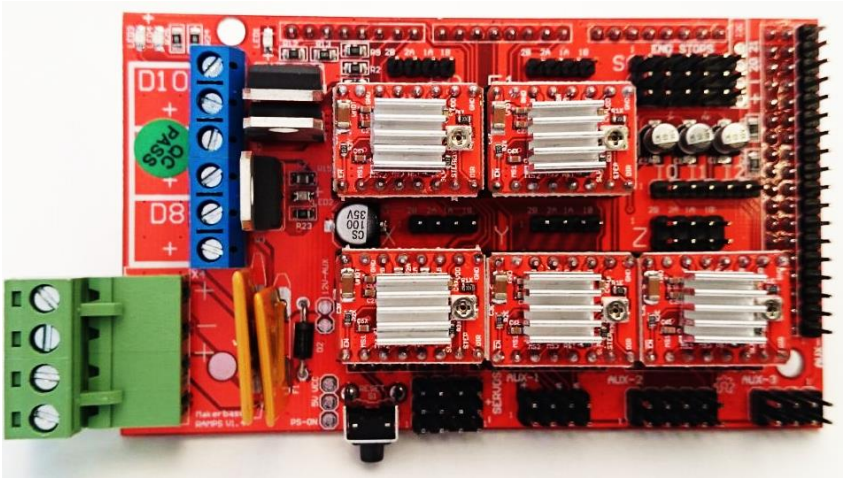
استخدمنا في مشروعنا الشريحة "Arduino mega" لما تتمتع به من مزايا تناسب مشروعنا، والمبينة في الشكل (11).

الشكل (11): الشريحة "Arduino mega".

4-3-2- شريحة التحكّم "ShieldRamp":

وهي عبارة عن شريحة الكترونية تعمل كواجهة بين المتحكّم (الآردوينو) والأجهزة الإلكترونية على الطابعة، حيث أنّ الآردوينو لا يملك ما يكفي من الطاقة لتشغيل أجهزة الطابعة.

تحتوي هذه الشريحة على منافذ لوصل دارات قيادة المحركات وجميع الملحقات التي يمكن اضافتها إلى الطابعة (شاشة إظهار، مراوح تبريد إضافية، ...الخ). لهذه الشريحة إصدارات متعددة تختلف في عدد المحركات والملحقات التي يمكنها تشغيلها.من أجل مشروعنا استخدمنا الشريحة "RAMPS1.4" وهي عبارة عن لوحة مخصصة للآردوينو ميغا من إنتاج شركة "RepRap".



الشكل (12): الشريحة"RAMPS 1.4"

4-3-3-برمجيات مراحل الطباعة:

مرت عملية الطباعة بثلاث مراحل رئيسية متتالية، هي:

أ) **تصميم المُجسم:** يتم تصميم المُجسم المُراد طباعته وتحديد أبعاده باستخدام البرنامج "Solidworks" المُخصص للتصميم ثلاثي الأبعاد، حيث نقوم بحفظ ملف تصميم المُجسم بامتداد "STL.".

ب) **تحديد البارامترات:** استخدمنا البرنامج "Slic3r" لضبط بارامترات الطباعة للمُجسم المُصمم وذلك بعد أن يتم استيراد معلومات ملف التصميم ذو الامتداد "STL".

يقوم المُستخدم بتحديد بارامترات الطباعة (سرعة عمل محركات الطابعة، درجة حرارة رأس التسخين درجة حرارة أرضية الطباعة،...الخ)، وبتحديد بارامترات العناصر (مثل: قطر المادة المستخدمة في الطباعة، كمية المادة التي نحتاجها لإتمام الطباعة).

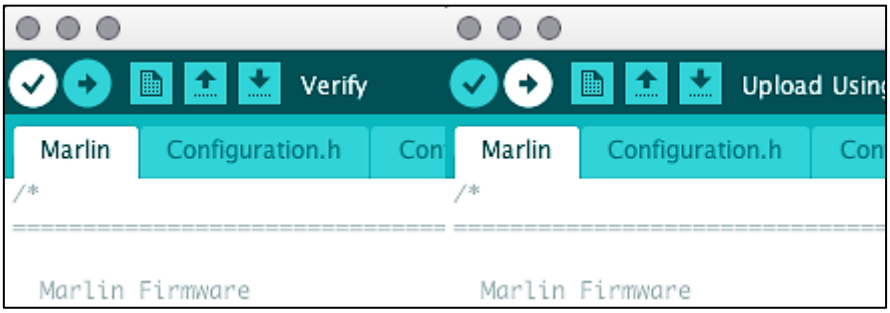
عند الانتهاء من عملية الضبط، يقوم المُستخدم بحفظ الإعدادات ليتولد ملف بصيغة "G-code" للمُجسم المراد طباعته والذي يحتوي على المعلومات اللازمة لإتمام عملية الطباعة.[11]

ج) نقل المعلومات إلى المُتحكّم: من أجل نقل ملف المعلومات إلى المُتحكّم "Arduino" استخدمنا البرنامج "Pronterface"، ومن أجل ذلك نقوم بإدراج ملف الـ"G-code"المُولد من قبل برنامج "Slic3r". يمكن أيضاً من خلال برنامج "Pronterface" التحكّم بسرعة المحركات وبدرجة الحرارة (إذا لم تكن مناسبة). عند الضغط على الأمر "PRINT" يبدأ رأس الطباعة بزيادة درجة حرارته إلى أن تصل إلى الحرارة المضبوطة، ثم تقوم المحركات بالعمل وتبدأ عملية الطباعة.[12]

4-3-4-برمجة مُتحكّم الطابعة:

بالنسبة لمُتحكّمات "Arduino" تم تطوير البرنامج "Marlin" المُخصص للطباعة ثلاثية الأبعاد والمترافق مع البرنامج "Arduino IDE" المستخدم لبرمجة الآردوينو، الشكل (13).

برنامج "Marlin" هو برنامج مفتوح المصدر ويتوفر بعدة إصدارات، اخترنا في عملنا أحدث إصدار "Marlin 2.0".يقوم هذا البرنامج بتحويل اعدادات ملفال "G-CODE" المُرسلة من قبل البرنامج "Pronterface" إلى مصفوفة رقمية ليتمكن من قيادة المحركات.



الشكل (13): أدراج البرنامج "Marlin"مع البرنامج "Arduino IDE".

بناء على متطلبات التصميم للمُجسم المراد طباعته، قمنا بالخطوات البرمجية التالية وبالترتيب:

-في البداية، قمنا بضبط المنفذ الذي سوف تتصل عليه الطابعة، وضبط التردد "BAUD RATE"، وتحديد نوع شريحة الـ"RAMP" المُستخدمة:

```
#define BAUDRATE 250000

// Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
//#define BLUETOOTH

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif
```

ضـ –

بط عدد رؤوس الطباعة المُستخدمة (في طابعتنا يوجد رأس طباعة وحيد):

```
/ This defines the number of extruders
/ :[1, 2, 3, 4, 5]
define EXTRUDERS 1

/ Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...).
define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 3.0
```

ضـ –

بط نوع الثيرمستور (Thermistor) المُستخدم في قياس درجة الحرارة:

```
 */
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
```

–ضبط ثوابت المُتحكّم التفاضلي التكاملي التناسبي"PID" من أجل التحكّم الأمثل بحرارة رأس الطباعة وحرارة "HEATBED"، حيث يتم تغيير هذه الثوابت حسب برودة الطقس:

```
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255     // Limits current to nozzle while in bar
#define PID_MAX BANG_MAX // Limits current to nozzle while PID is
#define PID_K1 0.95      // Smoothing factor within any PID loop
#if ENABLED(PIDTEMP)

  // Ultimaker
  #define DEFAULT_Kp 22.2
  #define DEFAULT_Ki 1.08
  #define DEFAULT_Kd 114
```

-تفعيل استخدام حساسات نهاية الشوط وموقعها، استخدمنا حساسات نهاية شوط عند النهاية الصُغرى من كل محور، مع العلم أنه يمكن استخدامها مع النهاية العُظمى:

```
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG
```

-ضبط اعدادات الحركة، والتي تختلف حسب معايير التصميم. لحساب هذه الإعدادات نستعين بموقع متخصص في هذه الحسابات:

www.prusaprinters.org/calculater

```
//#define DISTINCT_E_FACTORS

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *                                      X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT   { 88.7311, 88.7311, 400, 94.69 }
```

الأرقام الموضّحة في الشكل السابق، على الترتيبمن اليسار إلى اليمين، هي للمحاور (X، Y، Z)، بينما يمثل الرقم الأخير مقدار خطوة المحرك المستخدم لدفع مادة الطباعة. كما نلاحظ أنّ الرقم للمحور X وللمحور Y هو نفسه لأننا استخدمنا نفس المعدات لكلا المحورين.

ثم يتم ضبط قياسات أطوال المحاور وأطوال أرضية الطباعة وموقع المنتصف.

```
// Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
// :[-1,1]
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

// @section machine

// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 220

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions
#define X_MIN_POS -10
#define Y_MIN_POS -45
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS 190
#define Y_MAX_POS 175
#define Z_MAX_POS 280
```

5- آلية عمل الطابعة:

بعد إدراج الملف المُراد طباعته والضغط على الأمر "PRINT" تقوم الطابعة بتسخين رأس الطباعة، ومراقبة درجة الحرارة عن طريق الحساس (Thermistor) وعندما تصل إلى الدرجة المطلوبة (والمحددة في برنامج "slic3r") تعمل المحركات إلى أن تتحسس حساسات نهاية الشوط. يتم تحديد نقطة المنتصف للمحاور الثلاثة، ثم يتحرك المحرك Z لتكون المسافة بينه وبين أرضية الطباعة (HeatBed) مساوية لارتفاع الطبقة الأولى المعرّفة في الـ"G-CODE"، غالباً تكون الطبقة الأولى أسمك من باقي الطبقات لضمان التصاق المشغولة على أرضية الطباعة (عادةً تكون بحدود 0.3-0.4mm) أما سماكة باقي الطبقات فهي بحدود (0.2-0.25mm).

وهكذا يتم تثبيت موضع المحور Z وتبدأ محركات المحورين X و Y بالعمل معاً لرسم مسقط للجسم المُراد طباعته. بعد الانتهاء من رسم المسقط (الطبقة الأولى) يتحرك المحور Z إلى الأعلى بمقدار ارتفاع الطبقة الثانية، ثم تقوم محركات المحورين Xو Y بالعمل معاً من جديد لرسم المسقط الثاني فوق الطبقة الأولى، وهكذا يتم تشكيل المُجسم من خلال رسم مساقطه فوق بعضها البعض.

خلال عملية الطباعة يقوم المحرك المسؤول عن دفع مادة الطباعة (كبل البلاستيك) بالعمل. خلال عملية صعود المحور Z وعند الأماكن التي لا تحتوي على طباعة فإنّه يتم سحب كبل الطباعة بمقدار صغير جداً، وذلك لمنع رأس الطباعة من إذابة مادة البلاستيك، وهكذا تتم عملية الطباعة.

5-1-مُعايرة الطابعة:

للحصول على الأداء الصحيح للطابعة الثلاثية الأبعاد نقوم بمعايرتها، وهنا قمنا بإجراء معايرة ميكانيكية ومعايرة برمجية.

المعايرة الميكانيكية: بالنسبة للمحورين X و Y، تتم معايرتهما بتحريك رأس الطباعة إلى النقطة (0.0) وعند وصول الرأس إلى هذه النقطة يجب أن تتحسس حساسات نهاية الشوط.

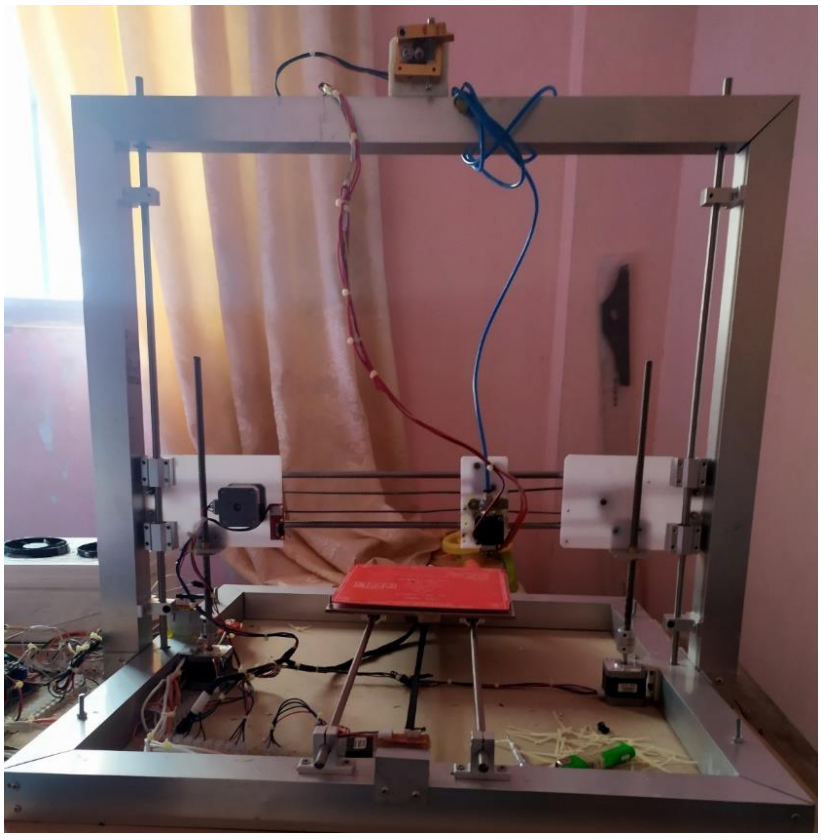
بالنسبة للمحور Z قمنا بمعايرته بحيث يتحسس حساس نهاية الشوط عندما تسمح المسافة بين رأس الطباعة وأرضية الطباعة بمرور ورقة واحدة فقط، واعتبرنا النقطة التي يتحقق عندها هذا الشرط هي النقطة صفر للمحور Z.

يجب التأكد من أن هذه المسافة ثابتة على كامل مساحة أرضية الطباعة، ومن أجل ذلك نقوم بتحريك رأس الطباعة يدوياً مسافات قليلة والتأكد من أن هذه المسافة تبقى ثابتة، لأنه في حال تغير المسافة سيتغير ارتفاع الطبقة الأولى وبالتالي ارتفاع باقي الطبقات تباعاً. لاحظنا أنّه عند الزيادة في هذه المسافة لن يتم التصاق مادة الطباعة على الأرضية، وفي حال كانت المسافة قليلة لن يتم السماح لمادة الطباعة بالخروج من رأس الطباعة بشكل سلس وبهذا سوف تعلق المادة في الرأس وتؤدي إلى حدوث انسداد تدريجي في الرأس إلى أن نصل إلى مرحلة تتوقف فيها المادة عن الخروج تماماً مما يؤدي إلى تلف الطباعة بشكل كامل.

المعايرة البرمجية: تتم المعايرة البرمجية من خلال الكود البرمجي المحقون في المُتحكّم "Arduino".نقوم بمعايرة أطوال المحاور ومعايرة نقطة المركز ونقطة منتصف كل محور، بحيث ندخل أنواع القطع المتوفرة لدينا في الموقع الذي يقوم بتوليد أرقام تقريبية ثم نقوم بالتجريب اليدوي على برنامج "Pronterface". حيث نحدد أولاً الموضع الحالي للمحور ثم يتم إصدار أمر بتحريك المحور بقيمة "1cm" وبعدها نقوم بقياس مقدار الخطوة فيما إذا كانت صحيحة، ومن ثم نقوم بعملية النسب وعلى هذا الأساس نقوم بزيادة الأرقام المتولدة أو إنقاصها، وهكذا نعاير المحاور.

6- النتائج والمناقشة:

قمنا في هذا العمل بتصميم وتنفيذ طابعة ثلاثية الأبعاد تعمل بتقنية الترسيب المُنصهر "FDM" وتستخدم البلاستيك كمادة للطباعة. يبين الشكل (14) التنفيذ العملي للطابعة المُصممة.



الشكل (14): تنفيذ الطابعة ثلاثية الأبعاد.

تتميز الطابعة المُصممة بحجمها الصغير وبخفة وزنها (هيكلها مصنوع من الألمنيوم).

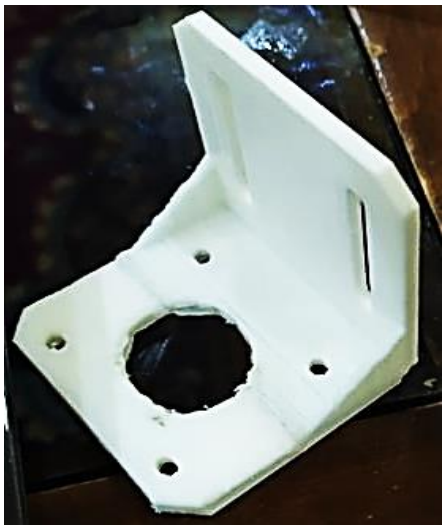
قمنا بشرح التصميم الميكانيكي للطابعة، ثم اخترنا التجهيزات المستخدمة في التصميم الكهربائي من أجل التصميم البرمجي اخترنا الآردوينو كمُتحكّم حيث استخدمنا الشريحة "Arduino mega" لما تتمتع به من مزايا تناسب مشروعنا.

من أجل الربط بين المتحكّم والأجهزة الإلكترونية على الطابعة اخترنا شريحة التحكّم "ShieldRamp" حيث استخدمنا الطراز"RAMPS 1.4" المخصصة لشريحة الآردوينو ميغا. وللحصول على الأداء الصحيح للطابعة قمنا بمعايرتها ميكانيكاً وبرمجياً.

للتأكد من صحة عمل الطابعة المُصممة قمنا باختبار أدائها، فأعطت النتائج المرغوبة من الناحية الفنية والاقتصادية، حيث كانت:

- المُجسمات البلاستيكية التي تصنّعها الطابعة متينة، يمكن استثمارها في مختلف المجالات.
- دقة الطابعة مشابهة جداً لدقة الطابعات المتوافرة في الأسواق (التي بنفس المواصفات).
- التكلفة الإجمالية أقل بكثير من تكلفة شراء طابعة ثلاثية الأبعاد.

يبين الشكل التالي، الشكل (15)، إحدى النماذج المُنفذة من قبل الطابعة التي قمنا بتصميمها والتي هي عبارة عن مسند لتركيب محرك عليه (لتثبيته على أحد الأسطح).



الشكل (15):مسند لتركيب محرك

أهم المشاكل والصعوبات التي واجهتنا أثناء العمل، هي:

- المعايرة، حيث احتاجت لوقت طويل.
- صعوبة تأمين التجهيزات والأدوات اللازمة للتصميم من السوق المحلي.
- في بعض الأحيان، تطلب الأمر تشذيب القطعة المُنتجة أو ما يُعرف بالتشطيب (إزالة الزوائد).

المراجع:

[1] A. Ramya, Sai leela Vanapalli, "*3D PRINTING TECHNOLOGIES IN VARIOUS APPLICATIONS", International Journal of Mechanical Engineering and Technology* (IJMET), Volume 7, Issue 3, 2016.

[2] N. Shahrubudin, T.C. Lee, *R. Ramlan, "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications"*, Elsevier, ScienceDirect, 2019.

[3] Vinod G. Surange, Punit V. Gharat, "3D Printing Process Using Fused Deposition Modelling (FDM)", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET),* Volume: 03 Issue: 03, 2016.

[4] John M. Gardner, and all., *"High Temperature Thermoplastic Additive Manufacturing Using Low-Cost, Open- Source Hardware"*, National Aeronautics and Space Administration, NASA/TM ,2016.

[5] Tyler Anderson, "*How to Install an E3D v6 HotEnd on a Creality CR-10*", Guide ID: 61, 2109.

[6] Einstronic, " *STEPPER MOTOR NEMA17*", Datasheet, 2017.

[7] Andrew Rictor, Bryan Riley, " *Optimization of a heated platform based on statistical annealing of critical design parameters in a 3D printing applicatio*n" Elsevier, ScienceDirect, 2016.

[8] Bart Meijer, "*Mechanical Endstop v1.1"*, Datasheet, 2014.

[9] RYAN TURNER, "*ARDUINO PROGRAMMING: 2 BOOKS IN 1- THE ULTIMATE BEGINNER'S & INTERMEDIATE GUIDE TO LEARN ARDUINO PROGRAMMING STEP BY STEP"*, book, TechnicalBooks 2018.

[10] Daniel Géron, " *Arduino Programming: The Ultimate Guide for Absolute Beginners with Steps to Learn Arduino Programming and the Fundamental Electronic Concepts*", Apress; 2nd ed. edition, 2015.

[11] M K A Mohd Ariffin, and all., "*Slicer Method Comparison Using Open-source 3D Printer"*, International Conference on Power and Energy Engineering, IOP Publishing, 2018.

[12] Trung H. Duong, and all., *"G-code Visualization and Editing Program for Inexpensive Metal 3D Printing"*, Elsevier, ScienceDirect, 2018.