



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي-سكيكدة-



قسم التكنولوجيا.

التخصص: هندسة ميكانيكية.

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

بعنوان

تصميم وصناعة ماكينة تفريز ذات التحكم العددي بالحاسوب (CNC)
بثلاث محاور للنقش على الخشب.

من إعداد:

- قريشي أمال.
- جغدير سلسبيل.
- سيباوي عصام.

تحت إشراف الأستاذ:

- إساسة إبراهيم.

لجنة المناقشة:

- الرئيس: سعايدية عزيز.
- المناقش: لعاسي نوري.
- المشرف: إساسة إبراهيم.

السنة الجامعية 2024/2023

الإهداء

الحمد لله ختاماً وشكراً وامتناناً على البدء و الختام

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون

اهدي هذا النجاح لنفسى أولاً، إيماناً مني بقدراتي وإمكانياتي، ثم إلى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة دمت لي سنداً لا عمر له.

إلى والديّ العزيزين من غرسا فيّ محبة العلم و المعرفة، الذين ما فتئنا يدعوان الله لي بالتوفيق و السداد، أمدهما الله بالعمر المديد، ووافر الصحة وحسن الختام.

إلى من قيل فيهم سنشد عضدك بأخيك، إلى شركاء الرحم وبهجة الحياة إلى أخواتي فايضة، ياسمين، خولة، وإلى أخي عربي.

إلى ملائكة رزقي الله بهن لأعرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة أنفال، مليكة.

إلى من تحلت بالإخاء وتميزت بالوفاء والعطاء رفيقتي في المشوار صديقتي مونية.

إلى رفيقة الأمس و صديقة العمر، من لم تنل المسافات من ودنا صديقتي نجاة.

إلى جميع من تلاقت طرقنا خلال الخمس سنوات الفارطة.

إلى كل من أعطاني يد العون من قريب أو بعيد وساعدني في انجاز هذه المذكرة.

أخيراً، أسأل الله تعالى أن يوفقتني في مسيرتي القادمة، وأن يجعلني خير سفير للعلم والمعرفة.

مع خالص الشكر والتقدير

أمال

الإهداء

إلى من وضع المولى - سبحانه وتعالى - الجنة تحت...قدميها، ووقَّرها في كتابه العزيز
أمي الحبيبة (فاطمة الزهراء).

إلى من علمني النجاح والصبر... إلى من علمني العطاء بدون انتظار
أبي العزيز (عبد الحميد).

إلى من بذلوا جهدًا في مساعدتي وكانوا خيرَ سندٍ
إخواني وأخوات (رانية، مصطفى، إبراهيم).
ولا ينبغي أن أنسى أساتذتي ممن كان لهم الدور الأكبر في مُساندتي
...ومدِّي بالمعلومات القيِّمة.

أشكر في هذا الصدد الأستاذ المشرف إبراهيم اساسفة
لنصائحه الثمينة وتوجيهاته القيِّمة.
أقدِّم لكم هذا العمل، وأتمنَّى أن يحوز على رضاكم.

عصام

الإهداء

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا المصطفى الأمين،
وعلى آله وصحبه أجمعين، ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين. أما بعد أهدي
هذا العمل:

إلى نور دربي وشمس حياتي، إلى من كانا لي المعلم الأول والداعم الدائم
في كل خطوة من خطواتي، إلى من أرى فيهما العالم أجمع والديّ الكريمين.
إلى حماة أسراري ورفاق مغامراتي وملهمي انجازاتي وسند حياتي، إلى
سر قوتي ونبع إلهامي، إلى إخوتي الأعزاء.
إلى كل الصديقات اللاتي عشت معهن أجمل اللحظات، ومن علمنني
معنى الصداقة الحقيقية، إلى اللاتي جعلهن الله عائلتي الثانية.
إلى من تركوا بصمات عميقة في قلوبنا، وأشعلوا في داخلنا شرارة
ستستمر في إرشادنا طوال حياتنا، إلى أساتذتي الكرام.

سلسبيد

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: (من لا يشكر الناس لا يشكر الله).

فالحمد لله تعالى حمداً كثيراً طيباً مباركاً على ما منّ به علينا من علم وإيمان، ونشكره عز وجل على توفيقنا لإتمام هذا العمل.

ومن ثم، فلنا الشرف أن نتقدم بالشكر وعظيم الامتنان إلى الأستاذ المشرف "إساسة ابراهيم" على كل ما قدمه لنا من توجيهات وتعليمات في سبيل إنجاح هذا العمل، ونثمن جهوده المبذولة بلا كلل أو ملل، ونشكر له صبره معنا وتحمله لأخطائنا، وعلى ما قدمه لنا من علم ومعرفة.

كما نشكر كل من ساهم في إنجاز هذا العمل وكل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد.

ونشكر أساتذة المدرسة العليا للأساتذة كل باسمه وعظيم مقامه.

والشكر موصول إلى كل معلم أفادنا بعلمه من أول المراحل الدراسية حتى هذه اللحظة.

وفي الأخير لا يسعنا إلا أن ندعو الله عز وجل إلى أن يوفقنا لما فيه خيرنا ويرضى عنه، وأن يرزقنا العلم النافع والعمل الصالح، وأن يجعل ما تعلمناه عوناً لنا في حياتنا الدنيا والآخرة.

ملخص:

تمثل هذه المذكرة إضافة للمبرمجين والمصنعين للمساعدة في تصنيع وإنشاء آلة ذات التحكم العددي بثلاث محاور قابلة للتطوير إلى خمسة محاور مع شرح وتفصيل كيفية برمجتها. هذه الدراسة تسمح بتعميق المعرفة في مجال الأتمتة وتطبيق المعرفة النظرية المكتسبة خلال مدة التكوين، وقد شكل هذا العمل بوابة لاكتشاف وتعلم مجالات دراسية جديدة شملت علوم الكمبيوتر، إنشاء الدوائر الكهربائية، التحكم في المحركات باستخدام المتحكمات الدقيقة، البرمجة الرقمية باستعمال لغة البرمجة G-code، وتصميم وتجميع الأجزاء الميكانيكية المختلفة لآلة التحكم العددي ذات ثلاث محاور ببرنامج SolidWorks.

وأخيراً، فإن هذا العمل ما هو إلا نقطة انطلاق تحفز لتطوير آلات وأنظمة أخرى ويفتح الأبواب لمشاريع أكبر، ونأمل أن نكون قد ساهمنا في تحفيز الطلاب في المجال المعرفي البرمجي الآلي (Robotic) المثير.

الكلمات المفتاحية: آلة ذات التحكم العددي، المحركات الخطوية، لغة البرمجة G-code، لوحة الأردوينو، برنامج .Gbrl

Résumé:

Ce mémoire représente un ajout destiné aux programmeurs et aux fabricants pour aider à la fabrication et à la création d'une machine à commande numérique à trois axes pouvant être développée en cinq axes, avec une explication et des détails sur la façon de la programmer. Cette étude permet d'approfondir les connaissances dans le domaine de l'automatisation et d'appliquer les connaissances théoriques acquises pendant la période de formation. Ce travail a constitué une passerelle vers la découverte et l'apprentissage de nouveaux domaines d'études qui comprenaient; l'informatique, la création de circuits électriques, le contrôle de moteurs à l'aide de microcontrôleur, La programmation G-code des pièces à usiner, conception et assemblage de pièces mécaniques différentes qui construire la machine à commande numérique à trois axes à l'aide du logiciel SolidWorks. Enfin, ce travail n'est qu'un point de départ qui stimule pour développer d'autres machines et systèmes et ouvre la porte à des projets plus vastes. Nous espérons avoir contribué à motiver les étudiants dans le domaine passionnant de la robotique.

Mots clé: machine à commande numérique, grbl, arduino, G-code, moteurs pas à pas.

summary:

This work provides additional information for programmers and manufacturers to assist in the fabrication and creation of a three-axis CNC machine that can be developed to five axes, with an explanation and details on how to program it. This study will allow you to deepen your acknowledgement of the field of automation and apply the theoretical knowledge acquired during the training period. Creating electrical circuits, controlling motors using microcontroller, G-code programming of work pieces, designing and assembling different mechanical parts that build the three-axis numerical control machine at SolidWorks software were some of the subjects covered by this assignment. Finally, this work is only a starting point that stimulates the development of other machines and systems and opens the door to larger projects. We hope to have helped motivate students in the exciting field of robotics.

Key words: CNC machine, numerical control, grbl, Arduino, stepper motor, G-code.

الفهرس:

I.....	الإهداء:
IV.....	شكر وتقدير:
V.....	ملخص:
VI.....	Résumé
VII.....	Summary
XIII.....	قائمة الأشكال:
XVI.....	قائمة الجداول:
XVII.....	قائمة الاختصارات:
1.....	مقدمة عامة:
	الفصل الأول: الدراسة الببليوغرافية.
3.....	1-1-1- مقدمة:
3.....	1-2-1- التحكم العددي بالحاسوب CNC:
4.....	1-3-1- مزايا استخدام أنظمة التحكم العددي بالحاسوب (CNC):
4.....	أ- الايجابيات:
5.....	ب- العيوب:
6.....	1-4-1- لمحة تاريخية عن ماكينات التحكم العددي:
8.....	1-5-1- ماكينات التحكم العددي بالحاسوب:
8.....	1-6-1- مجالات استخدام آلة CNC:
9.....	1-7-1- مبدأ عمل ماكينة CNC:
10.....	1-8-1- تصنيف آلات CNC:
10.....	1-8-1-1- تصنيف حسب عدد المحاور:
10.....	أ- ماكينات التحكم العددي ذات 3 محاور:
11.....	ب- ماكينات التحكم العددي ذات 4 محاور:
11.....	ج- ماكينات التحكم العددي ذات 5 محاور:
12.....	1-8-1-2- تصنيف حسب طريقة التشغيل:

- 12-8-3-1 تصنيف حسب طريقة التصنيع:.....12
- أ-التحكم الرقمي من نقطة إلى نقطة:.....12
- ب-التحكم المحوري:.....12
- ج-التحكم الكنتوري:.....12
- 13-9-1-مراجع تشغيل ماكينة التحكم العددي:.....13
- 1-9-1-نقطة صفر الآلة (M):.....13
- 1-9-2-نقطة صفر القطعة (W):.....13
- 1-9-3-نقطة مرجع الآلة (R):.....13
- 10-1-أنظم تشغيل آلة CNC:.....13
- 1-10-1-النظام الميكانيكي:.....14
- أ-المحامل الكروية:.....14
- ب-دعامات نهاية العمود:.....15
- ج-المحامل الكروية الخطية:.....15
- د-وصلات نقل الحركة:.....15
- هـ-محرك خطوي:.....16
- 1-10-2-النظام الإلكتروني:.....16
- أ-مصدر الطاقة:.....16
- ب-لوحة التحكم الدقيقة:.....16
- ج-لوحة تشغيل المحرك الخطوي:.....17
- د-أسلاك الدائرة الإلكترونية:.....17
- 1-10-3-البرمجيات ونظام الترميز:.....18
- أ-برنامج CAD:.....18
- ب-برنامج CAM:.....19
- ج-برنامج التحكم باستخدام الحاسب الآلي (GRBL):.....19
- 11-1-خاتمة:.....20

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب cnc 3 axes.

- 21-1-2-مقدمة: 21.....
- 21-2-2-برنامج Grbl: 21.....
- 21-3-2-مميزات Grbl: 21.....
- 22-4-2-واجهة البرنامج: 22.....
- 23-1-4-2-شريط الأدوات لإعدادات الواجهة وإدخال التصميم والمساعدة (رقم 2): 23.....
- أ- ملف: 23.....
- ب- تحرير: 24.....
- ج- الإضافات: 24.....
- ج-1-إدارة الآلة (Machine Manager): 24.....
- ج-2-الإعدادات (Setting): 25.....
- ج-3-المساعدة (Help): 26.....
- 26-2-4-2-شريط أدوات الوصول السريع (رقم 3): 26.....
- 27-3-4-2-إعدادات توصيل الآلة بجهاز الكمبيوتر (رقم 5): 27.....
- 27-4-4-2-إعدادات أداة القطع (رقم 6): 27.....
- 27-5-4-2-تغيير أو التحكم في مرجع المشغولة (القطعة) (رقم 7): 27.....
- 28-6-4-2-التحكم في محاور الآلة (رقم 8): 28.....
- 29-7-4-2-التحكم في سرعة القطع (رقم 9): 29.....
- 29-8-4-2-شاشة محاكاة الآلة (رقم 14): 29.....
- 30-5-2-متغيرات GRBL V5.2.2: 30.....
- 35-6-2-خاتمة: 35.....

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التفريز بثلاثة محاور.

- 36-1-3-مقدمة: 36.....
- 36-2-3-الدارة الكهربائية للماكينة: 36.....
- 37-❖ المكونات الكهربائية لآلة التحكم العددي ذات ثلاث محاور: 37.....
- 37-أ-علبة التغذية: 37.....

38.....	ب-المحرك الخطوي 17HS4401:
39.....	ج-متحكمات A4988:
42.....	د-بطاقة RAMPS 1.4:
43.....	هـ-شريحة الأردوينو المستخدمة في المشروع Arduino Mega 2560 Rev3:
48.....	و-محرك DC:
48.....	ي-الملقط الضوئي EE-SX460-P6:
50.....	3-3-تصميم الآلة ببرنامج SolidWorks:
50.....	3-3-1-محاور الحركة:
50.....	أ-المحور X:
52.....	ب-المحور Y:
53.....	ج-المحور Z:
54.....	3-3-2-تجميع المحاور الثلاث:
55.....	3-3-3-إضافة باقي القطع المكونة للآلة:
56.....	3-4-خاتمة:
الفصل الرابع: إعداد وبرمجة الآلة.	
57.....	4-1-مقدمة:
57.....	4-2-برمجة الأردوينو:
61.....	4-3-ضبط برنامج GrblGru:
61.....	4-3-1-ضبط أبعاد وانتقال محاور الآلة ومختلف الوضعيات:
62.....	4-3-2-ضبط إعدادات واجهة GrblGru وسرعات التغذية:
63.....	4-3-3-ضبط وإعداد مسير الآلة (macro):
67.....	4-4-الأوامر المقبولة بواسطة GRBL:
69.....	4-5-أمثلة تطبيقية:
69.....	4-5-1-كيفية استخراج برنامج تشغيل القطعة:
72.....	4-5-2-تطبيق على برنامج GrblGru:

75.....:خاتمة عامة:

76.....:المراجع:

81.....:(Annexes) اللواحق:

قائمة الاشكال:

الفصل الأول: الدراسة الببليوغرافية.

- شكل 1-1: مبدأ التحكم العددي بالحاسوب CNC..... 4
- شكل 1-2: أول ماكينة CNC..... 7
- شكل 1-3: البطاقة المنقبة المستخدمة في آلات CNC الأولى..... 7
- شكل 1-4: طريقة عمل آلة التحكم العددي بالحاسوب..... 8
- شكل 1-5: آلة CNC بثلاث محاور..... 11
- شكل 1-6: آلة CNC ذات 5 محاور..... 11
- شكل 1-7: مراجع آلة التفريز..... 13
- شكل 1-8: مخطط آلة التحكم العددي بالحاسوب..... 14
- شكل 1-9: محمل كروي (يضمن وصلة محورية)..... 14
- شكل 1-10: برغي-صامولة ذات كريات..... 14
- شكل 1-11: مجموعة السكة الخطية (القضبان الخطية، المحامل الخطية، الأعمدة الطرفية)..... 15
- شكل 1-12: قارنة..... 15
- شكل 1-13: أسلاك الدائرة الإلكترونية..... 17
- شكل 1-14: مجموعة أدوات البرمجيات..... 18
- شكل 1-15: برنامج التحكم باستخدام الحاسب الآلي..... 19

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

- شكل 1-2: واجهة البرنامج..... 22
- شكل 2-2: أيقونة شريط الأدوات..... 23
- شكل 2-3: أيقونة الملف..... 24
- شكل 2-4: أيقونة التحرير..... 24
- شكل 2-5: أيقونة الإضافات..... 24
- شكل 2-6: نافذة إدارة الآلة..... 25
- شكل 2-7: نافذة الإعدادات..... 25

- شكل 2-8: نافذة المساعدة 26
- شكل 2-9: شريط أدوات الوصول السريع 26
- شكل 2-10: إعدادات توصيل الآلة بجهاز الكمبيوتر 27
- شكل 2-11: أيقونة إعدادات أداة القطع 27
- شكل 2-12: أيقونة تغيير أو التحكم في مرجع المشغولة (القطعة) 27
- شكل 2-13: إحدائيات ماكينة التحكم العددي ذات ثلاث محاور 28
- شكل 2-14: التحكم في محاور الآلة 29
- شكل 2-15: نافذة التحكم في سرعة القطع 29
- شكل 2-16: شاشة محاكاة الآلة 29

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التفريز بثلاثة محاور.

- شكل 3-1: مكونات الدارة الكهربائية لآلة التفريز العددية 37
- شكل 3-2: علبة التغذية 38
- شكل 3-3: المحرك الخطوي 17HS4401 38
- شكل 3-4: خصائص وتركيب المحرك الخطوي 17HS4401 39
- شكل 3-5: متحكمات A4988 40
- شكل 3-6: طريقة تركيب الخلايا الالكترونية للماكينة 43
- شكل 3-7: توزيع دبابيس أردينو mega 2560 47
- شكل 3-8: الملتقط الضوئي EE-SX460-P6 48
- شكل 3-9: أبعاد الملتقط الضوئي EE-SX460-P6 48
- شكل 3-10: الدارة الداخلية للملتقط الضوئي EE-SX460-P6 49
- شكل 3-11: برنامج SolidWorks إصدار 2022 50
- شكل 3-12: مسقط منظوري مجمع للمحور X 51
- شكل 3-13: مسقط أمامي للمحور X يوضح إتجاه الحركة 51
- شكل 3-14: مسقط منظوري مفك للمحور X 52
- شكل 3-15: مسقط منظوري مفك للمحور Y 52
- شكل 3-16: مسقط علوي للمحور Y يوضح اتجاه الحركة 53

- شكل 3-17: مسقط منظوري مفكك للمحور Z 53
- شكل 3-18: مسقط منظوري مجمع للمحور Z 54
- شكل 3-19: مسقط أمامي للمحور Z يوضح اتجاه الحركة 54
- شكل 3-20: مسقط أمامي للهيكل الحركي للآلة 54
- شكل 3-21: مسقط منظوري مجمع للهيكل الحركي للآلة 55
- شكل 3-22: الخزانة الكهربائية 55
- شكل 3-23: مسقط أمامي للآلة 56
- شكل 3-24: مسقط منظوري للآلة 56
- الفصل الرابع: إعداد وبرمجة الآلة.
- شكل 4-1: ملف grblUpload.ino 58
- شكل 4-2: مراحل حرق البرنامج 58
- شكل 4-3: ضبط الأبعاد الحديدية ومختلف الوضعيات 62
- شكل 4-4: ضبط اعدادات واجهة GrblGru وبعض سرعات التغذية 63
- شكل 4-5: ضبط إعداد المسير (macro) 63
- شكل 4-6: تجريب عدة سرعات للبحث عن \$30 65
- شكل 4-7: قياس فرق الجهد الكهربائي للمنفذ D8 للبحث عن \$30 66
- شكل 4-8: شجرة الميزات (SolidWorks CAM FeatureTree) 70
- شكل 4-9: شجرة العمليات (SolidWorks CAM OperationTree) 70
- شكل 4-10: شجرة الأدوات (SolidWorks CAM Tools Tree) 71
- شكل 4-11: المعالجة اللاحقة (Post Process) 71
- شكل 4-12: ملف G-code بتنسيق txt 72
- شكل 4-13: تحميل G-code في برنامج GrblGru 72
- شكل 4-14: التوجه الى مكان تخزين G-code 73
- شكل 4-15: مسار أداة القطع الخاص ببرنامج G-code المحمل 73
- شكل 4-16: محاكاة برنامج G-code المحمل 74
- شكل 4-17: تحميل ملف STL للقطعة المراد تصنيعها في برنامج GrblGru 74

قائمة الجداول:

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

- الجدول 2-1: وظائف مكونات واجهة برنامج GrblGru 23
- الجدول 2-2: شريط أدوات الوصول السريع 26
- الجدول 2-3: القيم التي يمكن أن تأخذها \$10 30
- الجدول 2-4: القيم الممكن أن تأخذها \$23 32

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التفريز بثلاثة محاور.

- الجدول 3-1: العناصر الكهربائية المستعملة 36
- الجدول 3-2: الخصائص الفنية للمحرك الخطوي 17HS4401 39
- الجدول 3-3: دقة التشغيل الجزئي 40
- الجدول 3-4: أرجل التحكم المنطقي 41
- الجدول 3-5: خصائص الحماية للمتحكم 42
- الجدول 3-6: أرجل الإخراج المتحكم فيها من طرف البرنامج 42
- الجدول 3-7: طولوجيا لوحة الاردوينو mega 2560 44
- الجدول 3-8: دبابيس تناظرية 45
- الجدول 3-9: دبابيس رقمية 46
- الجدول 3-10: المميزات الكهربائية للملتقط الضوئي EE-SX460-P6 49
- الجدول 3-11: المواصفات الكهروضوئية للملتقط الضوئي 49
- الجدول 3-12: القطع المكونة للمحور X 51

قائمة الاختصارات:

الاختصار	التعريف	الشرح
NC	numerical control	التحكم العددي
CNC	computer numerical control	التحكم العددي بالحاسوب
CAD	computer-aided design	التصميم بمساعدة الحاسوب
CAM	computer-aided manufacturing	التصنيع بمساعدة الحاسوب
MCU	Microcontroller Unit	وحدة التحكم الدقيقة
MIT	Massachusetts Institute of Technology	معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا
PID	Proportional-Integral-Derivative	تناسبي-تكاملي-تفاضلي.
M	Machine zero	نقطة صفر الآلة
W	Part zero	نقطة صفر القطعة
R	Machine reference point	نقطة مرجع الآلة
AC	Alternating current	تيار متناوب
DC	Direct current	تيار مستمر
USB	Universal Serial Bus	منفذ الاتصال التسلسلي
PSU	power supply	علبة التغذية
STL	STereoLithography	تنسيق ملف
LCD	Liquid Crystal Display	وحدة (شاشة) تحكم
AVR	Advanced Virtual RISC	معالج دقيق
PWM	Pulse Width Modulation	تعديل عرض النبضة
3D	three-dimensional	ثلاثي الأبعاد
2.5D	two-and-a-half dimensional	ثنائي الأبعاد ونصف

مقدمة عامة :

يُمثل التحكم الرقمي بالحاسوب (CNC) نقلة نوعية في مجال التصنيع، حيث أدى إلى تحولات هائلة في مختلف مجالات الحياة، فمع بداية استخدام CNC حصل تطور في التصنيع الذي كان يعتمد على العمال في أعمال تستهلك الكثير من الوقت والمال والأخطاء البشرية، ولذا ساهمت التقنية في تقليل الزمن اللازم للمنتج مع تقليل التكاليف وإمكانية تصنيع منتجات معقدة. وقد ساعد التطور الكبير في الحاسبات إلى ظهور ماكينات التحكم العددي بالحاسوب التي تقوم بعدد كبير من عمليات التشغيل ولها أهمية كبيرة في مجالات التصنيع بفضل دقتها و جودتها العالية، ما دفعنا إلى اختيار هذا العمل.

هذه المذكرة تحوي دراسة، تصميم، صناعة وبرمجة لنموذج مصغر لماكينة CNC ذات ثلاث محاور، تنظم تحت أربعة فصول معرفة كالآتي:

الفصل الأول :

يشرح آلة التحكم العددي بشكل عام وإظهار أهمية أجزائها. اعتمادا على المعلومات المطروحة في هذا المحور يمكننا أن ننجز تصميم وتصنيع لآلة التفريز الرقمية (CNC Milling) ذات ثلاث محاور. أيضا هذا الفصل يشمل على عموميات حول آلة التحكم العددي. كما يحتوي على لمحة تاريخية وتعريف لماكينات التحكم العددي بالحاسوب ومجالات استخدامها، ثم يتطرق إلى طرق تصنيفها لمختلف أنواعها ومبدأ عملها.

الفصل الثاني:

خصص لدراسة برنامج Grbl إصدار 5.2.2 (GrblGru V5.2.2) المسؤول عن التحكم في ماكينة CNC، حيث استعرضنا بالتفصيل مكونات واجهته، خصائصه و متغيراته التي يمكن استخدامها فيه. وبهذا يكون هذا الفصل قد ركز على المفاهيم الأساسية التي سنحتاجها للتحكم و برمجة ماكينة التفريز ذات التحكم العددي بالحاسوب المنجزة في الفصل الرابع.

الفصل الثالث:

يعرض المكونات الكهربائية والالكترونية لماكينة التفرير ذات التحكم العددي بالحاسوب الخاصة بهذا العمل، تم في هذا الفصل تصميم ماكينة التحكم العددي بواسطة برنامج SolidWorks وتصنيعها وذلك وفق الإمكانيات المتوفرة.

الفصل الرابع:

يتضمن إعداد وبرمجة آلة التحكم العددي بالحاسوب بدءا من برمجة لوحة الأردوينو mega 2560، ثم كيفية ضبط برنامج GrbIGru بما يتوافق مع شروط التشغيل المطلوبة للآلة، كما يحتوي على مثال تطبيقي لكيفية استخراج G-code بواسطة SolidWorks CAM للقطع المصممة و تطبيقه على برنامج GrbIGru.

لتنتهي هذه المذكرة بخاتمة عامة تليها ملحقات تحتوي على الرسومات التعريفية لأهم القطع المكونة للماكينة.

الفصل الأول:

الدراسة الببليوغرافية.

1-1- مقدمة:

قبل ظهور التحكم العددي المحوسب (CNC) كانت عملية التصنيع تعتمد على التحكم العددي (NC) الذي تطلب عمالة بشرية مكثفة وكان يتصف ببطء الإنتاج، وضياح المواد، وارتفاع معدلات الخطأ. ومع التطور التكنولوجي تم تحسين عملية الصناعة بشكل كبير بحيث تم إدخال الحوسبة في المجال أين أصبحت عملية التصنيع أكثر كفاءة وإنتاجية ودقة، جاعلة بذلك من ماكينات التحكم العددي أهم عامل في الصناعات الحديثة. يتطرق هذا الفصل بشكل أساسي إلى عموميات حول آلة التحكم العددي، لهذا الغرض سنناقش أولاً تاريخ ومفهوم التحكم العددي المحوسب، ثم لمحة تاريخية وتعريف لماكينات التحكم العددي بالحاسوب ومجالات استخدامها، إضافة إلى مبدأ عملها وطرق تصنيفها وأنظم تشغيلها.

1-2- التحكم العددي بالحاسوب CNC:

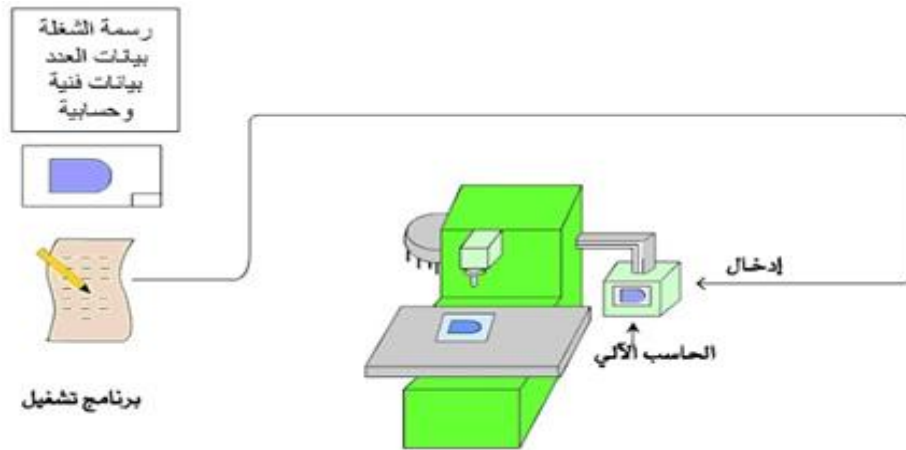
قبل السبعينيات من القرن الماضي، كانت ماكينات القطع تسمح بتصنيع قطع ميكانيكية باستخدام محركات كهربائية (في معظم الحالات) [1]، ولكن كان التحكم فيها يدوياً حيث كان العامل يقوم بتوجيه الأداة لتصنيع القطع. مع ظهور الحوسبة، بدأ مصنعو آلات القطع في تزويدها بالحواسيب، سمح هذا بتسلسل و تنفيذ عمليات مختلفة متعددة على نفس الآلة، حيث يتم ذلك باستخدام برامج متخصصة، وفي الوقت نفسه، سمحت التطورات في الإلكترونيات بوضع الأدوات بشكل أكثر دقة بالنسبة للقطع. سمحت هذه التطورات بتحقيق زيادة دقة تصنيع القطع وزيادة التكرارية (القدرة على إنتاج قطع لها نفس الأبعاد تماماً). أخيراً شهدت المحركات الكهربائية أيضاً تحسينات كبيرة في سرعة الدوران والقوة. سمحت هذه الثلاثية من الثورات بتطوير ماكينات التحكم العددي بالحاسوب [1].

بشكل عام، يتحكم نظام التحكم العددي بالحاسوب بالكامل في آلة القطع بطريقة تلقائية، حيث تنفذ برامج تسمح بتصنيع الأجزاء دون تدخل من العامل. ينقسم هذا الأخير إلى:

-نظام أوتوماتيكي يتحكم في الإشارات الكهربائية لآلة القطع حتى تتمكن من العمل بشكل صحيح. على سبيل المثال، هو الذي يدير مصابيح الآلة، والإجراءات الناتجة عن الضغط على الأزرار، وتنشيط ملحقات الآلة، وجزء من أمان المشغل [1].

-التحكم في المحاور، لوضعها في المكان الصحيح وضمان قيام الآلة بالأعمال المطلوبة من قبل المشغل. كما أنها تدير التزامن الجيد للأعمدة لحركات مجتمعة منها، من أجل إتباع مسارات الأدوات بشكل صحيح فيما يتعلق بالمادة [1].

-واجهة الإنسان والآلة، حتى يتمكن من تشغيل الآلة وتنفيذ البرامج، يتم تحميل هذه البرامج في الآلة وتنفيذها بناءً على طلب المشغل. تتيح واجهة الإنسان والآلة أيضًا إدارة أدوات الآلة (أبعاد الأداة، حالة تأكلها... إلخ) من أجل مراعاة خصائصها أثناء تنفيذ البرنامج، على سبيل المثال تحتاج الآلة إلى معرفة طول أداة ما من أجل وضعها في المكان الصحيح على القطعة، فإذا كانت الأداة طويلة جدا قد تصطدم بالقطعة، أما إذا كانت قصيرة جدا فقد لا تتمكن من الوصول إلى جميع الأجزاء المطلوبة من القطعة [1].



شكل 1-1: مبدأ التحكم العددي بالحاسوب CNC [2].

1-3- مزيا استخدام أنظمة التحكم العددي بالحاسوب (CNC):

يوفر التفريز بالتحكم العددي بالحاسوب (CNC Milling) العديد من المزايا تتمثل في الآتي:

أ-الإيجابيات:

يوجد عدة ايجابيات للتفريز بالتحكم العددي بالحاسوب (CNC) أهمها ما يلي:

- زيادة الدقة والتكرار: تساهم دقة وانتظام أجهزتها بشكل كبير في تحسين الكفاءة والإنتاجية. من خلال تقليل الأخطاء وإكمال المهام بشكل أسرع لعمليات التفريز باستخدام الحاسب الآلي، يمكن توفير الوقت والتكاليف على المدى الطويل.

- توفر آلات التفريز CNC دقة مذهلة، تتراوح من 0.01mm إلى 0.03mm، مما يضمن الحصول على نتائج دقيقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن قابليتها للتكرار استثنائية، مع تفاوت يتراوح عادة بين 0.003mm و0.01mm، تتيح إعادة إنتاج الأجزاء بشكل متسق، مما يضمن التوحيد طوال عملية التصنيع [3].
- **كفاءة عالية:** في آلات التفريز التقليدية، يتعين على المشغل تغيير أدوات القطع يدويًا لعمليات القطع المختلفة، مما يؤدي إلى عمليات تستغرق وقتًا طويلاً وغير فعالة. تعتمد النتائج النهائية في كثير من الأحيان على حكم المشغل، والذي يمكن أن يؤدي إلى التباين. في المقابل، تم تجهيز آلات التفريز CNC بعجلة دوارة حاملة الأدوات (turret) قادرة على استيعاب ما يصل إلى 30 أداة مختلفة في بعض الماكينات. يتم تبديل هذه الأدوات تلقائيًا على المغزل أثناء عمليات التصنيع، مما يتيح عمليات القطع السريعة والفعالة. باستخدام آلات التفريز CNC، يمكن أن تكون الأجزاء جاهزة خلال مدة زمنية صغيرة، في حين أن الطرق التقليدية التي تستخدم أدوات التصنيع يمكن أن تستغرق مدة أطول ممكن أن تأخذ أيامًا أو حتى أسابيع في التصنيع بسلسلة [3].
 - **هندسات معقدة:** يمكن لآلات التفريز CNC إنشاء تصميمات أجزاء معقدة قد يكون من الصعب أو المستحيل تحقيقها باستخدام طرق التصنيع التقليدية. تفتح هذه القدرة إمكانيات جديدة لتصميم المنتجات المبتكرة [3].
 - **تقليل التكاليف:** يعد توفير التكاليف ميزة رئيسية لآلات التفريز نظرًا لقدرتها على تصنيع الأجزاء بسرعة ودقة دون الحاجة إلى أدوات أو مواد باهظة الثمن، بالإضافة إلى ذلك يمكن إدارة تشغيل آلات CNC بكفاءة من قبل مشغل واحد، وبالتالي تقليل تكاليف العمالة.
- بالنسبة للشركات أو الأفراد الذين يعملون في مجال الخشب أو المعدن أو البلاستيك، فإن الاستثمار في آلة التفريز CNC يعد أمرًا مفيدًا للغاية. يمكن أن يؤدي دمجها إلى تحسين الكفاءة والإنتاجية بشكل كبير، مما يجعلها أحد الأصول القيمة [3].

ب- العيوب:

على الرغم من إيجابيات التفريز بالتحكم العددي بالكمبيوتر (CNC) العديدة إلا أن هذا لا ينفى وجود عيوب لها نذكر منها ما يلي:

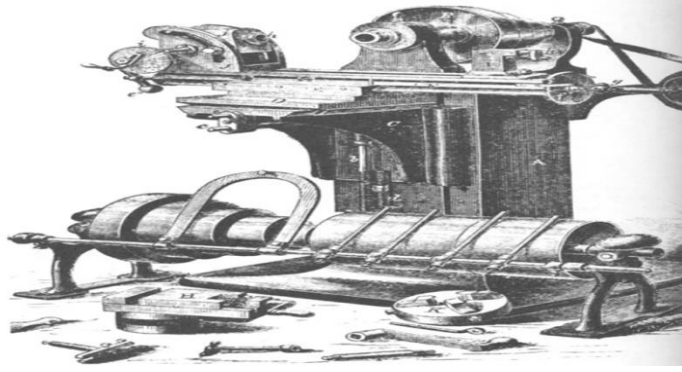
- **هدر المواد:** يعتمد التفريز بالتحكم العددي بالكمبيوتر على نهج التصنيع الطرحي حيث يتم البدء بكتلة من المادة الخام، ثم تتم إزالة المواد تدريجيًا باستخدام أدوات القطع الدوارة، ينتج عن ذلك الشكل النهائي للقطعة بالمقابل هدر كبير في مادة القطعة الخام [3].
- **تكلفة الاستثمار الأولي:** يعد شراء آلات التفريز بالتحكم العددي بالكمبيوتر (CNC) وتثبيتها مكلفًا، خاصة النماذج ذات المواصفات المتقدمة والجودة العالية وبالتالي قد يُشكل هذا الاستثمار الأولي عقبة كبيرة أمام الشركات الصغيرة أو الأفراد الذين يرغبون في استخدام هذه التقنية في مشاريعهم [3].
- **التعقيد والتدريب:** يتطلب تشغيل وبرمجة آلات (CNC) مهارات وتدريبًا خاصين، حيث يعد وجود مشغلين ومبرمجين مؤهلين ضروريا لضمان سلاسة العمليات والنتائج الدقيقة، وقد يكون منحى التعلم حادًا، مما يزيد من التكلفة الإجمالية [3].
- **الصيانة ووقت التوقف:** تلعب الصيانة المنتظمة دورًا هامًا في ضمان كفاءة ودقة عمل آلات CNC ودقة القطع المنتجة، وتشمل هذه المهام التنظيف والترطيب وفحص المكونات. أما وقت التوقف فيشير إلى المدة التي تكون فيها الآلة غير قابلة للتشغيل بسبب الصيانة المجدولة أو الإصلاحات أو الأعطال غير المتوقعة، التي يمكن أن تؤدي إلى تكاليف باهظة مرتبطة بوقت التوقف، مما يؤثر سلبًا على جدول الإنتاج والربحية [3].
- **أخطاء البرمجة والبرامج:** يمكن أن تؤدي أخطاء البرمجة أو مشكلات البرامج في آلات CNC إلى أخطاء في التصنيع، وبالتالي تلف القطع وإهدار المواد ما ينتج خسائر مادية كبيرة [3].

1-4-لمحة تاريخية عن ماكينات التحكم العددي:

قبل تطوير أول آلة CNC، كانت بعض الآلات قادرة على تصنيع أدوات مختلفة. كان هذا يسمى التحكم العددي (NC). مع عدم وجود "حاسوبية" (C). أما أول ماكينة CNC فكانت تُنسب إلى جيمس بارسونز (James Parsons) في عام 1949 (شكل 1-2). كان بارسونز رائدًا في مجال الكمبيوتر عمل في مشروع بحثي تابع لسلاح الجو الأمريكي، كان البحث يهدف إلى تطوير طريقة لإنتاج ريش طائرات هليكوبتر وهيكل أفضل للطائرات. استطاع بارسونز حساب إحداثيات المقطع الهوائي للمروحية باستخدام مضاعف IBM 602A، ثم أدخل البيانات في شريط مثقب (شكل 1-3)، والتي تم استخدامها في آلة الثقب سويس [4]. أدت هذه المعلومات إلى تصنيع العديد من ريش طائرات هليكوبتر وهيكل الطائرات.

وفقًا لتاريخ CNC، كان هذا يعتبر أول ماكينة CNC. حصل بارسونز لاحقًا على جوائز Joseph Maria Jacquard Memorial Awards تقديرًا لعمله. بعد أن طور بارسونز أول آلة CNC، حدثت عدة تطورات عبر التاريخ، ففي الفترة الزمنية (1952-1958) بينما كانت الحرب الباردة تصبح أكثر حدة، كان من الضروري تحسين الكفاءة والإنتاجية في تصنيع العديد من الآلات والأسلحة. لذلك، في عام 1952، صنع ريتشارد كيج (Richard Kegg) بالتعاون مع معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) أول ماكينة تفريز CNC المعروفة باسم (Cincinnati Milacron Hydrotel). حصل ريتشارد كيج لاحقًا على براءة اختراع للجهاز المتحكم فيه بواسطة المحرك لتحديد موضع ماكينة الأدوات في عام 1958 [4].

أصبح تصنيع CNC أكثر شهرة في جميع أنحاء العالم خلال الفترة الزمنية (1967-1972). كان هذا بسبب تطوير التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) والتصنيع بمساعدة الكمبيوتر (CAM) في عام 1972. أدى إدراج CAD و CAM إلى تطورات هائلة في تصنيع CNC، ومع ذلك لم يكن كلاهما يعتبر جزءًا أساسيًا من عملية التصنيع وهذا ما تغير خلال الفترة الزمنية (1976-1989) حيث في عام 1976، تم تضمين التصميم بمساعدة الكمبيوتر ثلاثي الأبعاد والتصنيع بمساعدة الكمبيوتر في التصنيع CNC. في عام 1989، أصبحت الآلات التي تتحكم بها برامج CAD و CAM هي المعيار الصناعي لآلات CNC [4].



شكل 1-2: أول ماكينة CNC [4].



شكل 1-3: البطاقة المثقبة المستخدمة في آلات CNC الأولى [5].

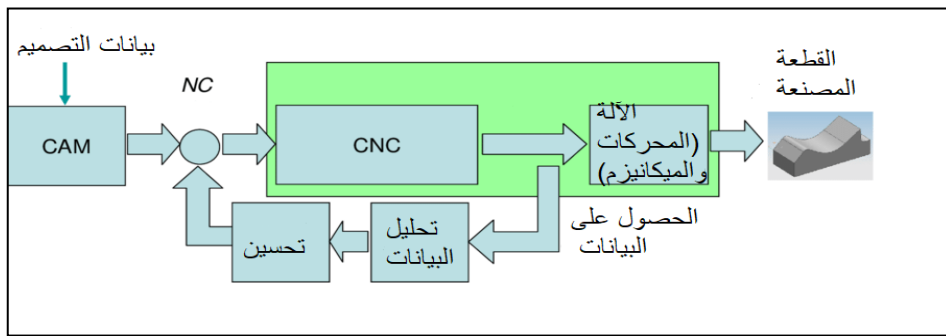
1-5- ماكينات التحكم العددي بالحاسوب:

ماكينات التحكم العددي بالحاسوب (CNC) هي تقنية تُستخدم لأتمتة عمليات القطع والحفر والتفريز وغيرها. يعتمد تشغيلها على نظام معقد ولكنه دقيق، يتم تشغيلها أساسًا بواسطة تعليمات رقمية. تبدأ عملية التصنيع بإنشاء نموذج رقمي للقطعة التي سيتم تصنيعها باستخدام برنامج التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD). يتم بعد ذلك تحويل هذا النموذج إلى تعليمات محددة لماكينات CNC، تُصنف هذه التعليمات غالبًا في شكل رمز G و M، الحركات والسرعات والإحداثيات والعمليات اللازمة لتشكيل القطعة. بمجرد أن تكون التعليمات جاهزة، يتم إرسالها إلى ماكينات CNC [6].

الجزء الرئيسي من الماكينة هو وحدة التحكم التي تفسر الرموز وتنسقها. المحركات ذات الخطوة أو المحركات ذات التيار المستمر مسؤولة عن دقة التحركات على طول المحاور X و Y و Z، يتم توجيه هذه المحركات بواسطة وحدة التحكم لتحريك رأس القطع أو التنقيب أو التفريز.

أثناء العملية، تراقب الماكينة باستمرار المعلمات الرئيسية مثل السرعة وعمق القطع والموقع. توفر المستشعرات ردودًا في الوقت الفعلي، مما يسمح للماكينة بالتكيف حسب الحاجة لضمان قطع دقيق.

أحد المزايا الرئيسية لماكينات CNC هو قدرتها على إنتاج قطع متكررة ومعقدة بدقة عالية. يمكن للآلات العمل مع مجموعة متنوعة من المواد، من الخشب إلى المعدن إلى البلاستيك والرغوة [6].



شكل 1-4: طريقة عمل آلة التحكم العددي بالحاسوب [7].

1-6- مجالات استخدام آلة CNC:

تلعب تطبيقات التحكم العددي الحاسوبي (CNC) دورًا أساسيًا في العديد من الصناعات الرئيسية، مثل الطيران والطب والسيارات والإلكترونيات والنفط والغاز والبحرية. وذلك بفضل قدرتها على إنتاج أجزاء دقيقة للغاية ومعقدة بكفاءة عالية [8].

❖ الأهمية الصناعية لتطبيقات CNC:

فيما يلي بعض الأمثلة على أهمية تطبيقات CNC في الصناعات الرئيسية [8]:

- الطيران: تتطلب صناعة أجزاء الطائرات دقة عالية لضمان السلامة، وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مهمة مثل معدات الهبوط والأجنحة.
- الطب: تتطلب صناعة الطب أجزاء دقيقة للغاية لضمان دقة التشخيص والعلاج. وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مثل أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي والأطراف الصناعية.
- السيارات: تتطلب صناعة السيارات أجزاء دقيقة للغاية لضمان الأداء والسلامة. وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مثل محركات السيارات وأجزاء الهيكل.
- الإلكترونيات: تتطلب صناعة الإلكترونيات أجزاء دقيقة للغاية لضمان الأداء والكفاءة. وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مثل الرقائق الإلكترونية ولوحات الدوائر المطبوعة.
- النفط والغاز: تتطلب صناعة النفط والغاز أجزاء دقيقة للغاية لضمان السلامة وكفاءة الإنتاج. وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مثل أدوات الحفر والصمامات.
- البحرية: تتطلب صناعة البحرية أجزاء دقيقة للغاية لضمان السلامة وكفاءة التشغيل. وتستخدم تطبيقات CNC لتصنيع أجزاء مثل المراوح ومكونات المحركات.

1-7- مبدأ عمل ماكينة CNC:

تعد آلات CNC من الأعمال الهندسية الهامة. يؤدي الجمع بين كل مكوناتها إلى إنتاج آلة يمكنها إنتاج أجزاء عالية الجودة بشكل موثوق مع الحد الأدنى من تدخل المشغل. وهذا عن طريق الخطوات التالية:

● القراءة في البرنامج:

باستخدام جهاز الإدخال، تتم قراءة البرنامج في وحدة التحكم في الماكينة (MCU) الخاصة بالآلة CNC. يحتوي البرنامج على كافة التعليمات ذات الصلة لتصنيع جزء معين. تخبر هذه التعليمات الجهاز بالأداة التي يجب استخدامها، ومدى سرعة التحرك، ومكان التحرك، وأي تعليمات أخرى ذات صلة. تطورت طريقة قراءة البرنامج في وحدة MCU بشكل كبير بمرور الوقت. استخدمت آلات NC (التحكم العددي) الأقدم شريطاً ورقياً به ثقب لفهم كيفية عمل الآلة. وبمرور الوقت، أصبحت طريقة القراءة في البرنامج رقمية سميت بتقنية CNC. للحفاظ على قابلية نقل البرامج، يعد رمز G ورمز M صيغ الملفات المستخدمة غالباً لتغذية برنامج في آلة CNC [9].

• تنفيذ البرنامج:

تقرأ وحدة MCU البرنامج وترسل الأوامر إلى نظام الحركة لتحريك قطعة العمل والأداة حسب حاجة التصنيع. تتحكم وحدة MCU في المحركات والمضخات والملفات اللولبية والمكونات الأخرى التي تتكون منها آلة CNC. تعمل وحدة MCU كعقل الآلة، حيث تخبر جميع المكونات بما يجب القيام به ومتى يتم ذلك [9].

• تقليل الخطأ:

يتم قياس موضع وسرعة أداة الآلة بواسطة وحدة ردود الفعل (نظام ذو الحلقة المغلقة PID) التي تعود إلى وحدة MCU. تقوم وحدة MCU بمقارنة المخرجات المطلوبة بما تقيسه وحدة التغذية الراجعة وتقوم بتحديث المخرجات إلى نظام الحركة وفقاً لذلك مما يقلل من الأخطاء في العملية [9].

1-8- تصنيف آلات CNC:

تصنف آلات التفريز العددية CNC بثلاث طرق؛ حسب عدد المحاور، طريقة التشغيل وطريقة التصنيع:

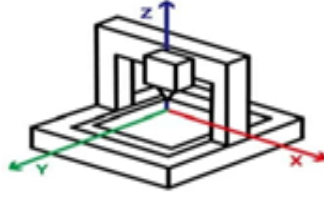
1-8-1- تصنيف حسب عدد المحاور:

يمكن تصنيف آلات CNC وفقاً لعدد المحاور إلى ثلاث فئات:

أ- ماكينات التحكم العددي ذات 3 محاور:

تسمح آلات CNC ثلاثية المحاور، لأداة العمل بالعمل في ثلاثة أبعاد أو اتجاهات تسمى X و Y و Z. غالباً ما تستخدم هذه الأنواع من الآلات لتصنيع الأشكال الهندسية ثلاثية الأبعاد بتقنية 2.5D و 3D. المحور X و Y: في غالب الماكينات يعملان على تحريك الأداة للقطع أفقياً. المحور Z: يسمح للأداة بالحصول على حركة رأسية.

تصنيع ماكينات CNC ذات 3 محاور هو تطور للتحويل الدوار حيث يمكن للأداة أن تأخذ مسار دائري. في معظم الماكينات ستشغل قطعة العمل وضعا ثابتا بينما تتحرك أداة القطع على طول هذه المحاور الثلاثة (شكل 1-5) [10].



شكل 1-5: آلة CNC بثلاث محاور.

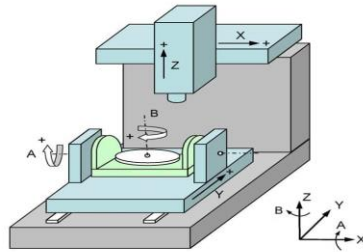
ب-ماكينات التحكم العددي ذات 4 محاور:

تشبه سابقتها (ذات ثلاث محاور)، ولكن يتم إضافة محور إضافي لدوران قطعة العمل. يسمى المحور الرابع المحور A وهو يدور عندما لا تعمل الآلة على المادة. بمجرد أن تصبح قطعة العمل في الموضع الصحيح، يتم تطبيق الفرامل على هذا العمود وتستمر محاور X، Y، Z في تصنيع قطعة العمل. تسمح بعض الآلات بنقل X، Y، Z في وقت واحد، وتعرف باسم آلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي للتصنيع المستمر [10].

ج-ماكينات التحكم العددي ذات 5 محاور:

آلة CNC ذات 5 محاور (شكل 1-6)، تعتمد على أداة ذات 5 درجات من الحركة أو اتجاهات مختلفة. بالإضافة إلى X و Y و Z، تحتاج إلى إضافة دوران مع المحور A كما هو الحال في جميع المحاور الأربعة، ومحور إضافي آخر يسمى المحور B. يضمن ذلك أن الأدوات يمكنها الاقتراب من قطعة العمل في جميع الاتجاهات في عملية واحدة، دون الحاجة إلى إعادة وضع قطعة العمل يدويا بين العمليات. الغرض من المحورين A و B هو تقريب قطعة العمل من الأداة التي ستتحرك في X و Y و Z.

غالبا ما تستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الطبية، البحث والتطوير، الهندسة المعمارية، الصناعة العسكرية، وفي قطاع السيارات... إلخ. أكبر عيب هو أن تصميم CAD/CAM يمكن أن يكون معقدا، وغالبا ما تكون هذه الآلات باهظة الثمن تتطلب مشغلين ذوي مهارات عالية [10].



شكل 1-6: آلة CNC ذات 5 محاور.

1-8-2- تصنيف حسب طريقة التشغيل:

يتم تصنيف آلات CNC وفقاً لأنماط التشغيل من خلال نظام الحلقة المفتوحة أو المغلقة. مع نظام التشغيل ذو الحلقة المفتوحة، تعمل الإشارات في اتجاه واحد فقط بين وحدة التحكم CNC والمحرك. أما مع نظام الحلقة المغلقة، تتدفق الإشارات ذهاباً وإياباً بين وحدة التحكم والمحركات، بحيث تُرود أجهزة الاستشعار وحدة التحكم بمعلومات عن الموقع الفعلي للأداة أو القطعة، مما يجعل تصحيح الأخطاء ممكناً [11]. كما يوجد أيضاً نظام التحكم التكاملي الذي يتكيف بشكل مستمر وتلقائي مع ظروف القطع. تسجل المستشعرات قيم عزم دوران المغزل وسعة اهتزاز المغزل ودرجة الحرارة عند نقطة القطع. يتم نقل هذه المعلومات إلى وحدة خاصة تنقلها إلى مدير التحكم الرقمي، الذي يعمل وفقاً لتحليل المعلومات المتعلقة بظروف القطع للسماح بجودة عمل أفضل وإنتاجية أفضل ومستوى أكبر من الأمان [12].

1-8-3- تصنيف حسب طريقة التصنيع:

يمكن تصنيف آلات CNC وفقاً لطريقة التصنيع إلى ثلاث فئات:

أ-التحكم الرقمي من نقطة إلى نقطة:

إن الهدف من نظام تحكم الماكينة في هذا النوع من التحكم هو تحريك أداة القطع إلى موقع محدد سلفاً، دون أن تكون هنالك أهمية للسرعة أو المسار الذي تتبعه أداة القطع للوصول إلى هذا الموقع، وبمجرد وصول أداة القطع تبدأ عملية التشغيل في ذلك الموقع، ولا يتم أي تشغيل إلا بعد انتهاء الحركة المطلوبة [13].

ب-التحكم المحوري:

تتميز هذه النظم بالقدرة على تحريك أداة القطع في اتجاه موازي لأي من المحاور الأساسية بسرعة متحكم فيها تكون مناسبة للتشغيل، والماكينات من هذا النوع هي أيضاً لها القدرة على التحكم الموضعي [13].

ج-التحكم الكنتوري:

هذا النوع من أنواع التحكم هو أكثر الأنواع الثلاثة تعقيداً وأكثرها مرونة وأكبرها تكلفة، حيث أنه لا يتحكم فقط في إحداثيات البداية و النهاية بل يتحكم أيضاً في العملية بأكملها (السرعة والاتجاه والإزاحة). في هذا النظام يمكن الحصول على حركة في خط مستقيم أو في مستوى مسطح بأي زاوية، وكذلك مسارات دائرية أو مخروطية أو أي منحنى [13].

1-9-9- مراجع تشغيل ماكينة التحكم العددي:

1-9-9-1- نقطة صفر الآلة (M):

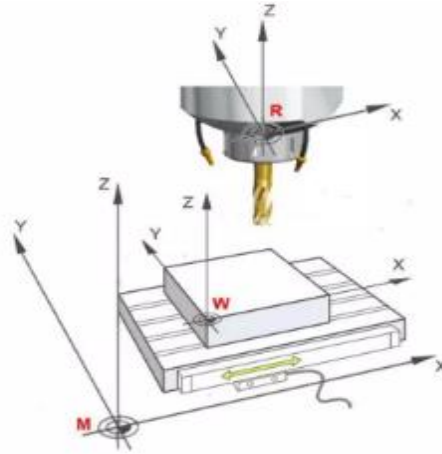
هي موضع المرجع للآلة أو أصل نظام إحداثيات الآلة، وهي النقطة التي يتم تحديد جميع تحركات أجزاء الآلة بالنسبة لها، كما أنها النقطة التي تحدث فيها جميع عمليات تغيير الأدوات. لذلك، يجب أن يتم وضع الآلة عند نقطة الصفر الخاصة بها لإجراء عملية تغيير الأدوات [14].

1-9-9-2- نقطة صفر القطعة (W):

هي نقطة البدء لأبعاد برنامج القطعة. يمكن للمبرمج تحديدها بحرية ونقلها حسب الرغبة داخل برنامج القطعة، وهي النقطة التي تحدد موضع القطعة بالنسبة للأداة أثناء عملية التشغيل [14].

1-9-9-3- نقطة مرجع الآلة (R):

تحدد بواسطة أنظمة القياس. من الضروري معرفة المسافة بين النقطتين (R) و (M) لتحديد موضع المحاور بالنسبة لنقطة المرجع [14].

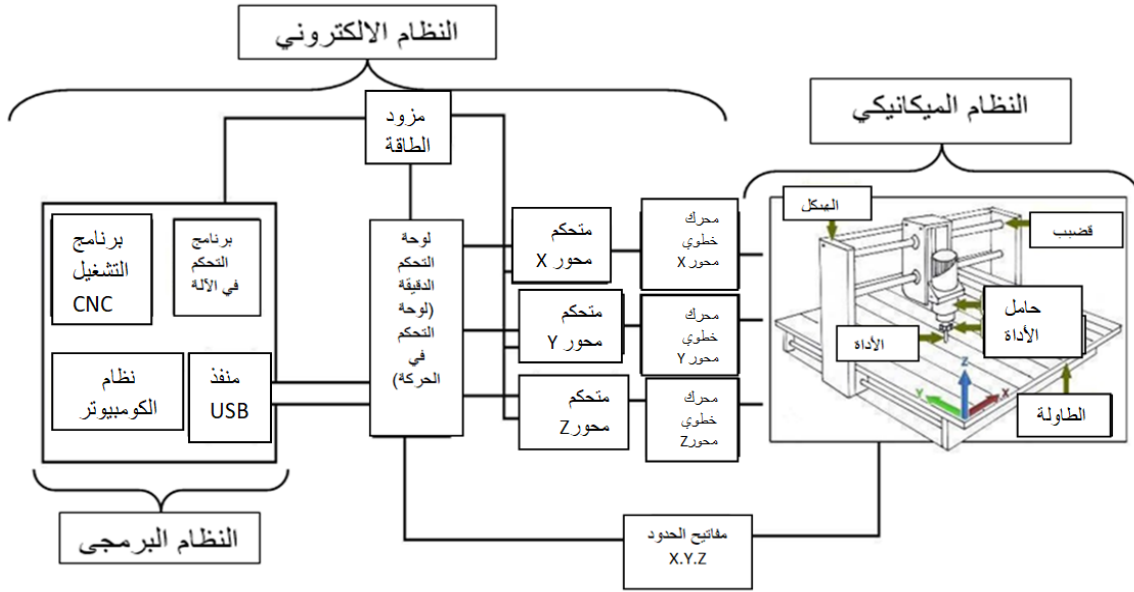


شكل 1-7: مراجع آلة التفريز [14].

1-10-1- أنظم تشغيل آلة CNC:

تنقسم آلة التحكم العددي إلى ثلاثة أنظمة: النظام الميكانيكي، النظام الإلكتروني والنظام البرمجي مبينة

في الشكل 1-8:



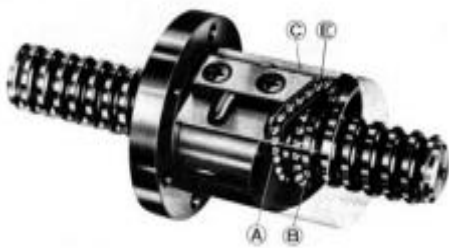
شكل 1-8: مخطط آلة التحكم العددي بالحاسوب [15].

1-10-1- النظام الميكانيكي:

هو ميكانيزم مكون من عدة وصلات ميكانيكية (محورية، انزلاقية، حلزونية... إلخ) التي تتحكم في حركات آلة التشغيل، تكون مستقيمة أو دائرية على أو حول المحاور. لضمان دقة و سلاسة هذه الحركات نستعمل المحامل والوصلات التالية:

أ- المحامل الكروية:

المحمل الكروي هو مكون ميكانيكي يسمح للأجزاء بالدوران دون احتكاك (شكل 1-9) ودوران-انتقال (انتقال نظام برغي-صامولة) (شكل 1-10). يتكون من كرات متدرجة بين حلقتين، مما يقلل الاحتكاك ويسمح للأجزاء بالتحرك بسلاسة. يمكن للمحامل الكروية تحمل الأحمال النصف قطرية والمحورية [15].



شكل 1-10: برغي-صامولة ذات كريات.



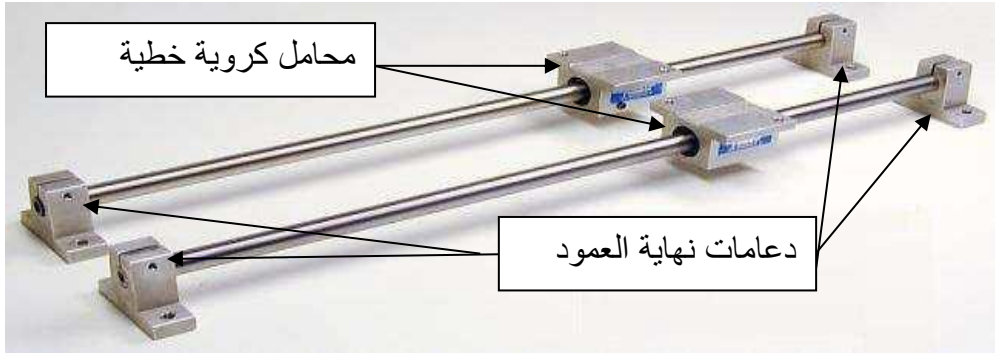
شكل 1-9: محمل كروي (يضمن وصلة محورية).

ب-دعامات نهاية العمود:

تستخدم دعامات العمود لدعم القضبان/الأعمدة الخطية بشكل صارم دون انزلاق، حيث تضمن وصلة اندماجية بين الهيكل والعمود. تستخدم كتل دعم العمود للدعم النهائي أو المتقطع حيث تكون الأحمال خفيفة، وانحراف طفيف في العمود ليس مصدر قلق [15].

ج-المحامل الكروية الخطية:

لتوفير حركة حرة مستقيمة، نستعمل محامل تحتوي على كريات تقلل من انزلاقات الاحتكاك على القضبان التي تضمن الوصلة الانزلاقية لتوفير حركة حرة خطية في اتجاه واحد. هناك العديد من الأنواع المختلفة من محامل الحركة الخطية. يتكون محمل العناصر المتداول عمومًا من حلقة خارجية تشبه الأكام وعدة صفوف من الكرات التي تحتفظ بها الأقفاص [15].



شكل 1-11: مجموعة السكة الخطية (القضبان الخطية، المحامل الخطية، الأعمدة الطرفية) [15].

د-وصلات نقل الحركة:

قارن العمود (شكل 1-12) هو جهاز يستخدم لربط عمودين معًا عند طرفيهما بغرض نقل الحركة. لا تسمح أدوات التوصيل عادةً بفصل الأعمدة أثناء التشغيل، إلا أنها كأدوات توصيل تحد من عزم الدوران وتتفصل عند تجاوز حد عزم الدوران. الغرض الأساسي من أدوات التوصيل هو ربط قطعتين من المعدات الدوارة [15].



شكل 1-12: قارنة [15].

ه- محرك خطوي:

المحرك الخطوي هو محرك كهربائي متزامن يحول النبضات الرقمية إلى دوران عمود ميكانيكي بعدد من الخطوات المتساوية، بعد ذلك يمكن التحكم في موضع زاوية دوران المحرك لتغييرها والاحتفاظ بها عند إحدى هذه الخطوات دون الحاجة إلى أي مستشعر تغذية (وحدة تحكم الحلقة المفتوحة) [15].

يوجد عدة أنواع من المحركات الخطوية منها محرك Nema17 ثنائي القطبية الذي سيستعمل في صناعة ماكينة التفريز ذات ثلاث محاور الخاصة بهذه المذكرة.

1-10-2- النظام الإلكتروني:

مسؤول عن توليد إشارات التحكم للمحركات الخطوية والتي بدورها توجه حركة مسار الأداة في كل اتجاه أو محور. يتكون من:

- مصدر الطاقة
- لوحة التحكم الدقيقة.
- لوحة تشغيل المحركات الخطوية [15].
- أ- مصدر الطاقة:

مصدر الطاقة هو الجزء الأساسي لنظام CNC حيث يقوم بتحويل التيار الكهربائي المتناوب (AC) إلى تيار كهربائي مستمر (DC) ويوفر الفولتية المطلوبة للأجهزة المختلفة. تتلقى لوحة التحكم الدقيقة إمدادًا بجهد 12V [16].

ب- لوحة التحكم الدقيقة:

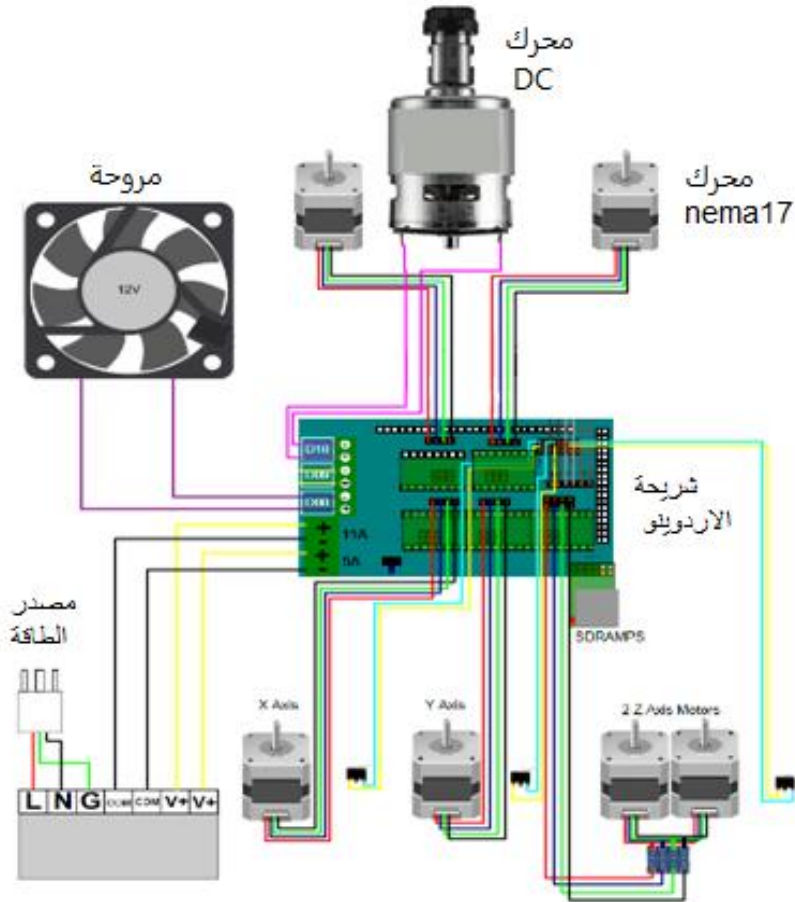
يوجد الكثير من أنواع لوحات التحكم الدقيقة (Arduino)، سنستعمل في هذا العمل أردوينو مبنية على معالج ATmega 2560، وهي المسؤولة عن التحكم بحركة نظام CNC بأكمله، حيث تقوم باستقبال الأوامر من برنامج التحكم الموجود على الحاسوب المتصل عبر منفذ تسلسلي USB. تحتوي لوحة التحكم الدقيقة على برنامج مكتوب بلغة C يشغل على اللوحة ويُسمى مفسر G-code الذي يقوم بترجمة الأوامر الواردة من الكمبيوتر إلى إشارات تحكم تتناسب مع كل محرك خطوي، وبناءً على إشارات التحكم المولدة، فإن لوحة التحكم ترسل إشارات إلكترونية إلى لوحة تشغيل المحركات الخطوية والتي بدورها تقوم بتشغيل المحركات بالشكل المطلوب لتحريك مسار الأداة [15].

ج- لوحة تشغيل المحرك الخطوي:

لوحة تشغيل المحرك الخطوي RAMPS 1.4 هي الأكثر استخدامًا لأجهزة RepRap اعتبارًا من مارس 2014. ويتكون من درع RAMPS 1.4، وخمسة متحكمات كحد أقصى، يمكنه التحكم في ما يصل إلى 5 محركات خطوية بدقة 16/1 خطوة، وواجهة مع نقطة ساخنة، أو قاعدة تسخين، أو مروحة (أو نقطة ساخنة ثانية)، ووحدة تحكم LCD، ومصدر طاقة 12V [16].

د- أسلاك الدائرة الإلكترونية:

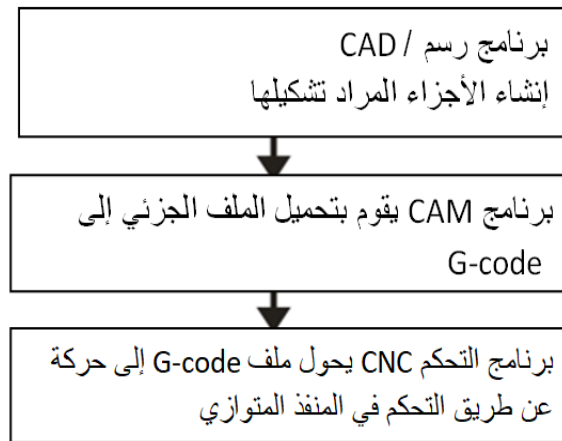
يتم تمثيل أسلاك المكونات المختلفة للنظام الإلكتروني في الشكل الموضح أدناه. حيث توصل لوحة المتحكم الدقيق بنظام الكمبيوتر من خلال منفذ USB التسلسلي. يتم توصيل قطبي كل محرك خطوي بأربعة دبابيس موجودة على لوحة تشغيل المحركات معرفة بـ +A، -A، +B، -B. المحرك الحامل لظرف (المغزل) يوصل بسلكين موجب وسالب وكذلك مروحة التبريد. يتم توفير إمدادات الطاقة لجميع مكونات النظام الإلكتروني بمصدر طاقة 12V (شكل 1-13).



شكل 1-13: أسلاك الدائرة الإلكترونية.

1-10-3- البرمجيات ونظام الترميز:

يوجد الكثير من البرامج لتسيير والتحكم في الماكينات الرقمية CNC منها Match3 [17]، GRBL [18]... إلخ، أغلبها يعتمد عادة على لغة البرمجة GM، مع التطور التكنولوجي أصبح من الممكن رسم القطع المراد تصنيعها بمساعدة الكمبيوتر (CAD)، والذي تكون مخرجاته عبارة عن رسم بأحد التنسيقات (extensions) المقبولة العديدة، والتنسيق الأكثر تفضيلاً هو تنسيق STL (Stereolithography) [19]. يستعمل بعد ذلك برامج التصنيع بمساعدة الكمبيوتر (CAM)، التي تكون مخرجاتها عبارة عن رمز يمكن قراءته بواسطة الآلة ويستخدم للتحكم العددي في الآلة (شكل 1-14). نظراً لأن تنفيذ كود G يعتمد على الآلة، فمن الضروري اختبار خيارات مختلفة لمتبرمج كود G مفتوح المصدر لـ Arduino، بحيث يتم الحصول على الحركات الصحيحة لمحاور الآلة من خلال المحرك الخطوي. سيتم استخدام برنامج GRBL في هذا العمل، وهو مترجم مفتوح المصدر لـ G-code.



شكل 1-14: مجموعة أدوات البرمجيات.

أ-برنامج CAD:

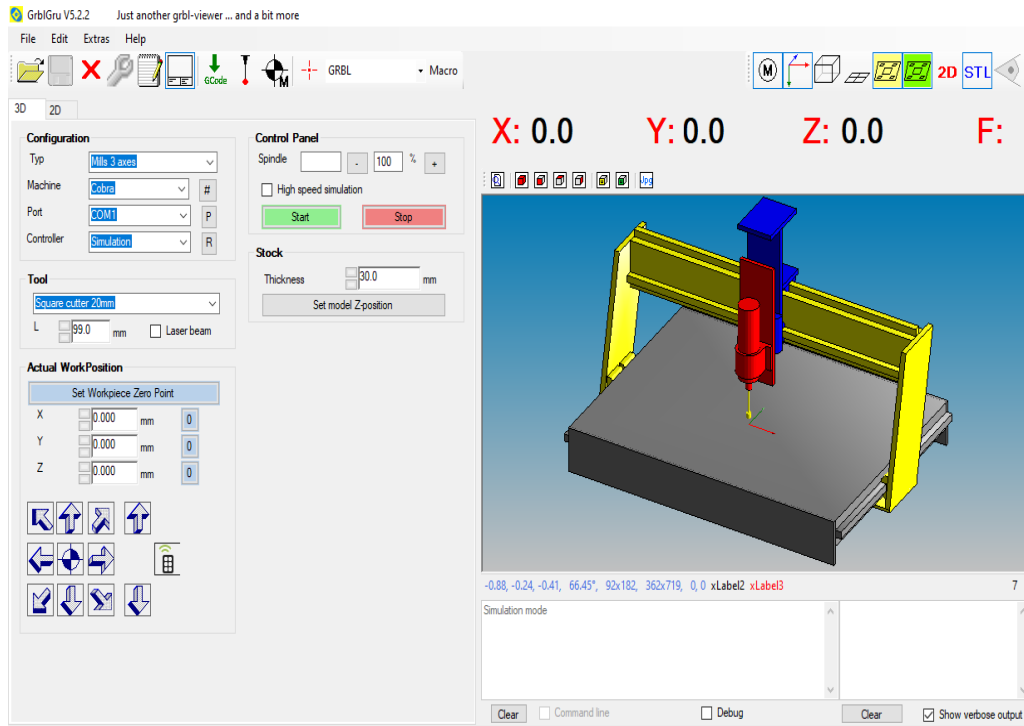
التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD)، هو استخدام أنظمة الكمبيوتر للمساعدة في إنشاء أو تعديل أو تحسين أجزاء التصميم ثلاثية الأبعاد للقطعة باستخدام الحاسب الآلي. تتيح برامج CAD إمكانية إجراء تغييرات وتعديلات على الأجزاء بسهولة بناء على معايير محددة. تنسيق (extension) ملفات القطع القابلة للتبديل الأكثر استخداماً على نطاق واسع هو ملفات ذات تنسيق STL [19] لأنها تستخدم بواسطة أدوات CAM لإنشاء G-code. نذكر بعض الأمثلة عن برامج CAD: OpenSCAD [20]، FreeCAD [21]، Solidworks، [22] Pro/ENGINEER، [23] Autodesk Inventor، [24] AutoCAD، [25]... إلخ.

ب- برنامج CAM:

برامج التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) أو أدوات CAM، تتعامل مع الخطوة الوسيطة المتمثلة في ترجمة ملفات CAD إلى تنسيق مناسب للآلة يستخدمه لوح التحكم الدقيق. تحتاج برامج CAM إلى تنسيق ملف STL [19] من برنامج CAD لإنشاء برنامج G-code للقطعة المراد تصنيعها مناسب لآلة التصنيع. بعض أمثلة على هذه البرامج: FreeMill [26]، DolphinCAD/CAM [27]، CamBam [28]، OneCNC [29]، GibbsCAM [30]، MasterCAM [31]، SheetCAM [32]...إلخ.

ج- برنامج التحكم باستخدام الحاسب الآلي (GRBL):

سيتم في هذا العمل استخدام برنامج GRBL (الشكل 1-15) لإرسال ملفات G-code إلى مترجم أجهزة متكامل (Atmega 2560). يأخذ GRBL برنامج G-code في الملف ويرسله سطرًا تلو الآخر إلى المتحكم. يتم إرسال رموز G-code عبر المنافذ التسلسلية من خلال منفذ USB بين الكمبيوتر ووحدة التحكم الدقيقة.



شكل 1-15: برنامج التحكم باستخدام الحاسب الآلي.

11-1- خاتمة:

قمنا في هذا الفصل بشرح آلة التحكم العددي بشكل عام وإظهار أهمية أجزائها. حيث أن حركاتها جد دقيقة مقارنة بالماكينات التقليدية لأنها تعتمد على عناصر مدرجة مساعدة في تقليل الارتياب والاحتكاك، أيضا، دقة الانتقال يعتمد على مقسمات وحساسات رقمية جد دقيقة. غالبا ما تعتمد الماكينات الرقمية على النظم ذات التغذية الخلفية (ذات الحلقة المغلقة) لتحقيق الانتقال والسرعة المطلوبة. اعتمادا على المعلومات المطروحة في هذا المحور يمكننا أن ننجز تصميم و تصنيع (نسبة التصنيع حسب توفر الإمكانيات) لآلة التقريز ذات التحكم العددي بالحاسوب (CNC Milling) بثلاث محاور (انظر الفصل الثالث).

الفصل الثاني:

برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

2-1- مقدمة:

مع التقدم التكنولوجي، تطورت آلات التشغيل بشكل كبير على مر السنين، حيث انتقلنا من آلات التشغيل التي يتم التحكم فيها يدويًا إلى إعدادات أكثر تعقيدًا. اقتحم الساحة الصناعية ما يسمى بآلات التحكم العددي بواسطة الحاسوب، حيث تتم العمليات المراد إنجازها عن طريق إدخال ملف G-code بواسطة الحاسوب والذي يتم ترجمته إلى حركات وأوامر للمحركات الخطوية بواسطة برامج التحكم. ومن بين برامج التحكم الموجودة في الساحة برنامج Grbl، الذي يعمل كوسيط بين الحاسوب والآلة حيث يتمثل دوره في ترجمة G-code وتحويله بهيئة حركة للمحركات. في هذا الفصل سنتطرق إلى هذا البرنامج وتحديدا الإصدار GrblGru V5.2.2، حيث سنتعرف على كل ما يخص واجهته، مميزاته ومتغيراته.

2-2- برنامج Grbl:

برنامج Grbl هو خيار بديل قوي وعالي الأداء ومنخفض التكلفة للتحكم بحركة آلات CNC مقارنة بأجهزة التحكم التقليدية التي تعتمد على المنافذ المتوازية. يعمل هذا البرنامج على لوحات أردوينو العادية (مثل Uno و Duemillanove) التي تحتوي على معالج Atmega 328 [18].

2-3- مميزات Grbl:

يمتاز برنامج Grbl بالخصائص التالية:

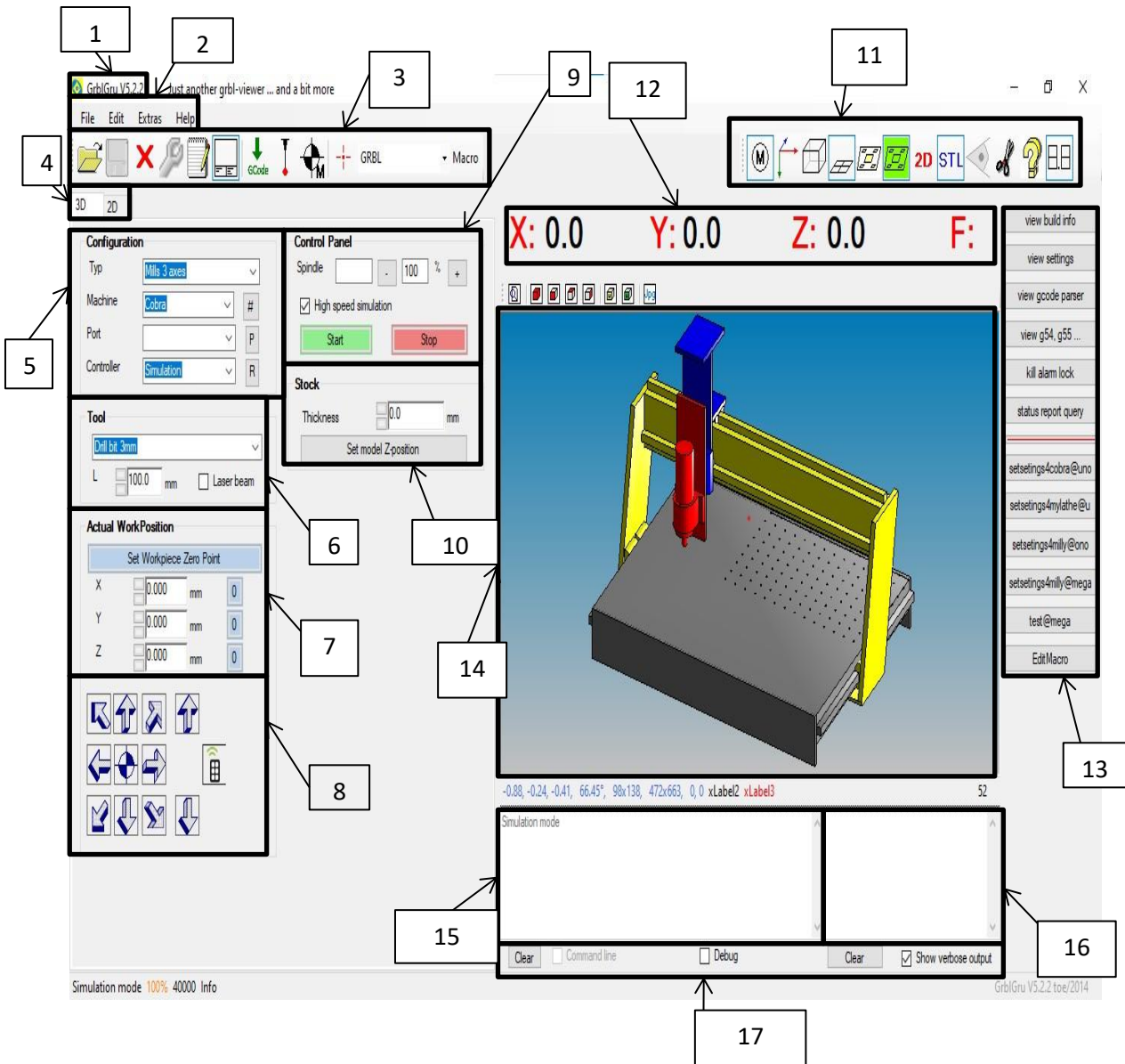
- مكتوب بلغة C المحسنة: استخدم مطورو البرنامج لغة C بشكل مُحسن مع الاستفادة من جميع مزايا معالجات AVR لتحقيق توقيت دقيق وتشغيل غير متزامن [18].
- دقة عالية: ينتج إشارات تحكم مستقرة وخالية من الاهتزازات بمعدل يصل إلى 30KHz [18].
- توافق واسع: يدعم أكواد G-code القياسية، وقد تم اختبارها بنجاح مع برامج CAM متعددة. كما يدعم الحركات الدائرية والحلزونية وجميع أوامر G-code الأساسية الأخرى [18].
- إدارة تسارع متقدمة: يتضمن ميزة تحسين التسارع التي تتيح للتحكم التطلع إلى 18 حركة مقدمة وتخطيط سرعاتها مسبقًا، مما يؤدي إلى تسارع سلس وانعطافات خالية من التشنجات [18].

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes

- مصدر مفتوح ومجاني: يُعد Grbl برنامجًا مفتوح المصدر ومجاني الاستخدام بموجب ترخيص GPLV3 [18].

2-4- واجهة البرنامج:

يمتاز برنامج GrblGru بواجهة بسيطة وواضحة مقارنة مع برامج التحكم والمراقبة العددية الأخرى للماكينات، بحيث أغلب الأوامر والأيقونات الأساسية تظهر في الواجهة مما يجعله سهل الاستخدام حتى للمبتدئين. سنتعرف في هذا العنصر على مختلف الإعدادات الخاصة ببرنامج GrblGru، وأيضاً نتعرف على مختلف الأوامر والوظائف التي يحتوي عليها هذا البرنامج والموضحة في (شكل 1-2) و (الجدول 1-2).



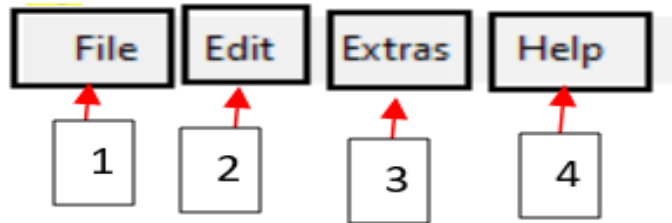
شكل 1-2: واجهة البرنامج.

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

الجدول 2-1: وظائف مكونات واجهة برنامج GrblGru.

الرقم	الوظيفة
1	اسم ورقم إصدار البرنامج.
2	شريط الأدوات لإعدادات الواجهة وإدخال التصميم والمساعدة.
3	شريط أدوات الوصول السريع (تحميل الملف الأخير؛ حفظ العمل؛ إظهار وإخفاء نافذتي الأوامر 17 والرسائل 15... الخ).
4	نوع العرض (ثلاثي الأبعاد أو ثنائي الأبعاد) في شاشة المحاكاة.
5	إعدادات توصيل الآلة بجهاز الكمبيوتر.
6	إعدادات أداة القطع.
7	تغيير أو التحكم في مرجع المشغولة (القطعة).
8	التحكم في محاور الآلة.
9	لوحة التحكم في شروط القطع (في سرعة القطع؛ التغذية؛ إيقاف؛ تشغيل المحاكاة).
10	أبعاد القطعة الخام.
11	شريط أوامر الإظهار والإخفاء على شاشة المحاكاة.
12	إحداثيات حركة المحاور وسرعة التغذية.
13	برامج G-code مخزنة وإعدادات فضاء عمل الآلة وشروط القطع.
14	شاشة محاكاة الآلة.
15	نافذة الأوامر التي يرسلها GrblGru.
16	نافذة كتابة وإظهار تنفيذ البرنامج.
17	شريط التحكم في النافذتين 15 و16.

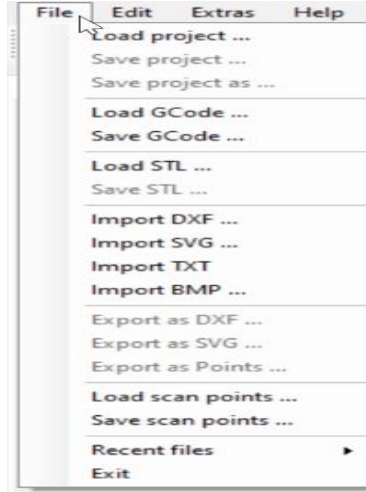
2-4-1- شريط الأدوات لإعدادات الواجهة وإدخال التصميم والمساعدة (رقم 2):



شكل 2-2: أيقونة شريط الأدوات.

أ-ملف:

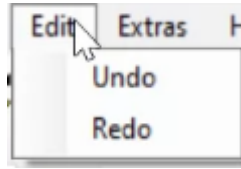
يمكن من خلاله فتح ملف G-code جديد وفتح ملف مشغولة جاهزة بصياغات مختلفة كما يمكن من خلاله حفظ الملف الذي تم إنشائه أو الخروج من البرنامج.



شكل 2-3: أيقونة الملف.

ب- تحرير:

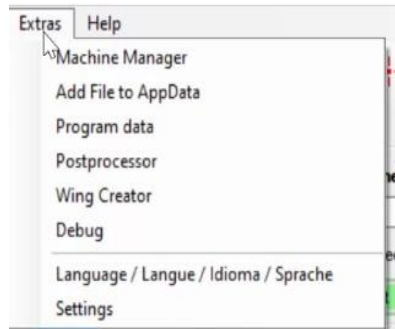
يمكن من خلاله حذف تغيير ما، أو إعادته.



شكل 2-4: أيقونة التحرير.

ج- الإضافات:

أهم عنصرين في هذه الأيقونة هما إدارة الآلة والإعدادات المبيتين في ما يلي.

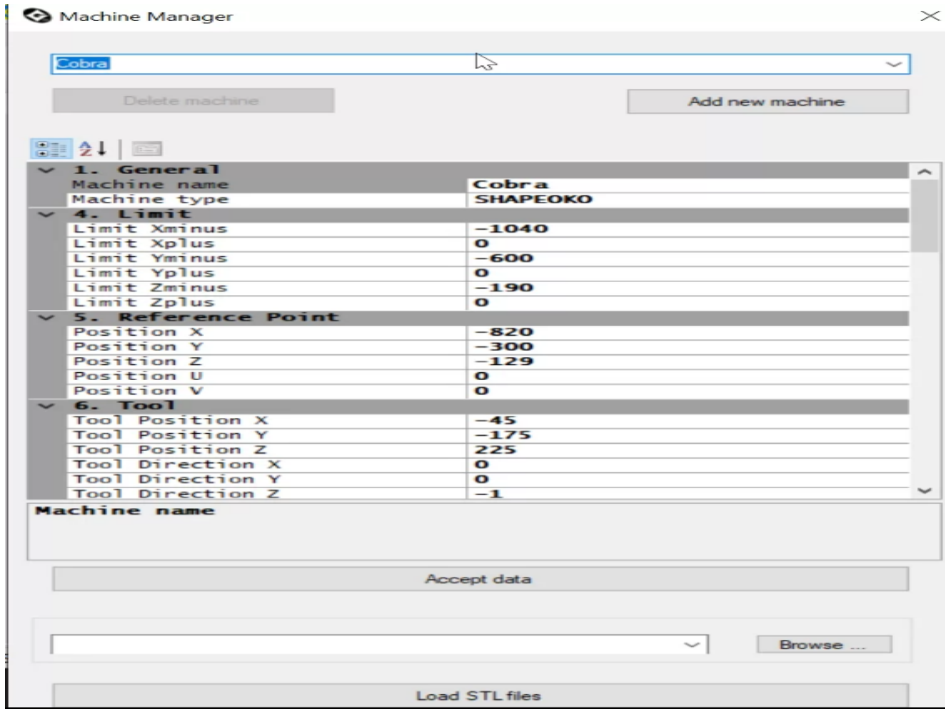


شكل 2-5: أيقونة الإضافات.

ج-1- إدارة الآلة (Machine Manager):

تتحكم في نوع الآلة والإحداثيات الحدية على المحاور التي لا يمكن للآلة تجاوزها (يعني أقصى انتقال

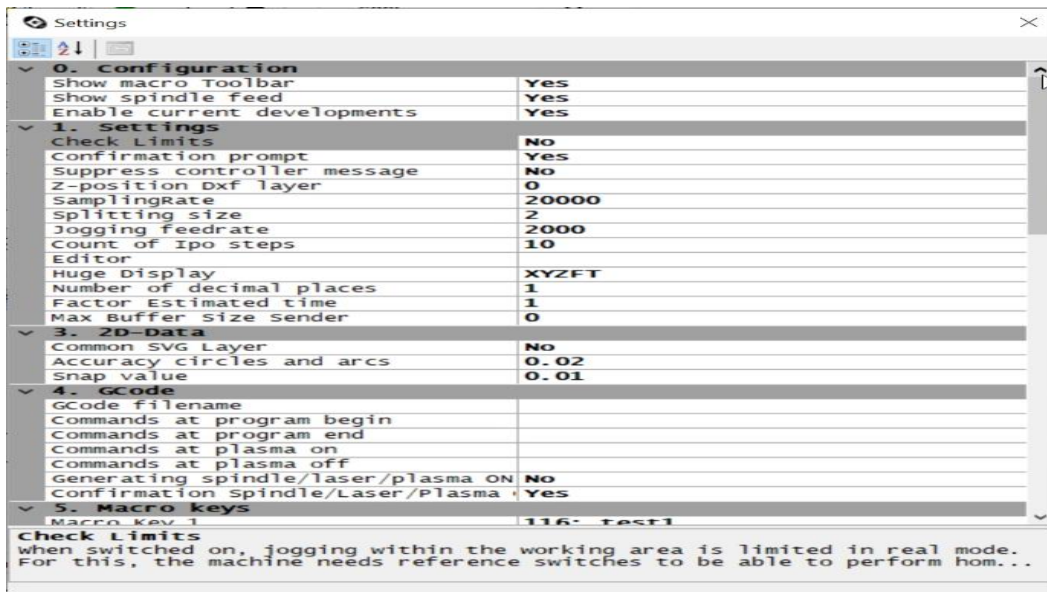
يمكن أن تقوم به الأداة على المحاور)، ومختلف الوضعيات (وضعية النقطة المرجعية ووضعية الأداة... الخ)



شكل 2-6: نافذة إدارة الآلة.

ج-2- الإعدادات (Setting):

عند النقر على هذه التعليلة تظهر على الشاشة النافذة المبينة في الشكل 2-7، حيث يمكن إعداد البرنامج منها. مثلاً، يتحكم في إظهار وإخفاء الأيقونات الموجودة في واجهة البرنامج بالإضافة إلى ألوان شاشة محاكاة الآلة وتعديل سرعات التغذية ودقة الانتقال... الخ. عند النقر على أي تعليلة في النافذة نجد شرحها في آخر النافذة.



شكل 2-7: نافذة الإعدادات.

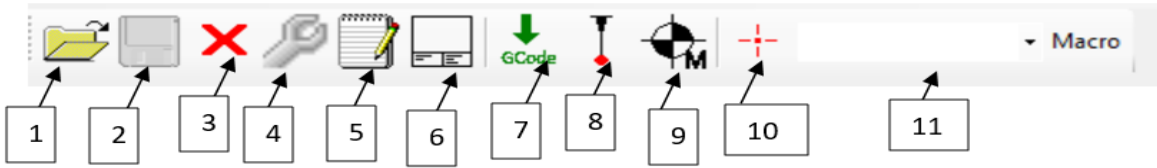
ج-3- المساعدة (Help):

مزودة بمختلف الصفحات الرسمية لبرنامج GrblGru على مختلف المواقع وذلك لمساعدة المبتدئين على الاستخدام الصحيح لهذا البرنامج.



شكل 2-8: نافذة المساعدة.

2-4-2- شريط أدوات الوصول السريع (رقم 3):



شكل 2-9: شريط أدوات الوصول السريع.

الجدول 2-2: شريط أدوات الوصول السريع.

الرقم	الوظيفة
1	فتح ملف موجود.
2	حفظ العمل المنجز .
3	إلغاء كل التعديلات والمدخلات.
4	تعديل وثيقة G-code.
5	كتابة ملاحظات خاصة بالمستخدم.
6	إظهار وإخفاء النوافذ 15، 16 و 17 في الشكل 2-1.
7	تحميل G-code جديد.
8	أداة تحديد مرجع القطعة.
9	العودة إلى مرجع الماكينة.
10	حفظ إحداثيات نقطة ما.
11	اختيار نوع البرنامج المسير للآلة.

2-4-3- إعدادات توصيل الآلة بجهاز الكمبيوتر (رقم 5):

النافذة رقم 5 من خلالها يتم اختيار نوع الآلة وتوصيلها بالكمبيوتر وذلك باختيار رقم المنفذ الموصل بالآلة (Port) واختيار طريقة التحكم (المحاكاة أو الآلة).

شكل 2-10: إعدادات توصيل الآلة بجهاز الكمبيوتر.

2-4-4- إعدادات أداة القطع (رقم 6):

يتم بواسطتها اختيار نوع أداة القطع وخصائصها الهندسية.

شكل 2-11: أيقونة إعدادات أداة القطع.

2-4-5- تغيير أو التحكم في مرجع المشغولة (القطعة) (رقم 7):

يمكن من خلال هذه الأيقونة وضع إحداثيات نقطة إزاحة جديدة لمرجع الماكينة.

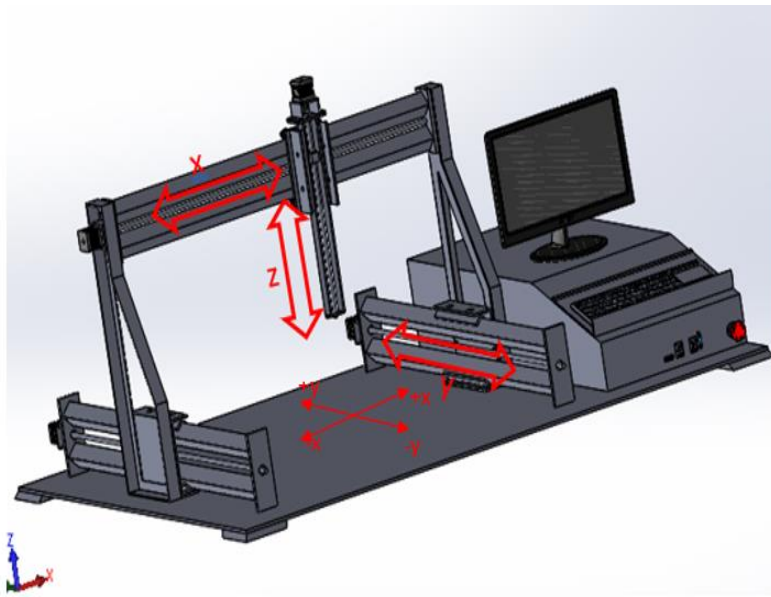
شكل 2-12: أيقونة تغيير أو التحكم في مرجع المشغولة (القطعة).

2-4-6- التحكم في محاور الآلة (رقم 8):

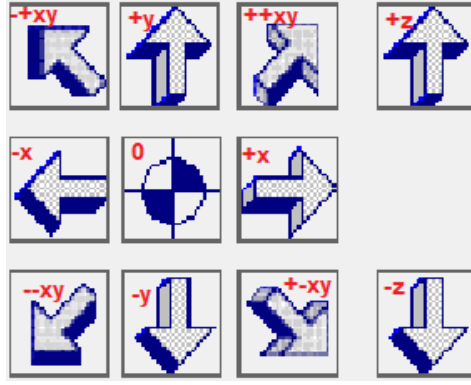
يمكن التحكم في إحداثيات الحركة على محاور الآلة الثلاثة (شكل 2-13) من خلال مجموعة الأيقونات

رقم (8) (شكل 2-14)، حيث كل واحدة منها تغير الإحداثيات على النحو التالي:

- +Z: تحريك حامل الأداة في الاتجاه الموجب للمحور Z.
- -Z: تحريك حامل الأداة في الاتجاه السالب للمحور Z.
- +X: تحريك حامل الأداة في الاتجاه الموجب للمحور X.
- -X: تحريك حامل الأداة في الاتجاه السالب للمحور X.
- +Y: تحريك حامل الأداة في الاتجاه الموجب للمحور Y.
- -Y: تحريك حامل الأداة في الاتجاه السالب للمحور Y.
- ++XY: تحريك حامل الأداة في المستوى XY حيث الاتجاه سالب على المحور X وموجب على المحور Y.
- --XY: تحريك حامل الأداة في الاتجاه السالب للمستوي XY.
- +-XY: تحريك حامل الأداة على المستوى XY حيث الاتجاه موجب على X و سالب على Y.
- 0: العودة إلى نقطة صفر (مرجع) الآلة



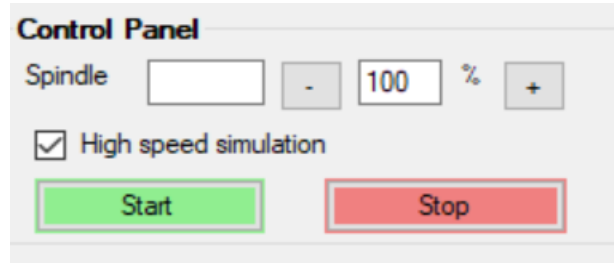
شكل 2-13: إحداثيات ماكينة التحكم العددي ذات ثلاث محاور.



شكل 2-14: التحكم في محاور الآلة.

2-4-7- التحكم في سرعة القطع (رقم 9):

من خلال هذه النافذة يمكن التحكم في سرعة القطع، إيقاف وتشغيل محاكاة الآلة.

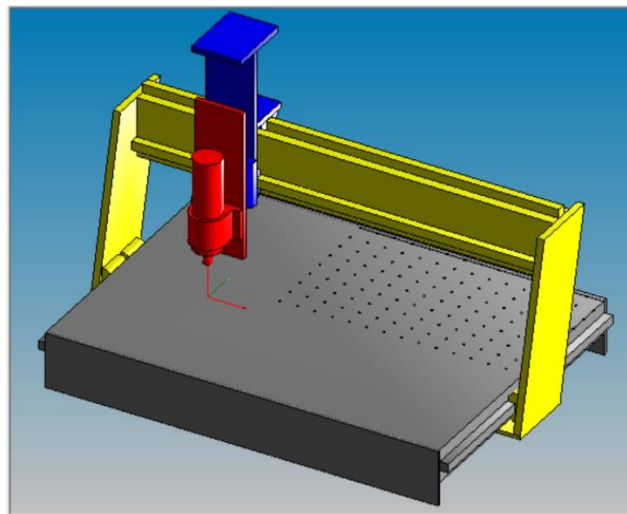


شكل 2-15: نافذة التحكم في سرعة القطع.

2-4-8- شاشة محاكاة الآلة (رقم 14):

محاكاة الآلة تعطي إمكانية التأكد من صحة برنامج المشغولة المراد إنجازها، كما أن هذه الواجهة تحاكي

الآلة الحقيقية أثناء التشغيل وتعرضه على الحاسوب، حيث يمكن مراقبة عمل الآلة من خلال الشاشة.



شكل 2-16: شاشة محاكاة الآلة.

2-5-متغيرات GRBL V5.2.2:

لعرض متغيرات GRBL المخزنة في وحدة التحكم، يجب استخدام الأمر $\$$. لتعديل قيم هذه المتغيرات، يجب استخدام الأمر $\$x=val$ ، على سبيل المثال $\$22=1$ لتنشيط التوجيه [33].

• **\$0 نبضات الخطوة (µs):** تُستخدم نبضات الخطوة لتشغيل المحركات خطوة بخطوة. يعد طول نبضة الخطوة عاملاً مهماً في تحديد أداء المحرك. القيمة الافتراضية: $\$0=10$ [33].

• **\$1 تأخير انتظار الخطوة (ms):** مقدار هذه التعليمات يحدد الوقت الذي ينتظره برنامج Grbl قبل إيقاف تشغيل المحركات خطوة بخطوة بعد اكتمال الحركة. القيمة الافتراضية: $\$1=25$ [33].

• **\$2 عكس إشارة نبضات الخطوة:** يعكس إشارة نبضات الخطوة. القيمة الافتراضية: $\$2=0$ [33].

• **\$3 عكس اتجاه المحاور:** تحدد هذه التعليمات اتجاه المحاور. القيمة الافتراضية: $\$3=0$ [33].

• **\$4 عكس إشارة التفعيل (منطقي boolean):** تحدد هذه التعليمات اتجاه إشارة التفعيل. القيمة الافتراضية: $\$4=0$ [33].

• **\$5 عكس نوع اتصال مفاتيح نهاية المشوار (منطقي boolean):** تحدد هذه التعليمات نوع اتصال مفاتيح نهاية المشوار. القيمة الافتراضية: $\$5=0$ [33].

• **\$6 عكس موصلة الاستشعار (منطقي boolean):** تحدد هذه التعليمات نوع اتصال موصلة الاستشعار لتحديد موضع حامل الأداة. القيمة الافتراضية: $\$6=0$ [33].

• **\$10 تقرير الحالة في الوقت الفعلي:** يحدد هذا المعلم البيانات التي يرسلها Grbl في الوقت الفعلي عند إرسال الأمر "؟". القيمة الافتراضية: $\$10=1$ [33].

الجدول 2-3: القيم التي يمكن أن تأخذها \$10.

النوع	القيمة	الوصف
الوضع	0	ينشط: WPos، ويلغي تنشيط: MPos
الوضع	1	ينشط: MPos، ويلغي تنشيط: WPos
المخزن المؤقت	2	ينشط: Buf

• **\$11 فجوة المفصل (mm):** يتم استخدام هذه التعليمات بواسطة متحكم التسارع لتحديد السرعة التي يمكن لكل محرك التحرك بها عبر تزامن محدد لإنشاء مسار دقيق لحامل الأداة عبر تقاطعات قطاعات الخط

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

لمسار برنامج G-code. على سبيل المثال، إذا كان للمسار منعطف حاد بزواوية 10 درجات قادم والآلة تتحرك بأقصى سرعة، فإن هذا الإعداد يساعد في تحديد مقدار ما تحتاجه الآلة إلى التباطؤ من أجل المرور بأمان دون فقدان أي خطوات. كلما كانت القيمة أعلى، زادت سرعة الحركة في المنعطفات، مما يزيد من خطر فقدان الخطوات. القيمة الافتراضية: $\$11=0.010$ [33].

• **\$12 دقة الأقواس (mm):** لعرض الدوائر والأقواس والحلزونات G2/G3، يقوم Grbl بتقسيمها إلى خطوط صغيرة جدًا، بحيث لا تقل دقة رسم القوس أبدًا عن هذه القيمة.

هذا الإعداد أقل بكثير من دقة معظم الماكينات (0.002mm) لذلك لا يحتاج للضبط.

ملاحظة: ومع ذلك، يمكن ضبط هذا الإعداد إذا وجد أن شكل الدوائر خشنة جدًا أو أن رسم الأقواس بطيء جدًا. تؤدي القيم المنخفضة إلى دقة أكبر، ولكنها قد تؤدي إلى مشاكل في الأداء عن طريق تحميل Grbl بخطوط صغيرة جدًا. تؤدي القيم الأعلى إلى رسم دقة أقل، ولكنها قد تسرع أداء القوس لأن Grbl لديه عدد أقل من الخطوط التي يجب معالجتها. القيمة الافتراضية: $\$12=0.002$ [33].

• **\$13 وحدة تقرير الحالة (منطقي boolean):** يحتوي Grbl على وظيفة تقرير تحديد الموقع في الوقت الفعلي لتوفير تعليقات للمستخدم حول الموقع الدقيق للجهاز في ذلك الوقت، بالإضافة إلى إعدادات إزاحة الإحداثيات. يمكن اختيار عرضها بالمليمتر أو البوصة.

mm: \$13=0

inch: \$13=1

القيمة الافتراضية: $\$13=0$ [33].

• **\$20 حدود برمجية (منطقي boolean):** الحدود البرمجية هي ميزة أمان تساعد على منع ماكينة CNC من التحرك بعيدًا جدًا وتجاوز حدود الحركة. يعمل عن طريق معرفة الحدود القصوى للحركة لكل محور (\$130, \$131, \$132) وما إذا كان التموضع ممكنًا (\$22).

في كل مرة يتم إرسال حركة G-code جديدة إلى Grbl، فإنه يتحقق مما إذا كان انتقال حامل الأداة قد تجاوز مساحة عمل الماكينة. إذا تحقق هذا الاحتمال، فسوقوف Grbl كل شيء (حركة المحاور، المغزل، وسائل التبريد)، ثم سيحدد إنذار النظام الذي يشير إلى المشكلة.

$\$20=1$: تفعيل، $\$20=0$: تعطيل. القيمة الافتراضية: $\$20=0$ [33].

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

• **\$21 حدود بملتقطات (منطقي boolean):** يعمل هذا النوع بشكل أساسي بنفس الطريقة مثل الحدود البرمجية، ولكنها تستخدم مفاتيح كهروميكانيكية بدلاً من ذلك. للقيام بذلك، يجب أن تكون ماكينة CNC مزودة بوصلات نهاية تشغيل (كهروميكانيكية أو كهرومغناطيسية أو ضوئية) عند حد كل محور. عندما ينقر المفتاح، فإنه يوقف الحركة على الفور، ويوقف المبرد والمغزل، ثم ينتقل إلى وضع الإنذار، مما يتطلب التحقق من ماكينة CNC وإعادة ضبطها. كل ما يجب فعله هو توصيل مفتاح "NO" (مفتوح بشكل طبيعي) على نقطة الارتفاع لكل محور وتنشيط ملتقطات تعيين الحدود. إذا أردنا حدوداً للنهايات القصوى والدنيا من محور واحد، فإننا بحاجة إلى توصيل مفتاحين متوازيين. من المستحسن اتخاذ تدابير لمنع التداخلات الكهربائية. القيمة الافتراضية: $\$21=0$. [33].

• **\$22 حلقة المرجع (منطقي boolean):** تُستخدم حلقة المرجع لتحديد موقع معروف وموثوق به بدقة على ماكينة CNC في كل مرة يتم تشغيل Grbl. القيمة الافتراضية: $\$22=1$. [33].

• **\$23 عكس اتجاه محاور المرجع:** بشكل افتراضي، يفترض Grbl أن مفاتيح حدود ملتقطات نهاية المحاور في الاتجاه الإيجابي، مع تحريك المحور Z في الاتجاه الإيجابي أولاً، ثم محاور X و Y في الاتجاه الإيجابي قبل محاولة تحديد موقع الصفر الآلي بدقة عن طريق القيام بحركات ذهاباً وإياباً ببطء حول المفتاح. إذا كان لدى ماكينة CNC مفتاح حدود في الاتجاه السلبي، يمكن عكس اتجاه المحاور بهذه التعليمات. للقيام بذلك، يتم تغيير الإعداد بإتباع الجدول أدناه:

الجدول 2-4: القيم الممكنة أن تأخذها \$23.

القيمة	الرمز	يعكس X	يعكس Y	يعكس Z
0	00000000	لا	لا	لا
1	00000001	نعم	لا	لا
2	00000010	لا	نعم	لا
3	00000011	نعم	نعم	لا
4	00000100	لا	لا	نعم
5	00000101	نعم	لا	نعم
6	00000110	لا	نعم	نعم
7	00000111	نعم	نعم	نعم

القيمة الافتراضية: $\$23=0$. [33].

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

- **\$24** سرعة تقدم العودة للصفّر (mm/min): دورة العودة للصفّر تبحث أولاً عن مفاتيح نهاية المسار بسرعة أعلى، وبعد العثور عليها، تتحرك بسرعة تقدم أبطأ للعودة إلى الموقع الدقيق للصفّر الآلي. سرعة تقدم العودة للصفّر هي أبطأ سرعة تقدم. القيمة الافتراضية: $25=24$ [33].
- **\$25** سرعة البحث للعودة للصفّر (mm/min): دورة العودة للصفّر تبحث أولاً عن مفاتيح نهاية المسار بسرعة أعلى، وبعد العثور عليها، تتحرك بسرعة تقدم أبطأ للعودة إلى الموقع الدقيق للصفّر الآلي. سرعة البحث للعودة للصفّر هي أسرع سرعة تقدم. القيمة الافتراضية: $500=25$ [33].
- **\$26** مقاومة التذبذب عند الاستشعار (ms): في كل مرة يتم فيها تشغيل مفتاح نهاية التشغيل، قد يكون هناك ضوضاء كهربائية أو ميكانيكية تتسبب في "ارتداد" الإشارة لأعلى ولأسفل لبضع ملي ثانية (ضوضاء كهربائية). لحل هذه المشكلة، يقوم Grbl بتقديم تأخير قصير للسماح للإشارة بالتذبذب أثناء الاستشعار عند تحديد موقع الصفّر الآلي. في معظم الحالات، تعمل القيم من 5ms إلى 25ms بشكل جيد. القيمة الافتراضية: $250=26$ [33].
- **\$27** مسافة التراجع الآمن للاستشعار (mm): بمجرد تحديد موقع الصفّر الآلي لمحور ما، يجب تحديد مسافة التراجع لتجنب التنشيط العرضي 1mm أو 2mm كافية بشكل عام. القيمة الافتراضية: $1=27$ [33].
- **\$30** السرعة القصوى للمحور (tr/mm): تحدد السرعة القصوى التي يمكن أن يدور بها المحور عند 5V. القيمة الافتراضية: $1000=30$ [33].
- **\$31** السرعة الدنيا للمحور (tr/mm): تحدد السرعة الدنيا التي يمكن أن يدور بها المحور عند 0.02V (0V=ايقاف). القيمة الافتراضية $0=31$ [33].
- **\$32** وضع الليزر (منطقي boolean):
\$32=0 غير مفعّل: يعمل Grbl كما كان دائماً، فهو يوقف الطاقة في كل أمر سرعة محور. هذا هو التشغيل الافتراضي لجهاز التوجيه لتوفير استراحة للسماح للمحور بتغيير السرعة.
\$32=1 مفعّل: يطبق Grbl باستمرار أوامر الحركة المتتالية G1، G2 أو G3 عندما يتم برمجة المحاور بسرعة معينة. يتم تحديث PWM لسرعة طاقة الليزر بشكل فوري في كل حركة للمحاور دون توقف. القيمة الافتراضية: $0=32$ [33].
- **\$100 \$101 \$102 [X'Y'Z]** (tr/mm): عدد المليمترات التي يتم قطعها في كل دورة للمحرك.

لحساب خطوة/مم لمحور من ماكينة CNC، نحتاج إلى معرفة:

- عدد خطوات المحرك لكل دورة (360 درجة) (عادة 200).
- عدد الخطوات الدقيقة للمتحكمات (عادة 1، 2، 4، 8 أو 16).
- المسار اللولبي: عدد خطوات اللولبة (الحركة التي تقوم بها الصامولة في كل دورة للبرغي).
- الحزام: عدد الأسنان في البكرة والتباعد بين الأسنان.

القيم الافتراضية: $\$100=250$ ، $\$101=250$ ، $\$102=250$ [33].

● **\$110 \$111 \$112 [X,Y,Z]** الحد الأقصى للسرعة (mm/min): تحدد هذه الإعدادات السرعة

القصى للحركة لكل محور من محاور CNC إذا كان هناك تحرك مخطط له بسرعة أعلى من هذه القيمة، فسوف يقوم Grbl بإبطاء التحرك حتى لا يتجاوز هذه السرعة القصى. لكل محور سرعته القصى المستقلة، مما يجعلها مفيدة للغاية للحد من سرعة المحور Z الذي يكون عادةً أبطأ. يمكن اختبار كل محور على حدة عن طريق زيادة قيمة هذه الإعدادات تدريجيًا وتشغيل الحركة للتحقق من السرعة القصى. عند الوصول إلى السرعة القصى للمحرك، سيبدأ في التوقف، لذلك يجب تقليل القيمة بنسبة 10 إلى 20%.

القيم الافتراضية: $\$110=500$ ، $\$111=500$ ، $\$112=500$ [33].

● **\$120 \$121 \$122 [X,Y,Z]** معدل التسارع (mm/min): تحدد هذه الإعدادات معدل التسارع لكل

محور من محاور CNC بوحدة مم/دقيقة. تؤدي القيمة المنخفضة إلى إبطاء بدء الحركة، بينما تؤدي القيمة المرتفعة إلى حركات أكثر دقة وتسمح بالوصول إلى سرعات التغذية المطلوبة بشكل أسرع بكثير، مثل إعداد السرعة القصى. لكل محور قيمة تسارع خاصة به مستقلة عن باقي المحاور، يعني ذلك أنه خلال حركة متعددة المحاور، سيتسارع النظام بأكمله بأقل قيمة تسارع محددة لمحاوره. لتحديد قيمة كل محور، يجب اختبارها بشكل فردي عن طريق زيادة القيمة تدريجيًا وتشغيل حركة بعد كل زيادة. عندما تصل إلى السرعة القصى التي يمكن للمحرك قبولها، سيبدأ في التوقف، لذا يجب تقليل القيمة بنسبة 10 إلى 20%.

القيم الافتراضية: $\$120=10$ ، $\$121=10$ ، $\$122=10$ [33].

● **\$130 \$131 \$132 [X,Y,Z]** الحد الأقصى للحركة (mm): تحدد هذه الإعدادات الحد الأقصى

للحركة لكل محور من محاور CNC بوحدة مليمتر (mm). تُستخدم هذه الإعدادات فقط إذا تم تمكين حدود البرنامج (soft limits) والعودة إلى النقطة المرجعية (homing). تحدد حدود البرنامج أقصى مسافة

الفصل الثاني: برنامج GrblGru لتشغيل آلة التحكم العددي بالحاسوب CNC 3 axes.

يمكن للمحرك أن يتحرك فيها في كل اتجاه. تضمن العودة إلى النقطة المرجعية عودة جميع المحاور إلى موضعها الأصلي المعروف. القيم الافتراضية: $130=200$ \$, $131=200$ \$, $132=200$ \$ [33].

2-6- خاتمة:

تطرقنا في هذا الفصل لدراسة برمجة آلة تشغيل CNC، أين تم اختيار برنامج التحكم Grbl الذي يشتهر بمرونته وسهولة استخدامه، حيث يتميز بواجهة مستخدم بسيطة، مما يجعله خيارًا شائعًا لمستخدمي CNC. ومن بين الإصدارات العديدة للبرنامج اعتمدنا على إصدار GrblGru V5.2.2، الذي استعرضنا بالتفصيل مكونات واجهته، خصائصه، ومتغيراته. وبهذا يكون هذا الفصل قد ركز على المفاهيم الأساسية التي سنحتاجها للتحكم و البرمجة لماكينة التفرير ذات التحكم العددي بالحاسوب في الفصل الرابع.

الفصل الثالث:

تصميم وصناعة ماكينة التفريز بثلاثة محاور.

3-1- مقدمة:

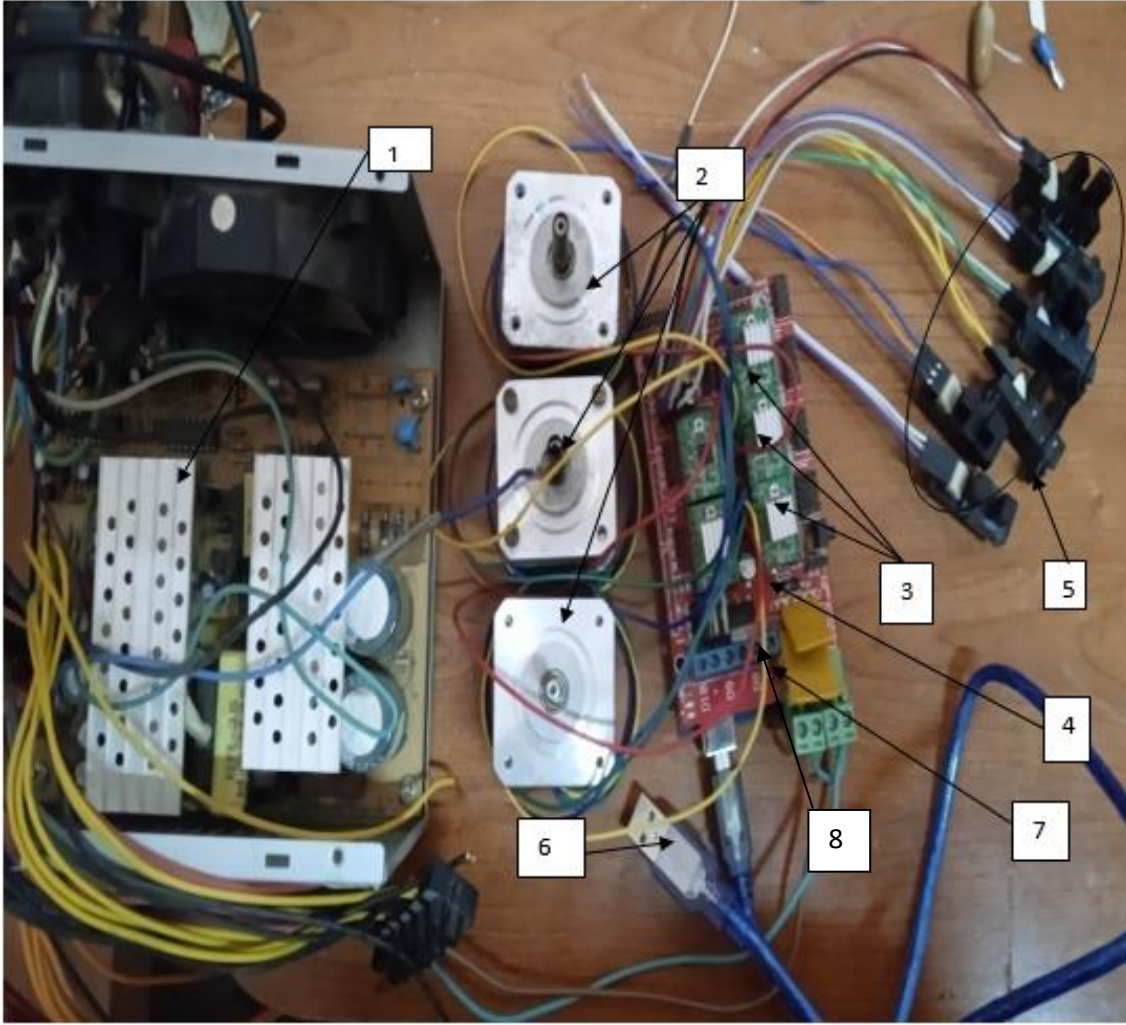
يحتوي هذا الفصل على تصميم آلة التحكم العددي بثلاثة محاور باستخدام برنامج SolidWorks، المعروف بقدراته القوية في تصميم المنتجات والهياكل، مع التركيز على الدقة العالية لضمان الأداء الأمثل للآلة. تم في هذا الفصل تصنيع القطع المكونة للماكينة ثم تجميعها اعتماداً على الإمكانيات التي أصبحت متوفرة من قطع إلكترونية وسهولة التصنيع أو/والحصول على القطع الميكانيكية والبرمجيات.

3-2- الدارة الكهربائية للماكينة:

تتكون الدارة الكهربائية المشغلة للماكينة (شكل 3-1) من علبة التغذية الكهربائية التي لها ثلاث مخارج فولتية 12V، 5V و 3,3V التي لديها على الترتيب شدة تيار كهربائي قدره 15A، 24A و 7A، كما تحتوي الدارة على ثلاثة محركات خطوية ثنائية القطب Nema 17HS4401 يتحكم في تغذيتها ثلاث متحكمات من نوع A4988 تركيب على دارة إلكترونية خاصة بها تسمى بـ CardRamps 1.4 بدورها مثبتة على شريحة أردوينو من نوع mega 2560، كما تحتوي على محرك DC لتشغيل المغزل. المسافة القصوى لانتقال محاور الآلة X، Y و Z تحدها 3 ملتقطات موصولة بواسطة أسلاك كهربائية بالبطاقة Ramps 1.4. الجدول 3-1 يبرز أهم العناصر الكهربائية المستعملة في ماكينة CNC.

الجدول 3-1: العناصر الكهربائية المستعملة.

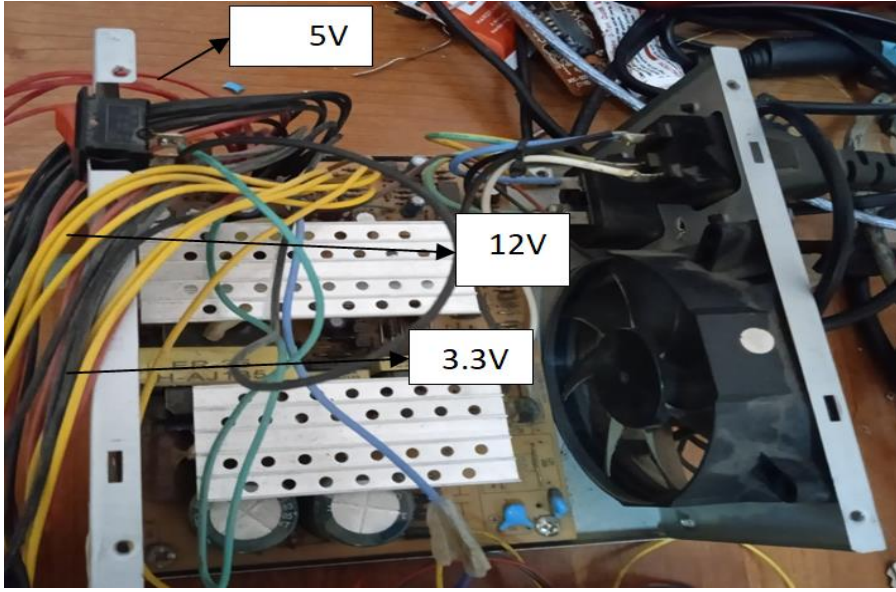
الرقم	العنصر	الوظيفة
1	علبة التغذية	تغذية الآلة بتيار كهربائي مستمر.
2	محركات خطوية	إعطاء حركات بنظام برغي-صامولة للمحاور الثلاث X، Y، Z.
3	متحكمات	تغذية المحركات بالتيار الكهربائي اللازم والتحكم في تشغيلها وسرعتها.
4	دارة Ramps 1.4	تغذية المتحكمات ووصل عناصر التحكم بالأردوينو.
5	ملتقطات	ملتقطات ضوئية لإعطاء مسافة الانتقال الأقصى والأدنى لكل محور.
6	USB	توصيل الأردوينو بالكمبيوتر.
7	الأردوينو	حاملة برنامج التحكم في الآلة.
8	مأخذ محرك DC	تغذية محرك تدوير المغزل حامل الأداة.



شكل 3-1: مكونات الدارة الكهربائية للآلة التفريز العديدة.

❖ المكونات الكهربائية لآلة التحكم العدي ذات ثلاث محاور:
أ- علبة التغذية:

وحدة إمداد الطاقة (باللغة الإنجليزية power supply، غالبًا ما يتم اختصارها إلى PSU)، أو ببساطة مصدر الطاقة، لجهاز الكمبيوتر. يكون مصدر الطاقة مسؤولاً عن تحويل الجهد الكهربائي الرئيسي المتناوب 230V بتردد 50Hz المعمول به عموماً في الجزائر إلى الفولتيات ذات تيار مستمر DC بقيم مختلفة (12V، 5V و3,3V)، المتوافقة مع الدوائر الإلكترونية المخصصة لها. علاوة على ذلك، فإن قيم الفولتية للطاقة يرمز لها بالألوان حيث: الأصفر 12V، الأحمر 5V، البرتقالي 3,3V، الأزرق 12V- والأسود هو الأرضي.



شكل 3-2: علبة التغذية.

ب-المحرك الخطوي 17HS4401:

المحرك الخطوي 17HS4401 هو نوع من المحركات ثنائية القطبية (Bipolar) ذات الدقة العالية والمستخدم عادة في تطبيقات الأتمتة والتحكم الآلي. يتكون المحرك من جزئين رئيسيين: الجزء الثابت الذي يتكون من ملفات كهربائية والجزء الدوار الذي يتكون من مغناطيسات دائمة. حيث نسبة دورانه القصوى أكبر من أو تساوي 1900 نبضة في الثانية حيث كل خطوة تقدر بـ $1,8^\circ$ مما يعني أن كل دورة (360°) تقسم إلى 200 خطوة [34].

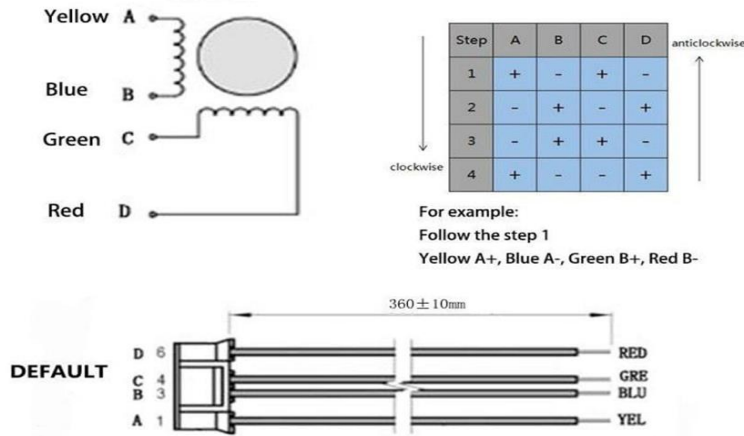


شكل 3-3: المحرك الخطوي 17HS4401.

• تركيب والتحكم في المحرك الخطوي:

يتم التحكم في حركة المحرك الخطوي عن طريق توصيله بمصدر تيار كهربائي وتزويده بإشارات كهربائية متتابعة تغذي الملفات الكهربائية بالتيار الكهربائي عن طريق متحكمات A4988 بواسطة دبابيسه الأربعة (الأحمر، الأخضر، الأصفر و الأزرق) حيث كل دبوسين يشكلان قطب: الأحمر-الأخضر يشكلان القطب A والأصفر-الأزرق القطب B، مما يؤدي إلى إنتاج حقل مغناطيسي يتفاعل مع المغناطيسات الدائمة ويدفع الجزء الدوار للمحرك [35].

2-Phase 4-Wire(Bipolar) Wiring



شكل 3-4: خصائص و تركيب المحرك الخطوي 17HS4401 [35].

الجدول 3-2: الخصائص الفنية للمحرك الخطوي 17HS4401 [36].

الخاصية	زاوية الخطوة (deg)	تيار الطور (A)	مقاومة الطور (Ω)	القطر (mm)
القيمة	1,8	1,7	1,5	5
الخاصية	عزم الدوران (N.cm)	مقاومة العزل ($M\Omega$)	عدد الأسلاك (no)	وزن المحرك (g)
القيمة	40	100	4	280

ج-متحكمات A4988:

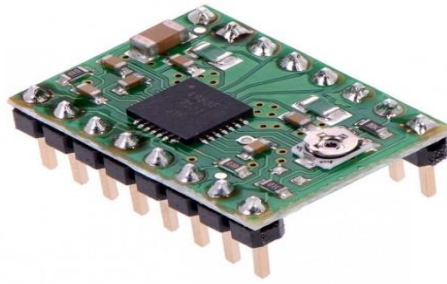
المتحكم A4988 هو دائرة متكاملة توفر تحكماً سلساً ودقيقاً في المحركات الخطوية ثنائية القطب،

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التحرير بثلاثة محاور.

يستخدم دائرة تشوبر لتنظيم التيار الجاري عبر لفات في تسلسل معين، يعتمد هذا النهج على تقسيم كل خطوة في الحركة إلى سلسلة من الخطوات الأصغر، والتي يمكن التحكم فيها بدقة أكبر.

يمكن للمتحكم A4988 التحكم بتيار المحرك الذي تصل شدته إلى 2A لكل لفة، ويتضمن حماية الإغلاق الحراري المدمج لمنع التلف الناتج عن الحرارة الزائدة. كما أنه يدعم المايكروستينغ الذي يسمح بحركة محرك أكثر سلاسة ودقة، ويملك حدود التيار القابلة للتعديل.

يتوافق المتحكم A4988 مع مجموعة متنوعة من المتحكمات المبرمجة، بما في ذلك منصة أردوينو مما يجعله خيارًا جيدًا للتطبيقات التي تتطلب تحكما سلسا ودقيقا في المحركات الخطوية، كما أنه سهل الاستخدام، مما يجعله خيارا مثاليا للمشاريع الصناعية والتجارية. فهو يستخدم عادة في الطابعات الثلاثية الأبعاد، وآلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي، والروبوت والتطبيقات الأخرى التي تتطلب تحكما دقيقا في المحركات الخطوية [37].



شكل 3-5: متحكمات A4988 [38].

يحتوي المتحكم A4988 على ثلاثة مدخلات لتحديد الدقة (حجم الخطوة) وهي MS1 و MS2 و MS3. من خلال تحديد مستويات منطقية مناسبة لهذه الأطراف، يمكن ضبط المحرك الخطوي على أحد دقة الخطوات الخمس [38].

الجدول 3-3: دقة التشغيل الجزئي [38].

دقة التشغيل الجزئي	MS1	MS2	MS3
خطوة كاملة	منخفض (Low)	منخفض (Low)	منخفض (Low)
نصف خطوة	مرتفع (High)	منخفض (Low)	منخفض (Low)
ربع خطوة	منخفض (Low)	مرتفع (High)	منخفض (Low)
ثمان خطوة	مرتفع (High)	مرتفع (High)	منخفض (Low)
1/16 خطوة	مرتفع (High)	مرتفع (High)	مرتفع (High)

❖ الخصائص الكهربائية للمتكم A4988:

تأخذ الخصائص الكهربائية المدونة في الجداول 3-4، 3-5 و 3-6 [39] عند درجة الحرارة المحيطة $T_A=25^\circ\text{C}$ ، ومصدر جهد $V_{BB}=35\text{V}$ ، أما بالنسبة لمواصفات تيار الإدخال والإخراج، فيُعرّف التيار السلبى على أنه التيار الخارج من دبوس الجهاز المحدد (التيار المصدري). وهذه البيانات النموذجية مخصصة لتقديرات التصميم الأولي فقط، وتفترض ظروف التصنيع والتطبيق المثالية. قد يختلف الأداء بالنسبة للوحدات الفردية، ضمن حدود الحد الأقصى والحد الأدنى المحددين.

الجدول 3-4: أرجل التحكم المنطقي.

الميزات	الرموز	شروط الاختبار	الأدنى	النوع	الأعلى	الوحدة
جهد الإدخال المنطقي	$V_{IN(1)}$		$V_{DD}\times 0.7$	-	-	V
	$V_{IN(0)}$		-	-	$V_{DD}\times 0.3$	V
تيار الإدخال المنطقي	$I_{IN(1)}$	$V_{IN}=V_{DD}\times 0.7$	-20	<1.0	20	μA
	$I_{IN(0)}$	$V_{IN}=V_{DD}\times 0.3$	-20	<1.0	20	μA
تحديد الخطوة الصغيرة (الميكروستيب)	RMS1	دبوس MS1	-	100	-	k Ω
	RMS2	دبوس MS2	-	50	-	k Ω
	RMS3	دبوس MS3	-	100	-	k Ω
تذبذب المدخلات المنطقية	$V_{HYS(IN)}$	كنسبة مئوية من V_{DD}	5	11	19	%
زمن الفراغ	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
زمن التوقف الثابت	t_{OFF}	OSC= V_{DD} or GND	20	30	40	μs
		ROSC=25k Ω	23	30	37	μs
نطاق جهد الإدخال المرجعي	V_{REF}		0	-	4	V
تيار المدخلات المرجعية	I_{REF}		-3	0	3	μA
خطأ مستوى التيار المحدد	err1	$V_{REF}=2\text{V}, \%I_{TripMAX}=38.27\%$	-	-	± 15	%
	err1	$V_{REF}=2\text{V}, \%I_{TripMAX}=70.71\%$	-	-	± 5	%
	err1	$V_{REF}=2\text{V}, \%I_{TripMAX}=100.00\%$	-	-	± 5	%
الوقت الفاصل (زمن انتقال التقاطع)	t_{DT}		100	475	800	ns

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التصوير بثلاثة محاور.

الجدول 3-5: خصائص الحماية للمتحكم.

الميزات	الرموز	شروط الاختبار	الأدنى	النوع	الأعلى	الوحدة
عتبة حماية التيار الزائد	I _{OC} PST		2.1	-	-	A
درجة حرارة الإغلاق الحراري	T _{TSD}		-	165	-	°C
الانحراف الحراري لإيقاف التشغيل	T _{TSD} HYS		-	15	-	°C
قفل الجهد المنخفض VDD	V _{DD} UVLO	V _{DD} مرتفع	2.7	2.8	2.9	V
تأخير قفل الجهد المنخفض VDD	V _{DD} UVLOHYS		-	90	-	mV

الجدول 3-6: أرجل الإخراج المتحكم فيها من طرف البرنامج.

الميزات	الرموز	شروط الاختبار	الأدنى	النوع	الأعلى	الوحدة
نطاق جهد مصدر الحمل	V _{BB}	التشغيل	8	-	35	V
	V _{BB}	أثناء وضع السكون	0	-	35	V
نطاق جهد الإمداد المنطقي	V _{DD}	التشغيل	3	-	5.5	V
مقاومة التشغيل الخارجية	R _{DS} ON	موصل المصدر, I _{OUT} =-1.5A	-	320	430	mΩ
		موصل الخزان, I _{OUT} =1.5A	-	320	430	mΩ
جهد الصمام الثنائي	V _F	ثنائي المصدر, I _F = -1.5A	-	-	1.2	V
		ثنائي الخزان, I _F = 1.5 A	-	-	1.2	V
تيار إمداد المحرك	I _{BB}	f _{PWM} <50kHz	-	-	4	mA
		التشغيل، تعطيل المخرجات	-	-	2	mA
		وضع السكون	-	-	10	μA
تيار الإمداد المنطقي	I _{DD}	f _{PWM} <50kHz	-	-	8	mA
		المخرجات معطلة	-	-	5	mA
		وضع السكون	-	-	10	μA

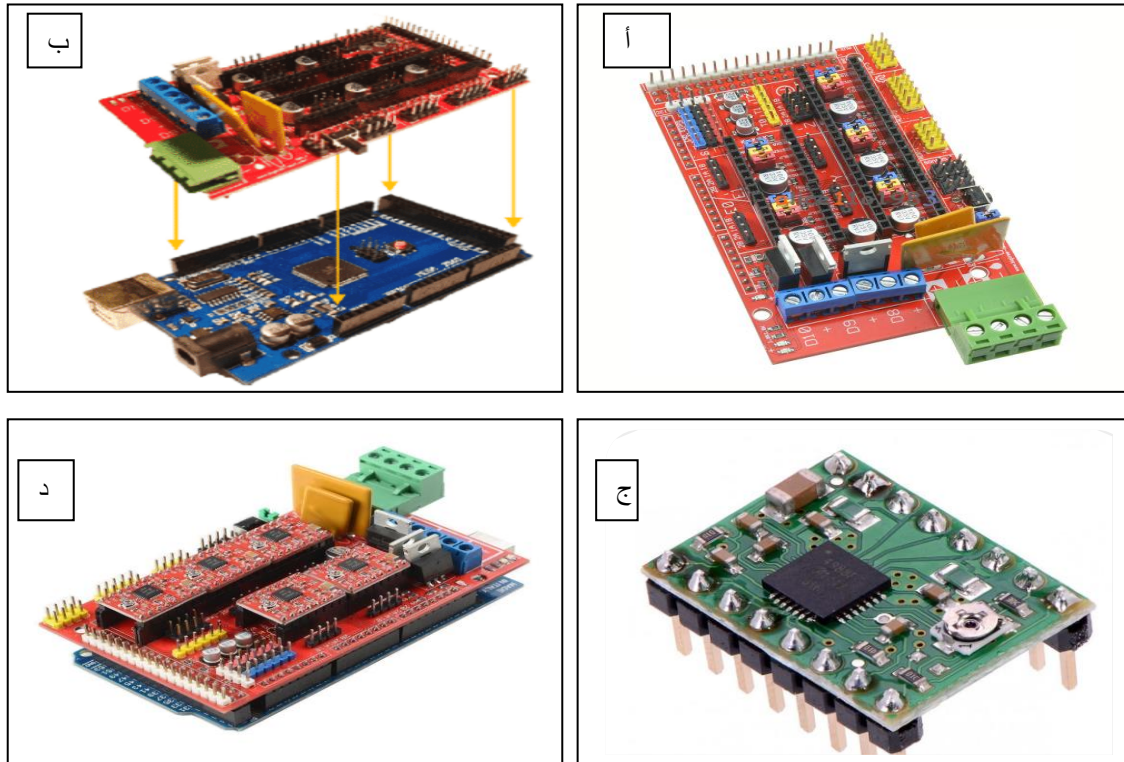
د- بطاقة RAMPS 1.4:

بطاقة RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MegaPololu Shield) هي بطاقة توسعة مفتوحة المصدر مصممة للطابعات ثلاثية الأبعاد RepRap. البطاقة مصممة خصيصًا للاستخدام مع Arduino Mega 2560، وتوفر منصة متعددة الاستخدامات للتحكم في مكونات مختلفة للطابعة ثلاثية الأبعاد، وبها عدة منافذ

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التفرير بثلاثة محاور.

مخصصة لتركيب المتحكمات من نوع A4988 أو DRV8825 من Pololu (شركة تصنيع إلكترونيات أمريكية)، التي تسمح بالتحكم في المحركات الخطوية لمحاور الطابعة ثلاثية الأبعاد. كما أنها تحتوي على موصلات للمراوح، وأجهزة استشعار درجة الحرارة، وشاشة LCD، وأجهزة الاستشعار الميكانيكية لنهاية المسار [40].

تحتوي البطاقة على واجهة برشام تسهل تركيب وتوصيلات الطابعة. تأتي مع موصلات، وأطراف، وصمامات لتحسين السلامة الكهربائية. تستخدم RAMPS 1.4 مزيجًا من MOSFETs و relays للتحكم في الطاقة المقدمة إلى المكونات المختلفة مثل المحركات والمراوح [39]. الشكل 3-6 يمثل تركيب المتحكمات (ج) على لوحة Ramps 1.4 [41] (أ) التي بدورها تتركب على لوحة Arduino Mega 2560 (ب) [41]، (د) [42].



شكل 3-6: طريقة تركيب الخلايا الإلكترونية للماكينة.

هـ- شريحة الأردوينو المستخدمة في المشروع Arduino Mega 2560 Rev3:

لوحة أردوينو Mega 2560 هي لوحة تطوير نموذجية مخصصة لبناء تطبيقات واسعة النطاق مقارنةً بالوحدات صنع أخرى من الأردوينو. تحتوي اللوحة على متحكم ATmega2560، والذي يعمل بتردد 12MHz.

الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماخينة التفرير بثلاثة محاور.

التوصيل مع الكمبيوتر يتم بتقنية USB، التيار المغذي لها يتراوح بين 5V إلى 12V والذي يتم إمداده بواسطة محول AC/DC خارجي (الجدول 3-7) [43].

تحتوي اللوحة على 16 مدخلاً تناظرياً (الجدول 3-8) و54 رجل إدخال/إخراج رقمي (الجدول 3-9)، و4 UARTs منفذ تسلسلي للأجهزة، واتصال USB، ومقبس طاقة، ورأس ICSP، وزر إعادة الضبط. تصل طاقة تخزين الأريونو 2560 mega (شكل 3-7) إلى 256KB، منها 8KB مستخدمة بواسطة محمل الإقلاع (bootloader) و4KB لذاكرة EEPROM و8KB لذاكرة SRAM الداخلية. تحتوي الشريحة على عداد الوقت الحقيقي مع مذبذب (quartz) منفصل، وأربع قنوات PWM 8-bit، إضافة إلى أربع وحدات تحكم/واجهات SPI تسلسلية USART قابلة للبرمجة، وواجهة التسلسل SPI للتحكم/الطرفيات. كما يتميز بوجود أنواع كثيرة من المعالجات التي تصنف على حسب نوع المعالجة وخصائصها، منها ATmega16U2، PICxxx، intel... الخ. معظم هذه المعالجات لديها خصائص (وظائف) تمتاز بها كوظيفة الخمول من أجل توفير الطاقة والحفاظ على مدة حياة الجهاز [43].

❖ نظرة عامة وظيفية:

الأريونو عبارة عن نظام متكامل يتكون من بيئة تطوير برمجية ومن لوحة إلكترونية متعددة المهام، حيث تحتوي دارتها على عدة منافذ (شكل 3-7) لتوصيل المكونات الإلكترونية إلى المتحكم المبنية في الجدولين 3-8 و3-9 [43].

الجدول 3-7: طوبولوجيا لوحة الأريونو 2560 mega [43].

الوصف	الترميز	الوصف	الترميز
مكثف رقاقة	F1	موصل USB B	USB
موصل مقبس الطاقة	X1	منظم خطي 5V	IC1
شريحة ATmega16U	IC4	ثقوب مطلية	JP5
مكثف كهربائي من الألومنيوم	PC2	مكثف كهربائي من الألومنيوم	PC1
الصمام الثنائي لأغراض عامة (Diode)	D3	مقوم متعدد الأغراض	D1
شريحة ATmega2560	IC3	محث ثابت	L2
LED أخضر	ON	رأس الموصل	ICSP
موصل	XIO	مصفوفة المقاومات	RN1

الدبوس	الوظيفة	النوع	الوصف
1	NC	NC	غير متصل
2	IOREF	IOREF	مصدر جهد المنطق الرقمي -V متصل بـ 5V
3	إعادة ضبط	إعادة ضبط	إعادة ضبط
4	+3V3	طاقة	+3V3 مسار الطاقة
5	+5V	طاقة	+5V مسار الطاقة
6	GND	طاقة	أرضي
7	GND	طاقة	أرضي
8	VIN	طاقة	مدخلات الجهد
9	A0	تناظري	مدخل تناظري GPIO/0
10	A1	تناظري	مدخل تناظري GPIO/1
11	A2	تناظري	مدخل تناظري GPIO/2
12	A3	تناظري	مدخل تناظري GPIO/3
13	A4	تناظري	مدخل تناظري GPIO/4
14	A5	تناظري	مدخل تناظري GPIO/5
15	A6	تناظري	مدخل تناظري GPIO/6
16	A7	تناظري	مدخل تناظري GPIO/7
17	A8	تناظري	مدخل تناظري GPIO/8
18	A9	تناظري	مدخل تناظري GPIO/9
19	A10	تناظري	مدخل تناظري GPIO/10
20	A11	تناظري	مدخل تناظري GPIO/11
21	A12	تناظري	مدخل تناظري GPIO/12
22	A13	تناظري	مدخل تناظري GPIO/13
23	A14	تناظري	مدخل تناظري GPIO/14
24	A15	تناظري	مدخل تناظري GPIO/15

الوصف	النوع	الوظيفة	دبوس
مدخل رقمي I2C/21 خط البيانات	مدخل رقمي / I2C	D21/SCL	1
مدخل رقمي I2C/20 خط البيانات	مدخل رقمي / I2C	D20/SDA	2
الجهد المرجعي التناظري	رقمي	AREF	3
أرضي	طاقة	GND	4
مدخل رقمي GPIO/13	رقمي / GPIO	D13	5
مدخل رقمي GPIO/12	رقمي / GPIO	D12	6
مدخل رقمي GPIO/11	رقمي / GPIO	D11	7
مدخل رقمي GPIO/10	رقمي / GPIO	D10	8
مدخل رقمي GPIO/9	رقمي / GPIO	D9	9
مدخل رقمي GPIO/8	رقمي / GPIO	D8	10
مدخل رقمي GPIO/7	رقمي / GPIO	D7	11
مدخل رقمي GPIO/6	رقمي / GPIO	D6	12
مدخل رقمي GPIO/5	رقمي / GPIO	D5	13
مدخل رقمي GPIO/4	رقمي / GPIO	D4	14
مدخل رقمي GPIO/3	رقمي / GPIO	D3	15
مدخل رقمي GPIO/2	رقمي / GPIO	D2	16
مدخل رقمي GPIO/1	رقمي / GPIO	D1/TX0	17
مدخل رقمي GPIO/0	رقمي / GPIO	D0/Tx1	18
مدخل رقمي GPIO/14	رقمي / GPIO	D14	19
مدخل رقمي GPIO/15	رقمي / GPIO	D15	20
مدخل رقمي GPIO/16	رقمي / GPIO	D16	21
مدخل رقمي GPIO/17	رقمي / GPIO	D17	22
مدخل رقمي GPIO/18	رقمي / GPIO	D18	23
مدخل رقمي GPIO/19	رقمي / GPIO	D19	24
مدخل رقمي GPIO/20	رقمي / GPIO	D20	25
مدخل رقمي GPIO/21	رقمي / GPIO	D21	26

و-محرك DC:

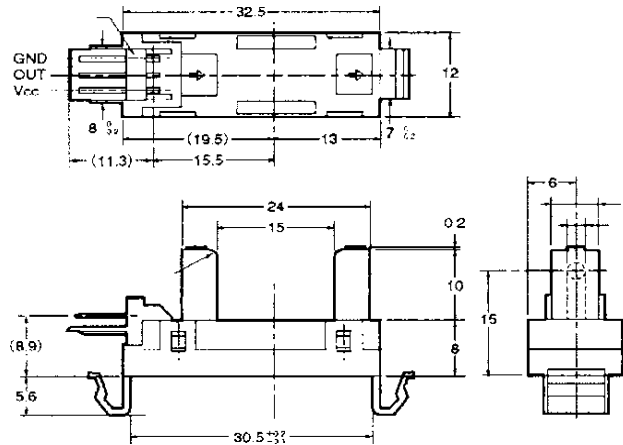
يعد المحرك ذو التيار المستمر (direct curent)، الذي يعرف اختصاراً باسم محرك DC، أحد أنواع المحركات الكهربائية التي تستخدم بشكل أساسي لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. يعتمد مغزل هذا المشروع على محرك ذو استطاعة 180W، أي 12V و 15A قطره 40mm، طوله 65mm وقطر المغزل 7mm.

ي-الملتقط الضوئي EE-SX460-P6:

لتحديد الحد الأقصى للانتقال على المحاور الثلاث نستعمل الملتقط الضوئي EE-SX460-P6 (شكل 3-8). يتميز هذا الملتقط بكونه يثبت بسهولة في مكانه بدون الحاجة إلى براغي أو أدوات خاصة، وذلك على ألواح بسبك 0.8mm إلى 1.6mm مع فتحة بعرض 15mm (شكل 3-9) تسمح بسهولة تمرير الكابلات والأسلاك، كما تتصل إشارات خرج دائرة تكامل الصورة بشكل مباشر بـ C-MOS و TTL [45]. خصائص وشروط عمل هذا الملتقط موجودة ومعرفة في الجدول 3-10، الجدول 3-11 والشكل 3-10 [45].



شكل 3-8: الملتقط الضوئي EE-SX460-P6 [46].



شكل 3-9: أبعاد الملتقط الضوئي EE-SX460-P6 [45].

الفصل الثالث: تسمية وصناعة ماكبنة التفرير بثلاثة محاور.

الجدول 3-10: المميزات كهربائية للملتقط الضوئي EE-SX460-P6 [45].

المقدار	الرمز	القيمة
الجهد الكهربائي للمنبع	Vcc	7V
جهد الخرج	Vout	28V
تيار الخرج	Iout	16mA
تبديد طاقة الخرج المسموح به	Pout	250mW
درجة حرارة التشغيل المحيطة	Topr	-20°C إلى 75°C
درجة حرارة التخزين	Tstg	-40°C إلى 85°C
درجة حرارة اللحام	Tsol	---

❖ المواصفات الكهروضوئية :

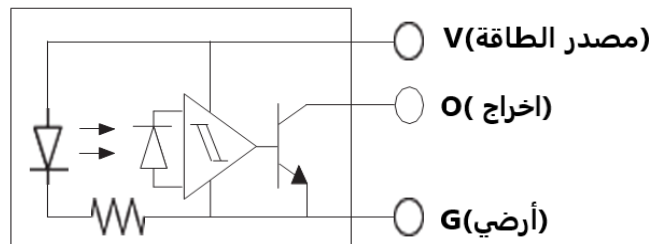
تأخذ القيم الموضحة في الجدول 3-11 عند شروط ($T_a=25^\circ\text{C}$ ، $V_{CC}=5V\pm 10\%$) [45].

الجدول 3-11: المواصفات الكهروضوئية للملتقط الضوئي [45].

المقدار	الرمز	القيمة	الحالة
استهلاك التيار	Icc	35mA كحد أقصى	مع وبدون سقوط الضوء.
جهد الخرج المنخفض	Vol	0.3V كحد أقصى	تيار الخرج=16mA مع سقوط الضوء.
جهد الخرج المرتفع	Voh	($V_{CC}\times 0.9$) كحد أدنى	جهد الخرج=جهد التيار المستمر بدون سقوط الضوء، مقاومة الحمل=47kΩ.
تردد الاستجابة	F	3KHz كحد أدنى	جهد الخرج=جهد التيار المستمر، مقاومة الحمل=47kΩ.

هذا النوع من الملتقطات الضوئية لديه ثلاث دبابيس: اثنين على الطرفين للتغذية بالكهرباء و الذي في

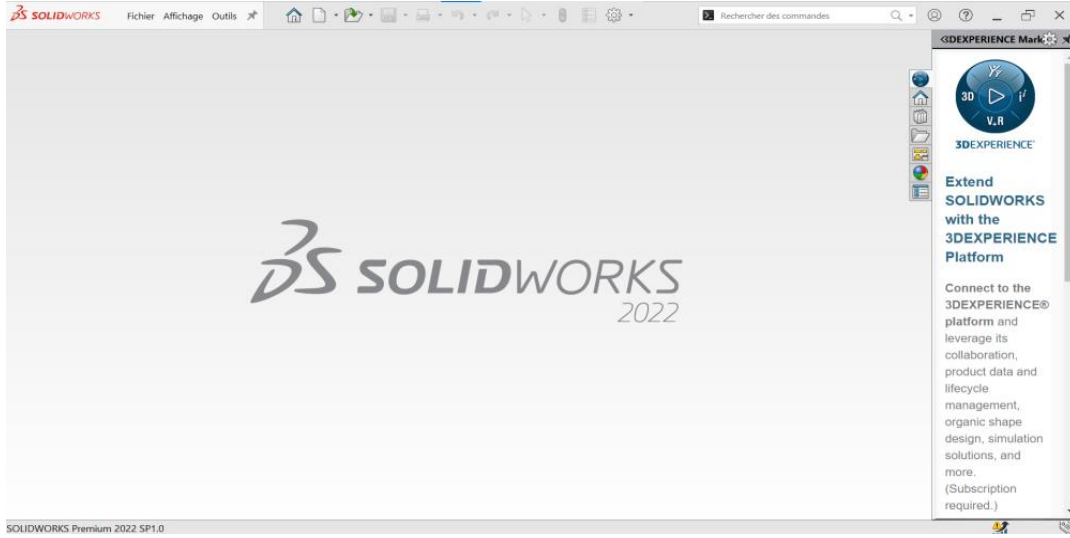
الوسط لإخراج الإشارة (شكل 3-10).



شكل 3-10: الدارة الداخلية للملتقط الضوئي EE-SX460-P6 [45].

3-3- تصميم الآلة ببرنامج SolidWorks:

برنامج SolidWorks هو برنامج تصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) ثلاثي الأبعاد يستخدمه المهندسون والمصممون لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد وإعداد مختلف الرسومات لمختلف المنتجات، ونظرا لسهولة البرنامج النسبية تم اعتماده لتصميم ماكينة التفريز ذات التحكم العددي بالحاسوب بثلاثة محاور الخاصة بهذه المذكرة، حيث تم استخدام إصدار 2022 من البرنامج (شكل 3-11) لتنفيذ هذه العملية.



شكل 3-11: برنامج SolidWorks إصدار 2022.

3-3-1- محاور الحركة:

تحتوي هذه الماكينة على الثلاث محاور التالية:

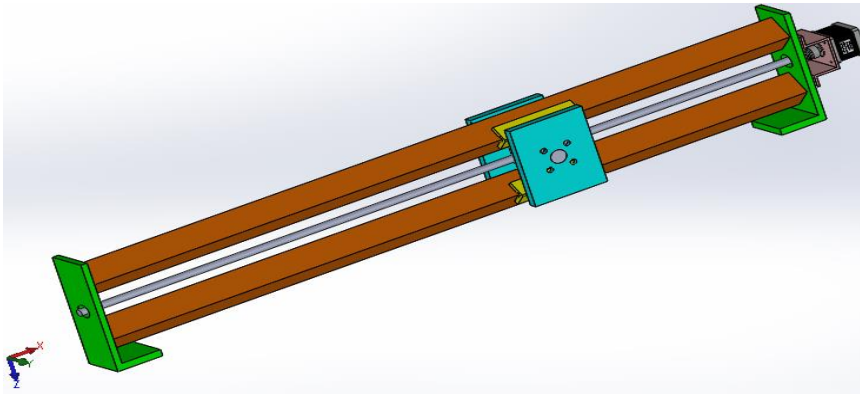
أ- المحور X:

يبين كل من الجدول 3-12 القطع المكونة للمحور X (شكل 3-12 و 3-13) والشكل 3-14 منظور مفكك لمكوناته. يعتمد جميع هذه القطع على كيفية ونوع الحركة الخطية التي تضمنها الوصلة الحلزونية (القطعة 9) بين القضيب الملولب 2 ودعامة المنزلقات (القطعتين 4)، التي بدورها مثبت عليها بواسطة اللحام المنزلقات الأفقية (القطع 3) حيث أسطحها الداخلية لها إسناد مستوي مع القطعتين 1 (دليل الحركة الخطية الأفقية). القطعتان 1 متوازيتان ببعد 40mm، بواسطة براغي نوع M8 تدمجان مع القطعتين 5 (دعامة دليلا الحركة الخطية الأفقية). المحرك الخطوي 8 موصول مع القضيب الملولب بواسطة القارنة الحلزونية 6 لنقل الحركة للأجزاء المتحركة.

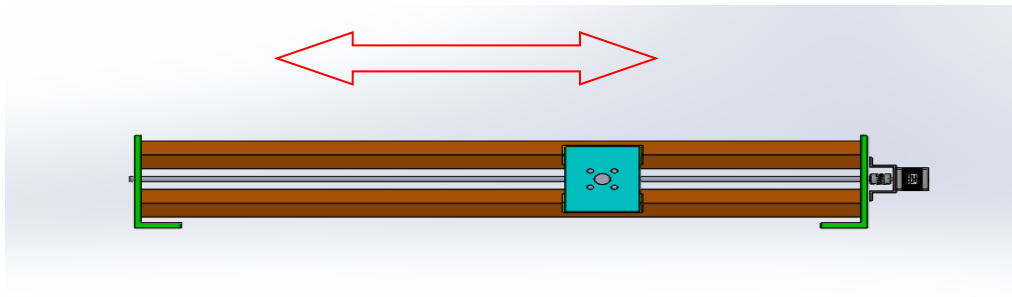
الفصل الثالث: تصميم وصناعة ماكينة التفريز بثلاثة محاور.

الجدول 3-12: القطع المكونة للمحور X (أنظر الملاحق).

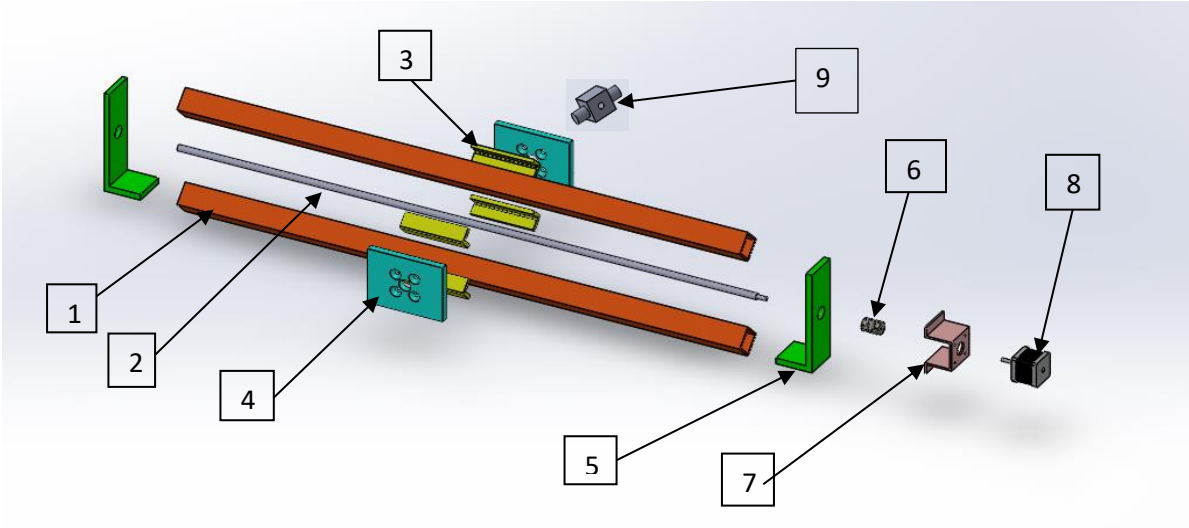
الوصف	القطعة	العدد	الرقم
تصنع محليا	دليل الحركة الخطية الأفقية (Horizontal Linear Guides)	2	1
يشتري	قضيب ملولب أفقي (Horizontal Threaded Rod)	1	2
تصنع محليا	منزلقات أفقية (Horizontal Slides)	4	3
يصنع محليا	دعامة المنزلقات (Slides Supports)	2	4
يصنع محليا	دعامة دليل الحركة الخطية الأفقية (Horizontal Linear Guide Supports)	2	5
تشتري	قارن حلزونية (Helical Coupling 4-6,3mm)	1	6
تصنع محليا	دعامة المحرك (Motor support)	1	7
يشتري	محرك Nema17	1	8
يصنع	وصلة لولبية	1	9



شكل 3-12: مسقط منظوري مجمع للمحور X.



شكل 3-13: مسقط أمامي للمحور X يوضح اتجاه الحركة.

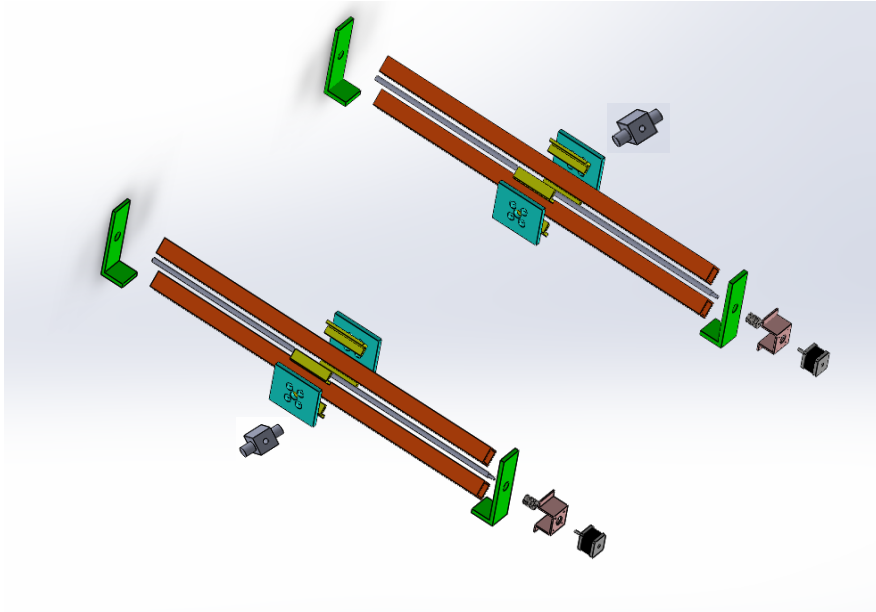


شكل 3-14: مسقط منظوري مفكك للمحور X.

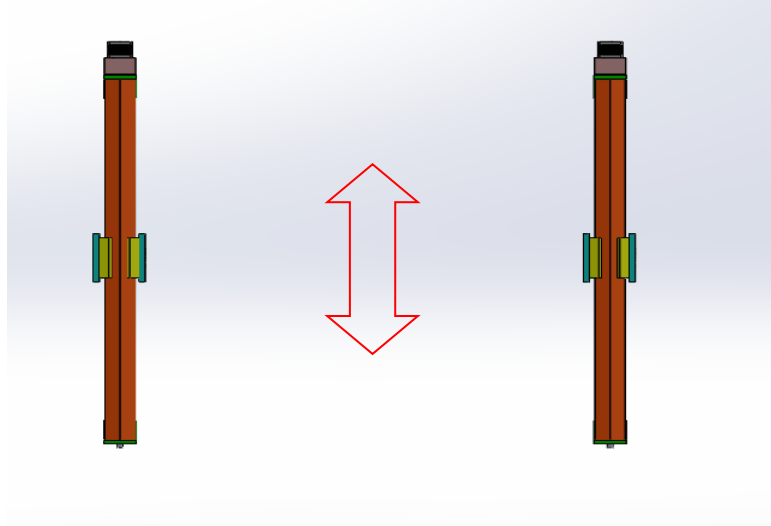
ب- المحور Y:

لتجنب تأثير الانحناء الناتج عن قوى القطع وثقل الحمل ولضمان حركة دقيقة على المحور Y نستعمل ميكانيزمين مماثلين للمحور X.

يحتوي هذا المحور على نفس القطع المكونة للمحور X (شكل 3-14) مع مضاعفة العدد (شكل 3-15). تكون حركته (شكل 3-16) عبارة عن حركة خطية أفقية إلى الأمام والخلف.



شكل 3-15: مسقط منظوري مفكك للمحور Y.

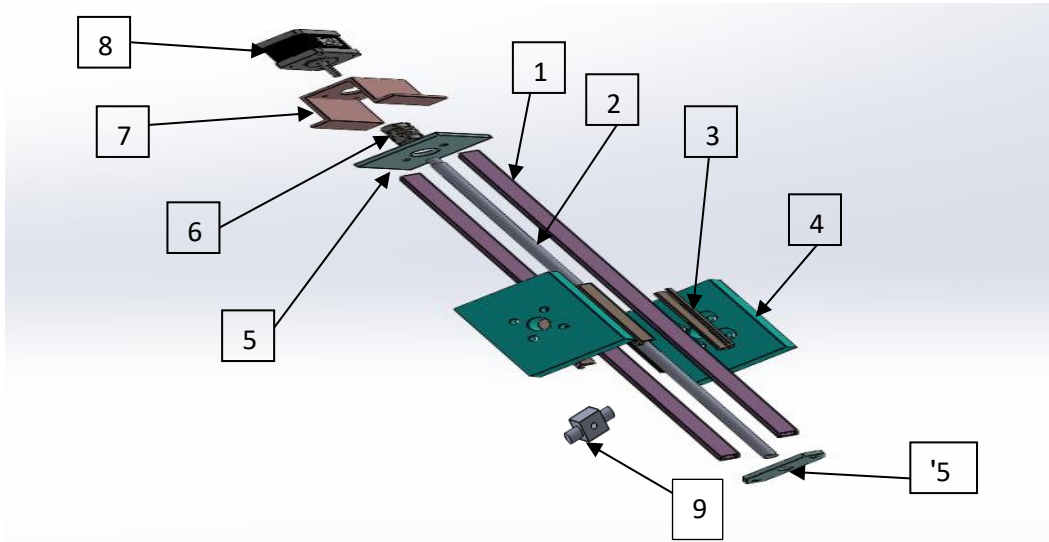


شكل 3-16: مسقط علوي للمحور Y يوضح اتجاه الحركة.

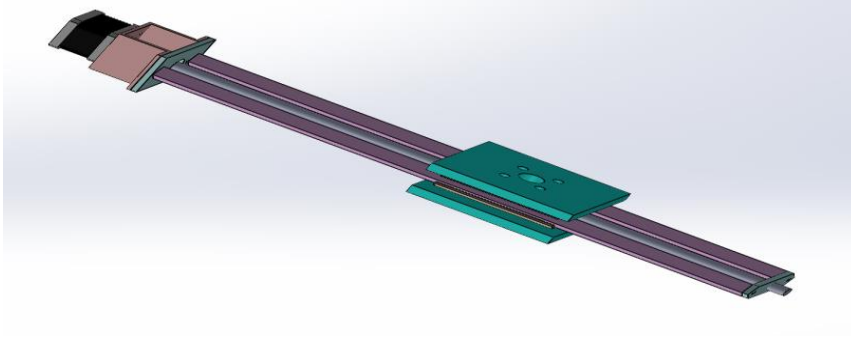
ج- المحور Z:

يبين الشكل 3-17 القطع المكونة للمحور Z تأخذ نفس أشكال المحور X ما عدا دعائم دليل الحركة (القطعة 5 و5') والأبعاد (أنظر الملاحق).

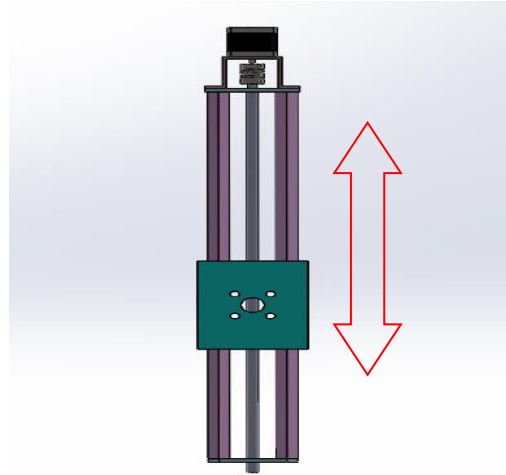
حركة المحور Z (شكل 3-18) عبارة عن حركة خطية عمودية نحو الأعلى والأسفل (شكل 3-19) لمحرك حركة القطع وحامل الأداة.



شكل 3-17: مسقط منظوري مفكك للمحور Z.



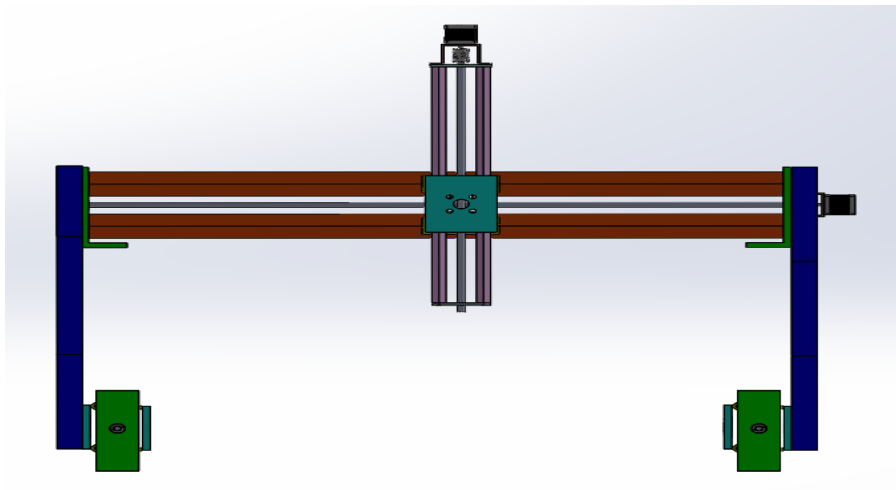
شكل 3-18: مسقط منظوري مجمع للمحور Z.



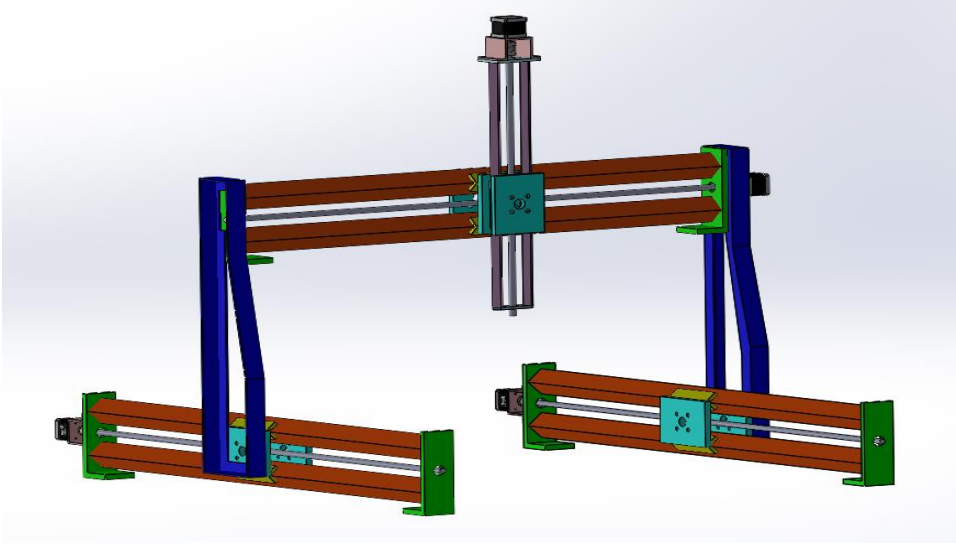
شكل 3-19: مسقط أمامي للمحور Z يوضح اتجاه الحركة.

3-3-2-تجميع المحاور الثلاثة:

يتم تجميع المحاور الثلاث X و Y و Z أشكالها على الترتيب 3-13، 3-16، 3-19 للحصول على الهيكل الحركي للآلة (شكل 3-20، شكل 3-21).



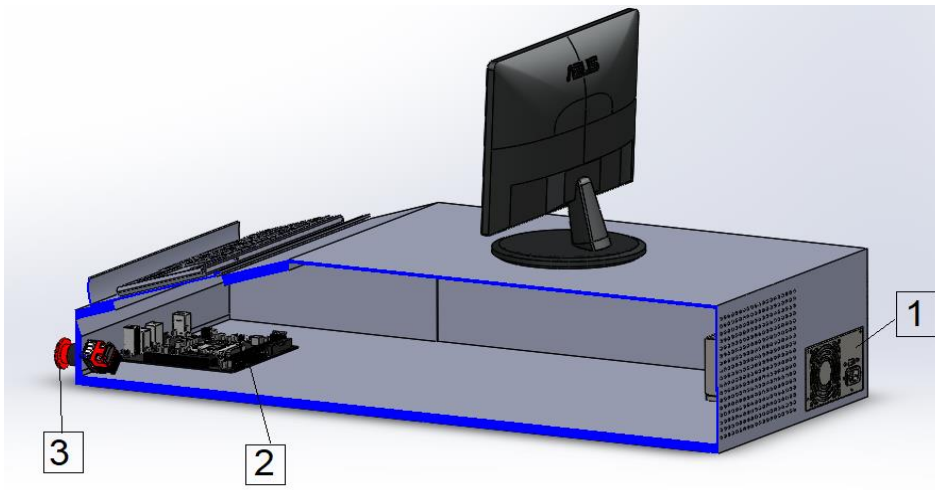
شكل 3-20 مسقط أمامي للهيكل الحركي للآلة.



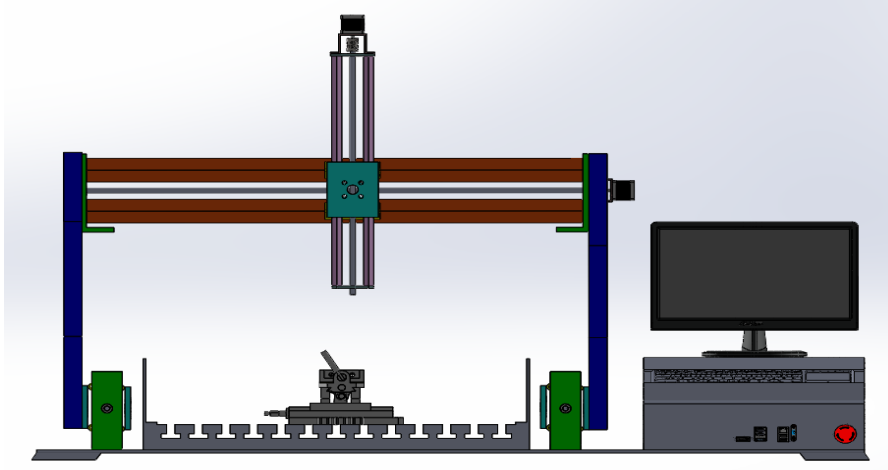
شكل 3-21: مسقط منظوري مجمع للهيكل الحركي للآلة.

3-3-3- إضافة باقي القطع المكونة للآلة:

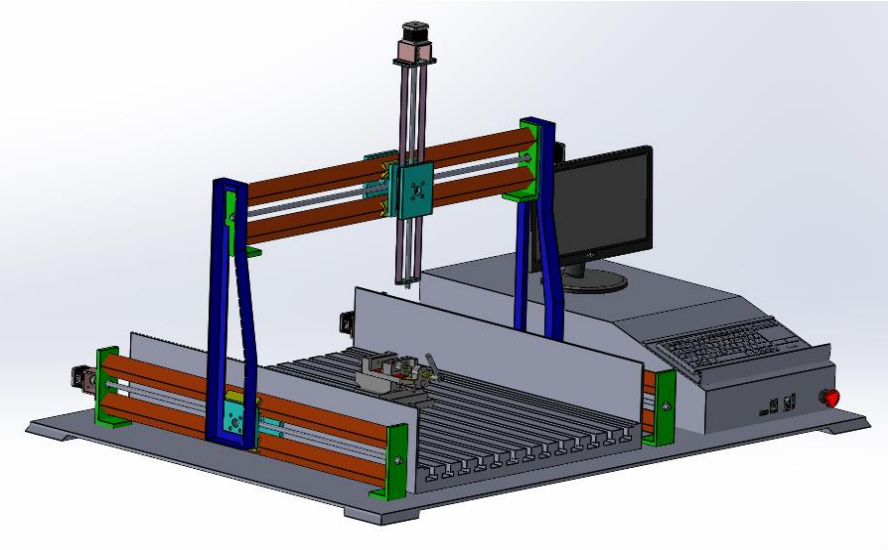
الهيكل الحركي للآلة يركب على قاعدة من الفولاذ التي تحمل صينية (tray) حاملة الملزمة (حامل القطعة)، بعد تجميع الهيكل الحركي للآلة يتم إضافة كل من القاعدة والخزانة الكهربائية (شكل 3-22) التي تحتوي داخلها علبة التغذية (1) والدارة الالكترونية (2) و زر التشغيل (3)، كما تحتوي الماكينة على شاشة تعمل بخاصية اللمس ولوحة مفاتيح، ليصبح بذلك تصميم ماكينة التفريز ذات التحكم العددي بالحاسوب ذو ثلاثة محاور الخاص بهذه المذكرة مكتملا (شكل 3-23، شكل 3-24).



شكل 3-22: الخزانة الكهربائية.



شكل 3-23: مسقط أمامي للآلة.



شكل 3-24: مسقط منظوري للآلة.

3-4-4 خاتمة:

تضمن هذا الفصل تصميم ماكينة التحكم العددي بالحاسوب CNC وتصنيعها (إذا توفرت الإمكانيات والوقت). في البداية، تم تفصيل عناصر الجزء الكهربائي والإلكتروني من حيث الخصائص الكهربائية والفيزيائية وغيرها، مع شرح طريقة توصيلها. ثم تم تصميم الأجزاء المكونة للآلة وتجميعها بواسطة برنامج SolidWorks وتصنيعها نسبياً، محققين بذلك الهدف من هذه المذكرة المتمثل في إنجاز نموذج مصغر لماكينة التفريز CNC بثلاثة محاور.

الفصل الرابع:

إعداد وبرمجة الآلة.

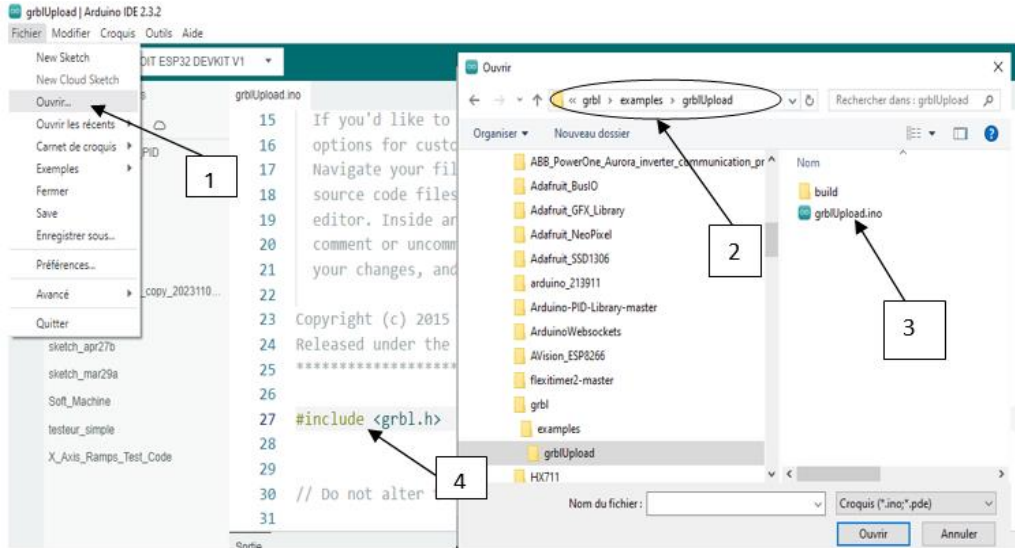
4-1- مقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى تقديم نظرة عامة حول الخطوات الأساسية لبرمجة لوحة Arduino Mega2560 المستعملة في مشروع التخرج، باستعمال برنامج arduino IDE 2.3.2 الذي يمكن تحميله من موقعه [47] وتسطيحه مجاناً، كما يتضمن هذا الفصل كيفية ضبط البرنامج المستخدم للتحكم في الآلة GrblGru الموجود والمفتوح المصدر [48]، والذي يمكن إعداده وإجراء تعديلات عليه ليتوافق مع التصميم، بمعنى فضاء تشغيل الآلة.

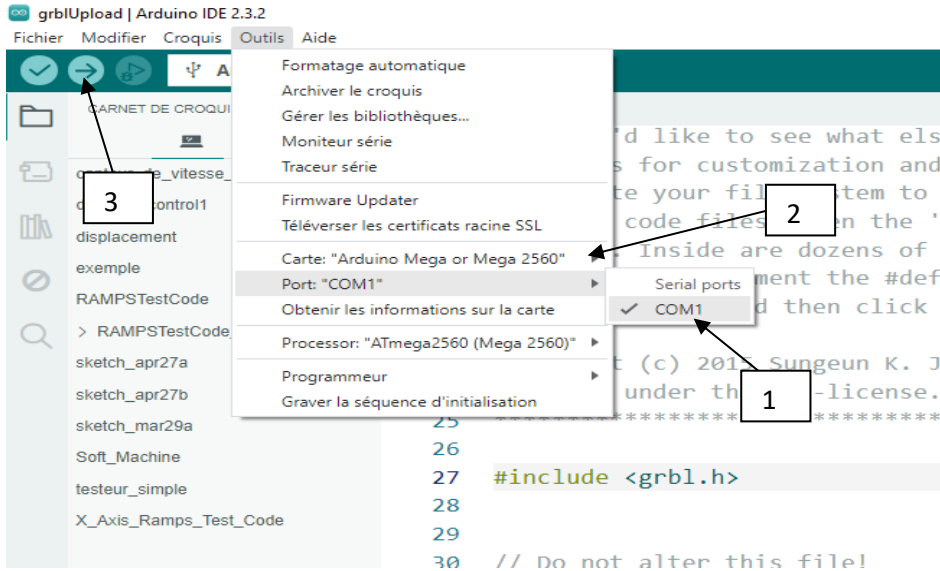
4-2- برمجة الأردوينو:

بواسطة برنامج arduino IDE 2.3.2 يتم فتح ملف grblUpload.ino الموجود في الملف المضغوط grbl-Mega-edge.zip الذي تم تحميله من موقعه الإلكتروني [49] وهو مفتوح المصدر، حيث عند فك الضغط نجده متكون من 3 مجلدات، نختار مجلد grbl الذي يتكون من مجلد و45 ملف كل منها يحتوي على أوامر وتعليمات في شكل لوغارتميات مكتوبة بلغة C++. ننقل بعدها إلى المجلد الذي تحت إسم example ثم إلى الملف grblUpload.ino لحررق برنامج العمل grbl على لوحة الأردوينو.

الملف المسمى grblUpload يستخدم لتحميل كود Grbl على لوحة Arduino، يتكون من تعليمة برمجية واحدة (`#include <grbl.h>`) حيث يستدعي هذا الأمر مكتبة Grbl، والتي بدورها عبارة عن برنامج يستحضر جميع المكتبات التي تحتوي على جميع الوظائف اللازمة للتحكم في لوحة Arduino. ليتم استخدام هذا الملف يجب التأكد أولاً من استيراد كود مصدر Grbl إلى برنامج Arduino IDE، تتم هذه الخطوات بإتباع المراحل من 1 إلى 4 المبينة في الشكل 4-1. يتم تحديد لوحة Arduino، ومنفذ التسلسل من قائمة الأدوات ثم الضغط على Upload (شكل 4-2).



شكل 4-1: ملف grblUpload.ino.



شكل 4-2: مراحل حرق البرنامج.

من بين الأوامر التي يحتويها ملف grbl ذو التنسيق h هي استدعاء (include) مكتبة 23 مكتبة كل مكتبة هي عبارة عن برامج وخوارزميات لتسيير أرجل الأروينو. تعرّف ملفات هذه المكتبات كالآتي:

• مكتبة config.h:

هي مكتبة تتحكم في حركات المحاور، تستخدم على نطاق واسع لآلات CNC. وهي عبارة عن ملف يسمح للمستخدمين بتخصيص إعدادات مختلفة لبرنامج GRBL، يحتوي هذا الملف على تعليمات برمجية لإعداد أو التحكم في مميزات الآلة مثل عدد وأنواع المحاور والتعديل على خصائص المغزل وما إلى ذلك.

• مكتبة `coolant_control.h`:

تشير هذه المكتبة إلى طرق التحكم في سائل التبريد.

• مكتبة `cpu_map.h`:

تستخدم لترجمة وظائف Grbl مثل خطوات المحرك، منافذ الإدخال/الإخراج، ومنافذ الاتصال التسلسلي إلى دبابيس محددة على وحدة المعالجة المركزية.

• مكتبة `defaults.h`:

تعمل كملف مركزي لاختيار إعدادات افتراضية لأنواع مختلفة من الآلات، بدءًا من آلات CNC المصنوعة يدويًا إلى تحويلات CNC للآلات الجاهزة، يتم توفير قيم الإعداد الافتراضي هذه من قبل المستخدمين، لذلك قد تختلف عن إعدادات الجهاز المحدد. ومع ذلك، يوفر هذا الملف نقطة بداية جيدة لتعديل الإعدادات لتناسب الإحتياجات الخاصة.

• مكتبة `eeprom.h`:

هي مكتبة برمجية بلغة C تستخدم للتحكم بذاكرة EEPROM الموجودة في المتحكمات الدقيقة، وتحديدًا المتحكمات التي تدعم ميزة تقسيم عمليات المسح والكتابة للـ EEPROM.

• مكتبة `gcode.h`:

تستخدم لتحليل وفهم أوامر G-code التي يتم إرسالها من الحاسوب إلى آلة CNC.

• مكتبة `digital_control.h`:

مكتبة التحكم في المخارج الرقمية.

• مكتبة `analog_control.h`:

مكتبة التحكم في المداخل التماثلية.

• مكتبة `jog.h`:

تركز هذه المكتبة على تعريف وتنفيذ وظائف خاصة بتحريك الآلة بسرعة قصوى ومستمرة، والمعروفة بالـ "Jogging" بالعربية "الجر" أو "التحريك السريع".

• مكتبة **limits.h**:

تعمل هذه المكتبة على إدارة مفاتيح التحديد ودورة العودة إلى الصفر في Grbl، مما يضمن التشغيل الآمن والدقيق لآلة CNC.

• مكتبة **motion_control.h**:

توفر هذه المكتبة واجهة عالية المستوى لإصدار أوامر تحريك محركات آلة CNC.

• مكتبة **nuts_bolts.h**:

تضم هذه المكتبة تعريفات للمتغيرات ووظائف مشتركة تُستخدم من قبل ملفات (خوارزميات) مختلفة من Grbl.

• مكتبة **planner.h**:

تقوم بتخزين مؤقت لأوامر الحركة وإدارة خطة ملف تعريف التسارع.

• مكتبة **print.h**:

توفر هذه المكتبة وظائف لتنسيق سلاسل الإخراج.

• مكتبة **probe.h**:

توفر هذه المكتبة وظائف لتنفيذ عمليات التحقق على آلة CNC.

• مكتبة **protocol.h**:

تتحكم في بروتوكول وإجراءات تنفيذ Grbl.

• مكتبة **report.h**:

توفر هذه المكتبة طرق إعداد التقارير والمراسلة.

• مكتبة **serial.h**:

توفر وظائف المستوى المنخفض لإرسال واستقبال البايتات عبر المنافذ التسلسلية.

• مكتبة settings.h:

تتحكم في التعامل مع eeprom.

• مكتبة sleep.h:

تحدد وتنفذ إجراءات التوقف عند عدم استعمال الآلة مدة محددة للحفاظ على الطاقة والآلة (التوقف (mode sleep).

• مكتبة control-spindle.h:

تحدد طرق التحكم في المغزل.

• مكتبة stepper.h:

تمثل برنامج تشغيل المحرك الخطوي حيث تنفذ خطط الحركة باستخدام المحركات الخطوية.

• مكتبة system.h:

تتعامل مع أوامر مستوى النظام والعمليات في الوقت الفعلي.

4-3- ضبط برنامج GrblGru:

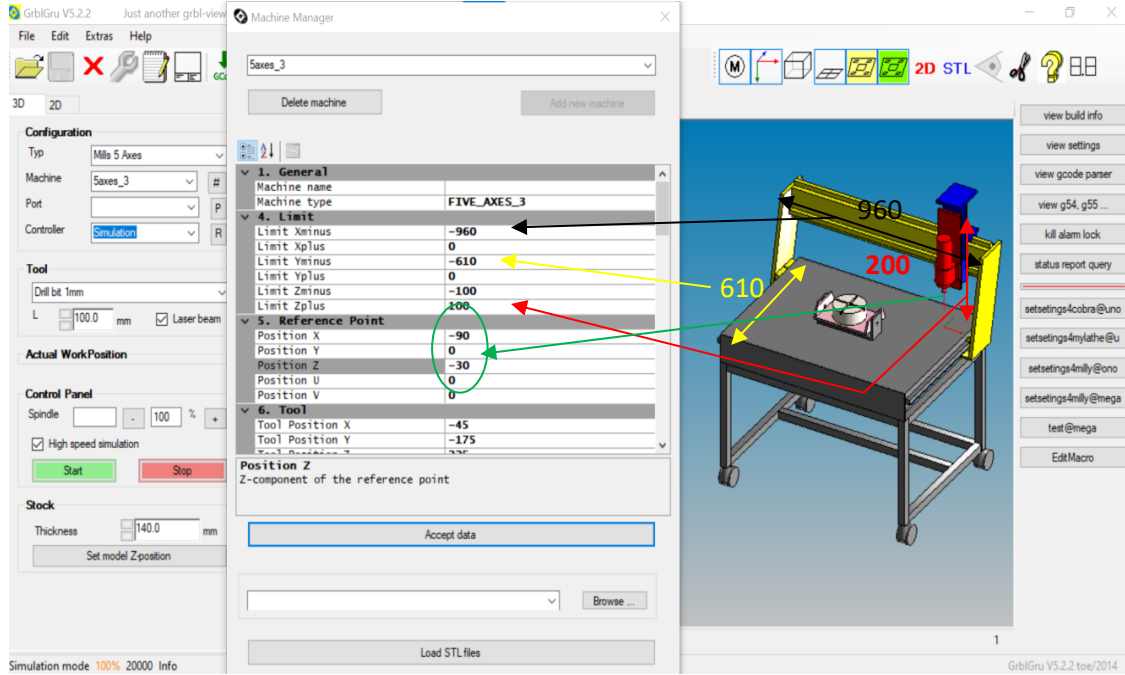
بعد فتح برنامج GrblGru، ولكي يتمشى وشروط عمل الآلة (الانتقال الأقصى على المحاور، السرعة والتسارع، سرعة دوران المغزل والمراجع) يجب إعداده بإدخال قيم لمختلف المدخلات على الأيقونات الخاصة بها لتتوافق مع القيم الحقيقية لآلة هذا المشروع بالإضافة إلى متغيرات المسير (macro).

4-3-1- ضبط أبعاد وانتقال محاور الآلة ومختلف الوضعيات:

نفتح برنامج GrblGru ثم على شريط الأدوات ننقر على الأيقونة Extras ثم على MachineManager تظهر نافذة لإدخال الأبعاد الحدية للانتقال على المحاور (شكل 4-3). أبعاد انتقال الماكينة المحاكية على GrblGru هي 1055، 610 و 200، فيما الماكينة الحقيقية أبعاد انتقالها 870، 610 و 200 لكل من المحور X، Y و Z على الترتيب، ولكي نتحصل على النقطة المرجعية للآلة هي أقصى المستوي السالب للمحورين X و Y وعلى بعد 30- للمحور Z قمنا بإدخال القيم التالية والمبينه في الشكل 4-3:

- على المحور X: (Xplus=0, Xminus=-960)
- على المحور Y: (Yplus=0, Yminus=-610)
- على المحور Z: (Zplus=100, Zminus=-100)

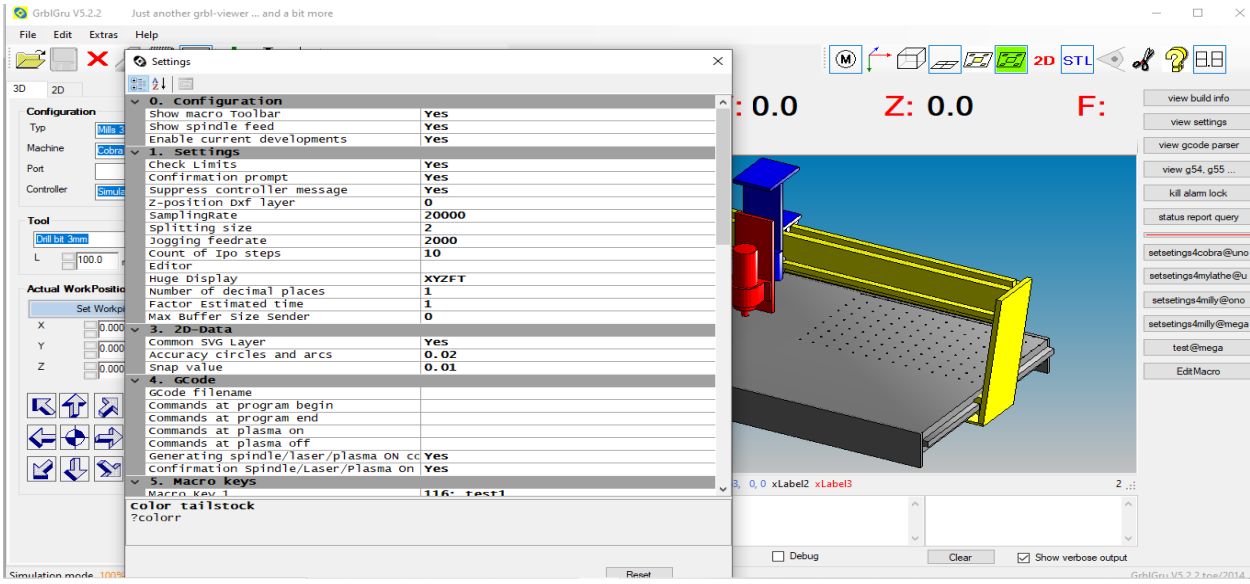
ومنه نتحصل على إحداثيات النقطة المرجعية للآلة (X=-90 ; Y=0 ; Z=-30) ومرجع وضعية الأداة بالنسبة لمرجع الآلة هي X=-45, Y=-175, Z=225



شكل 4-3: ضبط الأبعاد الحدية ومختلف الوضعيات.

4-3-2- ضبط إعدادات واجهة GribGru وسرعات التغذية:

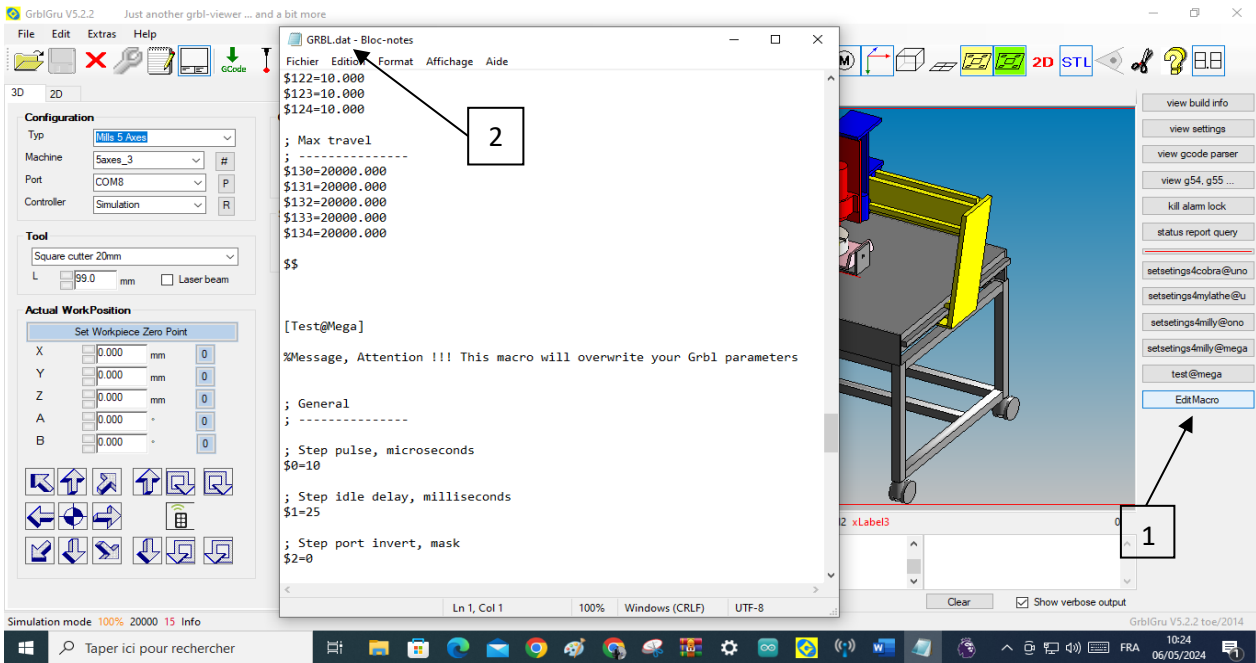
ننقر على أيقونة Extras ثم نضغط على Settings لضبط إعدادات واجهة برنامج GribGru تظهر لنا النافذة المبينة في الشكل 4-4، نتحكم فيما يمكن إظهاره أو إخفاءه في الواجهة وبعض القيم كسرعة تغذية ووضع التحكم اليدوي Jogging.



شكل 4-4: ضبط إعدادات واجهة GrblGru وبعض سرعات التغذية.

4-3-3- ضبط وإعداد مسير الآلة (macro):

على سطح برنامج GrblGru (شكل 4-5) نختار الأيقونة (1) EditMacro، يفتح ملف (2) نوع Bloc- notes ذو تنسيق (Extension) .dat.



شكل 4-5: ضبط إعداد المسير (macro).

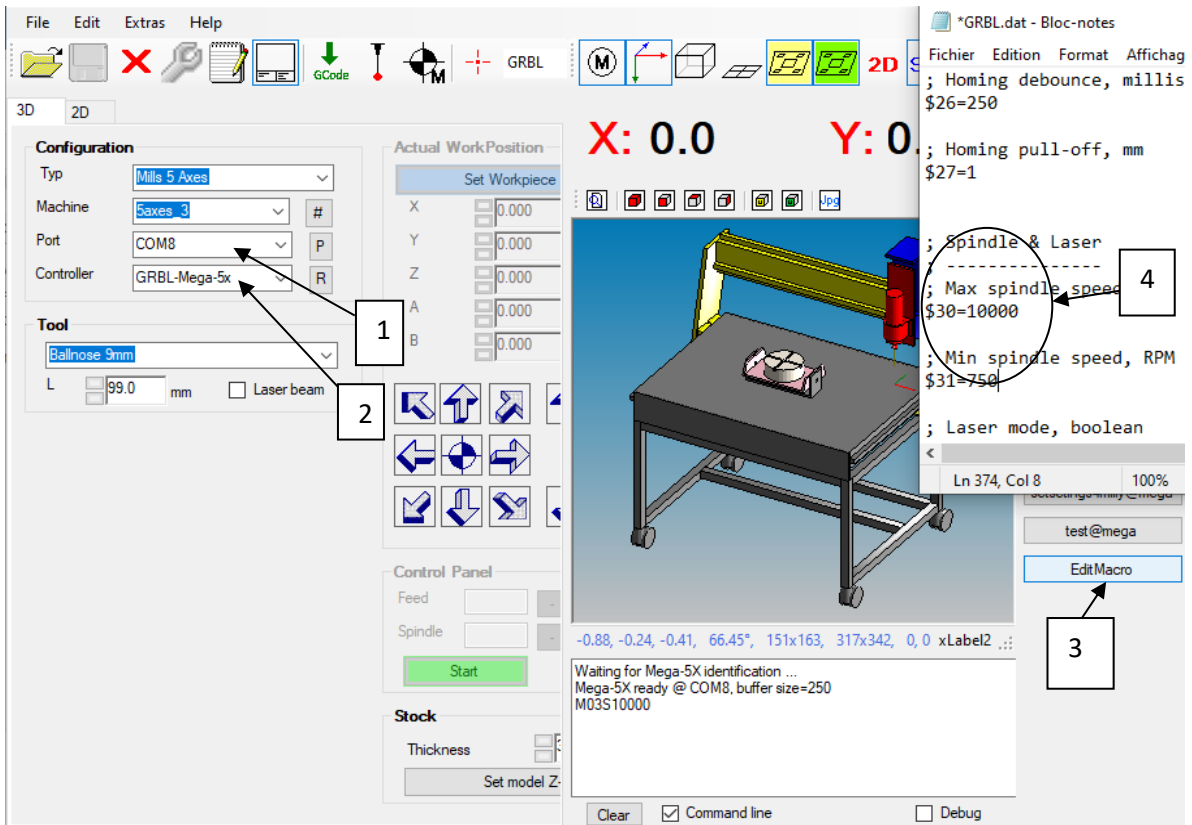
لضبط الإعدادات الخاصة بالبرنامج مسير الآلة وفق الخصائص الميكانيكية، الهندسية والكهربائية نضع

الإعدادات التالية:

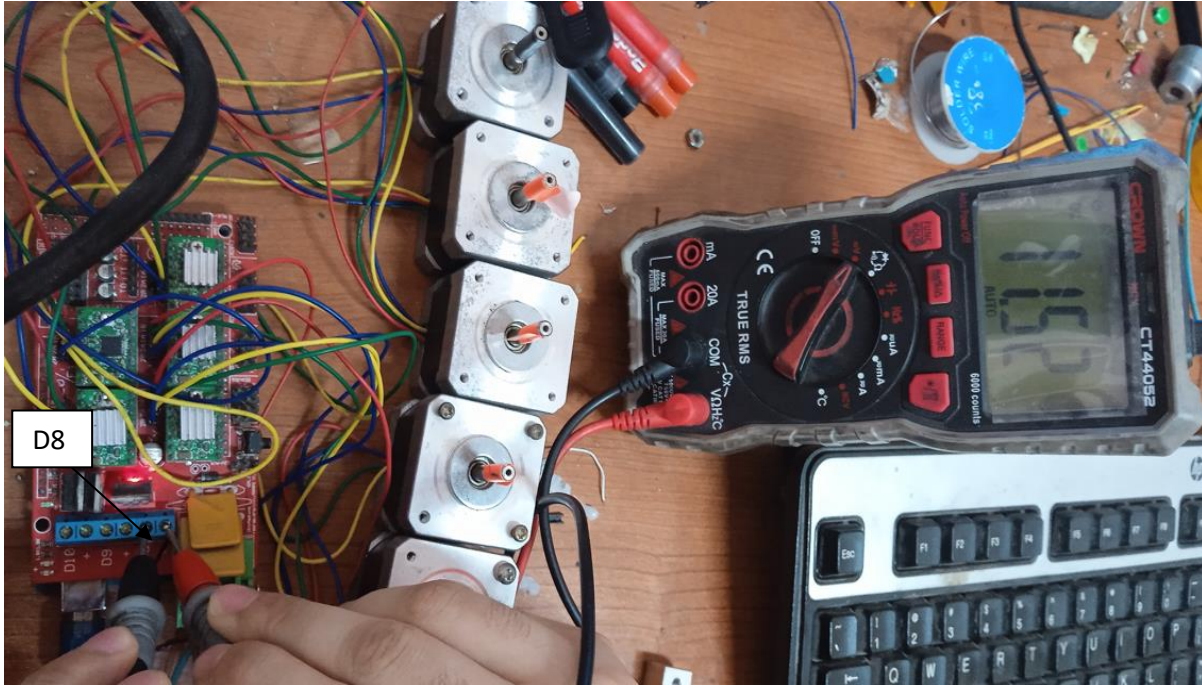
- \$0=10
- تأخير انتظار الخطوة \$1=25
- عكس إشارة نبضات الخطوة \$2=0
- عكس اتجاه المحاور \$3=0
- عكس إشارة التفعيل \$4=0
- عكس نوع اتصال مفاتيح نهاية المشوار \$5=0
- عكس موصلة الاستشعار \$6=0
- تقرير الحالة في الوقت الفعلي \$10=0
- فجوة المفصل \$11=0.020
- دقة الأقواس \$12=0.002
- وحدة تقرير الحالة \$13=0
- حدود برمجية \$20=0
- حدود بملقطات \$21=0
- حلقة المرجع \$22=1
- عكس اتجاه محاور المرجع \$23=0
- سرعة تقدم العودة للصفر \$24=25
- سرعة البحث للعودة للصفر \$25=500
- مقاومة التذبذب عند الاستشعار \$26=250
- مسافة التراجع الآمن للاستشعار \$27=1
- السرعة القصوى للمغزل \$30=10000: تم الوصول إليها من خلال البحث عن أعلى سرعة يمكن لمحرك المغزل الدوران بها، والتي يجب أن تكون عند فرق كمون تغذية يوافق جهد المحرك 11.5V. تتم هذه العملية عن طريق وصل المحرك بالدارة الالكترونية في القطب D8 على لوحة RAMPS 1.4 ووصلهم بجهاز الكمبيوتر ليتم بعد ذلك اختيار المنفذ COM8 USB (1) والمتحكم GRBL-Mega-5x (2) ضمن إعدادات توصيل الآلة، ثم ننقر على أيقونة المسير EditMacro (3) ليفتح ملف نتوجه فيه إلى [Test@Mega] (شكل 4-6)، بعد ذلك نقوم بالبحث عن \$30 (4) وتجريب عدة سرعات. باستخدام

جهاز الفولت متر نقيس فرق الجهد الكهربائي للمنفذ D8 (شكل 4-7) الموصول بهما المحرك ببطاقة .RAMPS

- السرعة الدنيا للمغزل $31=750$: عملية اختيار هذه القيمة تشبه عملية اختيار سابقتها، حيث نبدأ ببرمجة (\$30) مع اختلاف أننا نقوم بالبحث أولاً عن سرعة صغيرة يكون فيها فرق الجهد الكهربائي في قيمته الدنيا (3V) والمحرك متوقف، هذه القيمة ستمثل لنا قيمة حدية دنيا لا يمكن أخذها أو أخذ ما هو أقل منها، نبدأ بزيادة القيمة تدريجياً حتى نصل إلى السرعة التي يستطيع فيها محرك DC الدوران مع أقل فرق جهد ممكن لتكون بذلك السرعة الدنيا للمغزل، التي وجدناها 750tr/min عند فرق كمون يساوي 3.2V



شكل 4-6: تجريب عدة سرعات للبحث عن \$30.



شكل 4-7: قياس فرق الجهد الكهربائي للمنفذ D8 للبحث عن \$30.

- عدد الخطوات التي يقوم بها المحرك من أجل انتقال المنزلقات واحد ملليمتر، حيث أن خطوة اللولبة تساوي 1.5mm.
على المحور X: \$100=133.34.
على المحور Y: \$101=133.34.
على المحور Z: \$102=133.34.
- الحد الأقصى للسرعة (يتم اختيار السرعات تجريبياً) يتم اختبارها بالبرمجة من 0mm/min إلى أن نصل إلى سرعة تناسب خصائص المحرك الخطوي المستعمل:
على المحور X: \$110=500
على المحور Y: \$111=500
على المحور Z: \$112=500
- معدل التسارع:
على المحور X: \$120=10.000
على المحور Y: \$121=10.000

على المحور Z: \$122=10.000

• [X,Y,Z] الحد الأقصى للحركة (الحدود التي تسمح بها أبعاد الماكينة الحقيقية):

على المحور X: \$130=870.000

على المحور Y: \$131=610.000

على المحور Z: \$132=200.000

4-4-الأوامر المقبولة بواسطة GRBL:

أوامر G-codes المقبولة بواسطة GRBL هي مجموعة من الأوامر التي يمكن استخدامها للتحكم في حركة آلة CNC. تتكون هذه الأوامر من حرف واحد أو حرفين، يليه رقم أو مجموعة من الأرقام

فيما يلي قائمة بجميع أوامر G-codes المقبولة بواسطة GRBL [33]:

F: سرعة التغذية (تتعلق ب G20 و G21).

S: سرعة الدوران.

G0: انتقال سريع دون تشغيل (في وضع الليزر يتم إيقاف الليزر).

G1: القطع في مسار خطي.

G2: القطع في مسار دائري في اتجاه عقارب الساعة.

G3: القطع في مسار دائري عكس اتجاه عقارب الساعة.

G4: أمر إيقاف يرتبط ب Pnnn بالثواني (على سبيل المثال: G4 P10 سيؤدي إلى إيقاف مؤقت لمدة 10S).

G10 L2: ضبط قيم الإزاحة. (الإزاحة عن أصل الماكينة).

G10 L20: ضبط قيم الإزاحة (الإزاحة عن الموضع الحالي).

G17: التشغيل في المستوى XY.

G18: التشغيل في المستوى XZ.

G19: التشغيل في المستوى YZ.

G20: القياس بالبوصة.

G21: القياس بالمليمتر.

G28: إرسال المغزل إلى الموضع الآمن (Safe Position).

G28.1: تحديد الموضع الآمن (Safe Position).

G30: الانتقال إلى الموضع المحدد مسبقاً G30.

G30.1: تحديد الموضع المحدد مسبقاً G30.

G38.2: قياس بالمسبار، لمس قطعة العمل، مع إنذار في حال عدم التلامس.

G38.3: قياس بالمسبار، لمس قطعة العمل، مع التوقف عند التلامس.

G38.4: قياس بالمسبار، الابتعاد عن القطعة، مع إنذار في حال عدم الكشف.

G38.5: قياس بالمسبار، الابتعاد عن القطعة، مع التوقف عند فقدان التلامس.

G40: تعطيل تعويض القطع. (لا يدعم Grbl تعويض القطع).

G43.1: تعويض طول الأداة ديناميكياً، يُعوض عن إزاحة Z لموضع الأداة للحركات اللاحقة.

G49: إلغاء تعويض طول الأداة الديناميكي.

G53: التحركات في إحداثيات الماكينة (المطلقة).

G54، G55، G56، G57، G58، G59: تعيين الأصل المسجل كنقطة مرجعية.

G61: وضع مسار دقيق (لا يدعم Grbl أي وضع آخر).

G80: إلغاء أوامر الدورة المحددة مسبقاً (لا يدعم Grbl أيًا من أوضاع الدورة المحددة مسبقاً، لذلك لا يُنفذ أي

شيء).

G90: برمجة موضع أداة القطع بالنظام المطلق.

G91: برمجة موضع أداة القطع بالنظام النسبي.

G91.1: وضع حركة نسبي للإزاحات I و J و K.

G92: تعيين النقطة الحالية كنقطة مرجعية للمحاور.

G92.1: إعادة تعيين جميع الإزاحات G92 الحالية إلى الصفر وضبط جميع القيم المسجلة على الصفر.

G93: وضع السرعة: التحويل إلى وضع العكس.

G94: وضع السرعة: الانتقال إلى وضع الوحدات بالدقيقة.

M0: إيقاف مؤقت.

M1: مثل M0، لكنه يتوقف فقط إذا تم تنشيط مفتاح الإيقاف (اختياري).

M2: نهاية البرنامج، وإيقاف تشغيل المغزل/الليزر وإيقاف تشغيل الماكينة.

M3: دوران المغزل في اتجاه عقارب الساعة. مع الليزر، يتم الانتقال إلى وضع الطاقة الثابتة.

M4: دوران المغزل عكس عقارب الساعة. مع الليزر يتم الانتقال إلى وضع الطاقة الديناميكية.

M5: إيقاف تشغيل حامل الأداة.

M7، M8: تشغيل سائل التبريد.

M9: إيقاف سائل التبريد.

M30: نهاية البرنامج، إيقاف تشغيل المغزل/الليزر وإيقاف الجهاز (نفس M2).

M56: أمر تعطيل حركة العودة إلى نقطة البداية.

4-5-5-4 مثال تطبيقي:

4-5-4-1 كيفية استخراج برنامج تشغيل القطعة:

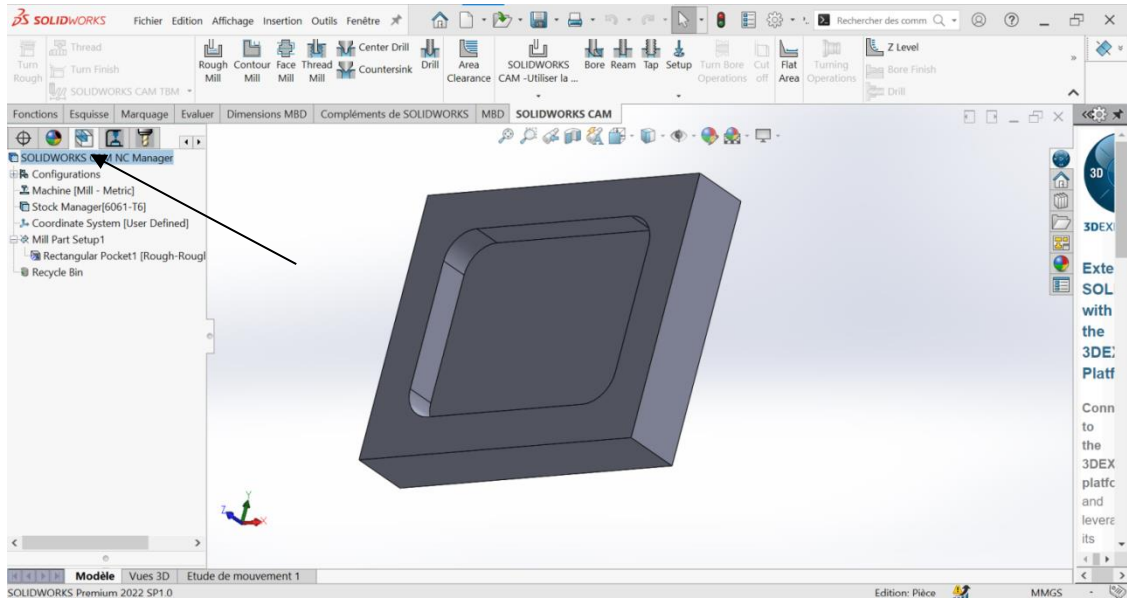
يوجد طريقتان لكتابة برنامج تشغيل القطعة، يدويا أو باستعمال برامج مخصصة. يدويا، إذا كان القطعة المشغلة بسيطة (تسطيح، تنقيب...). أما التصنيع بمساعدة الكمبيوتر CAD/CAM، تستعمل خاصة لتصنيع القطع ذات الأشكال المعقدة.

❖ استخراج G-code الخاص بقطعة مصممة باستخدام SOLIDWORKS CAM:

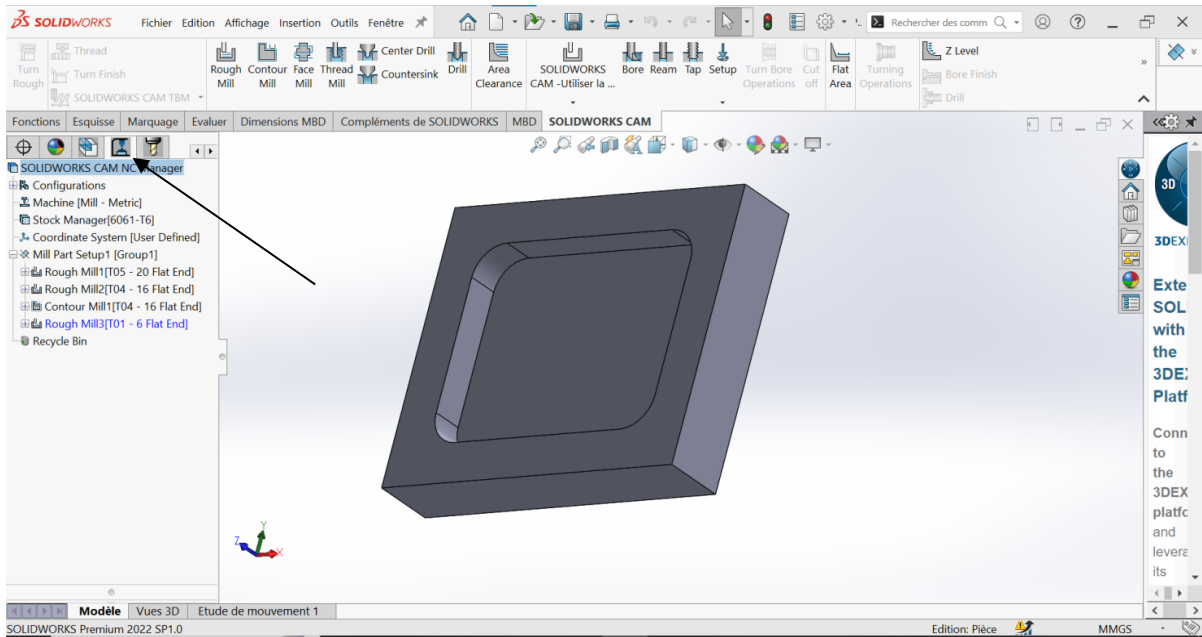
يُمكن استخراج G-Code من برنامج SolidWorks CAM بعد إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد وتحديد مسارات الأدوات.

الخطوات:

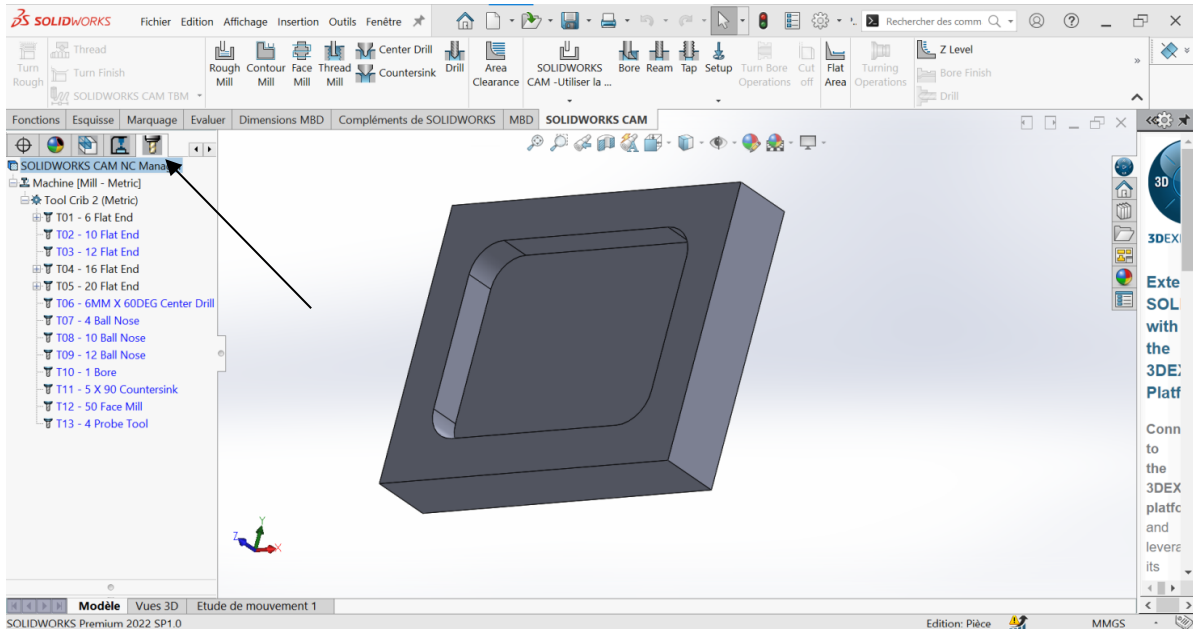
- الخطوة الأولى: إنشاء القطعة.
- الخطوة الثانية: ضبط الأبعاد الهندسية للأداة وأسطح القطعة المراد تصنيعها. كل ما يتم ضبطه يظهر في أحد الشجرات الثلاث، شجرة الميزات (شكل 4-8)، شجرة العمليات (شكل 4-9) شجرة الأدوات (شكل 4-10).



شكل 4-8: شجرة الميزات (SOLIDWORKS CAM FeatureTree)

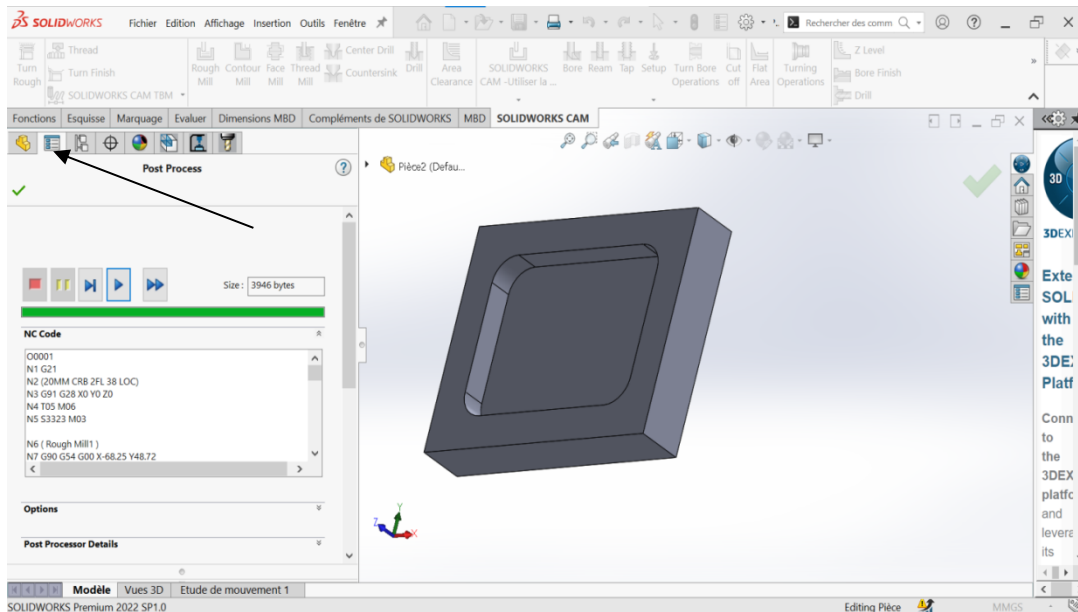


شكل 4-9: شجرة العمليات (SOLIDWORKS CAM OperationTree)

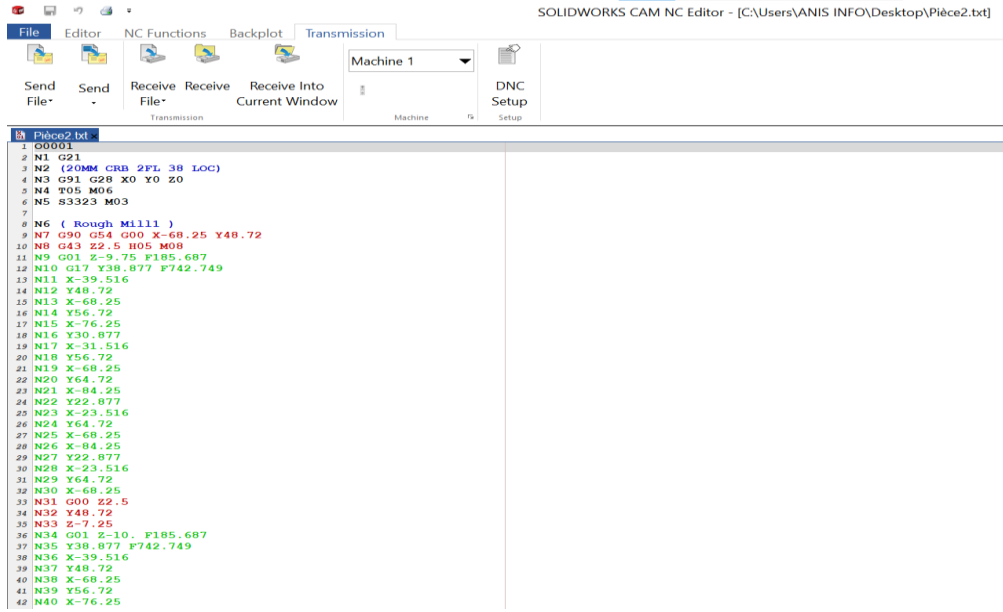


شكل 4-10: شجرة الأدوات (SOLIDWORKS CAM Tools Tree)

- الخطوة الثالثة: استخراج G-Code: بعد حفظ الإعدادات السابقة يتم من خلال " المعالجة اللاحقة " (Post Process) تحويل مسار الأدوات (Toolpath) المُنتج بواسطة SOLIDCAM إلى G-code قابل للفهم من قبل آلات CNC (شكل 4-11)، بعد الموافقة على المعالجة يُفتح ملف بتنسيق txt يحتوي على G-code الذي يمكن إدراجه في برنامج التحكم GrblGru لإنجاز القطعة المصممة (شكل 4-12).



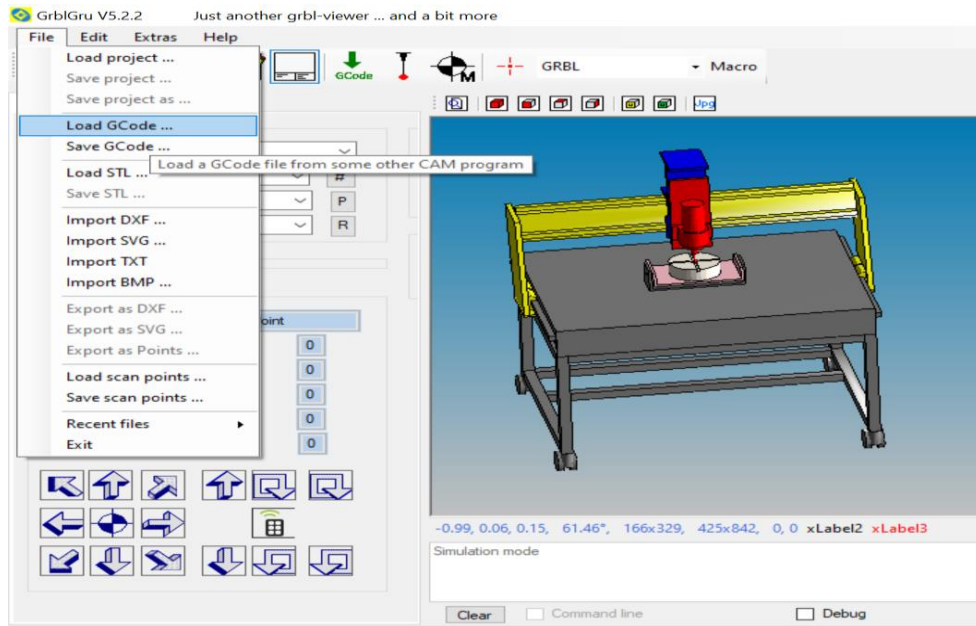
شكل 4-11: المعالجة اللاحقة (Post Process).



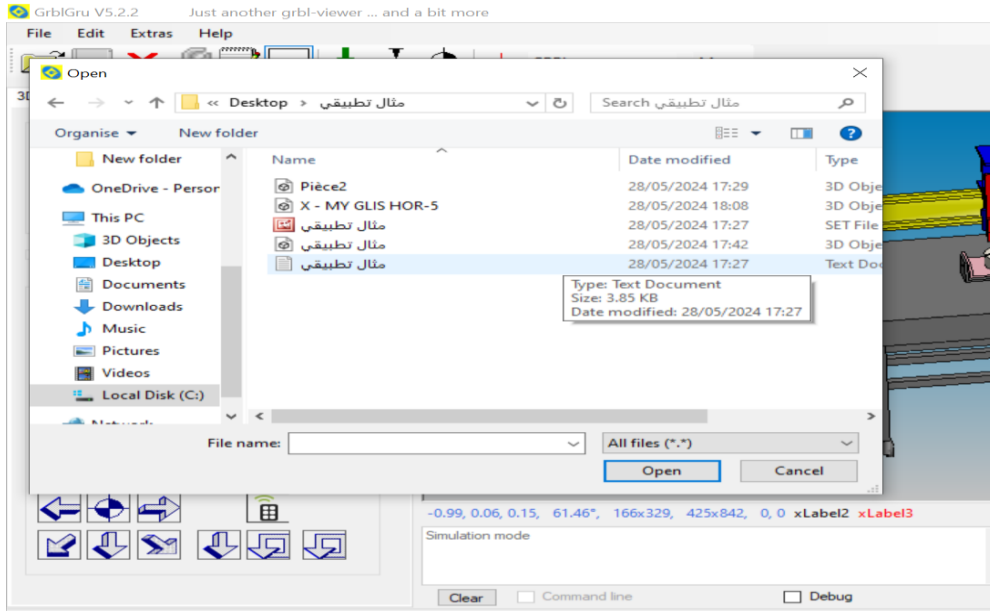
شكل 4-12: ملف G-code بتنسيق .txt.

4-5-2- تطبيق على برنامج GrblGru:

بعد الحصول على G-code القطعة المراد تصنيعها بتنسيق txt يتم تحميله في برنامج GrblGru وذلك بالتوجه إلى الملف (File) في شريط الأدوات، ثم اختيار التعليمات LoadGcode (شكل 4-13)، التي تفتح نافذة نقوم فيها بالتوجه إلى مكان تخزين G-code المراد إدراجه، بعد العثور عليه نقر على خانة الفتح (open) (شكل 4-14)، لننتهي بذلك من عملية الإدراج.

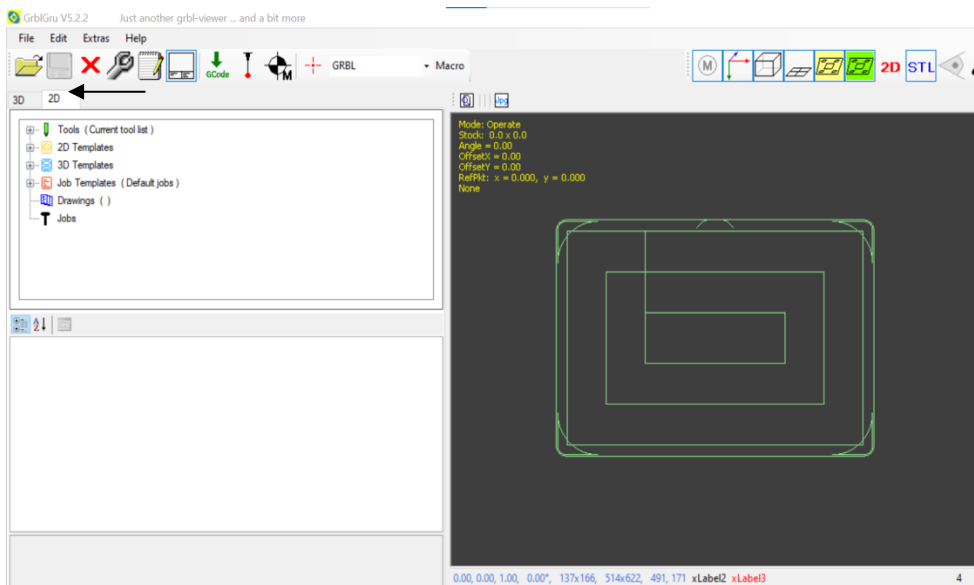


شكل 4-13: تحميل G-code في برنامج GrblGru.

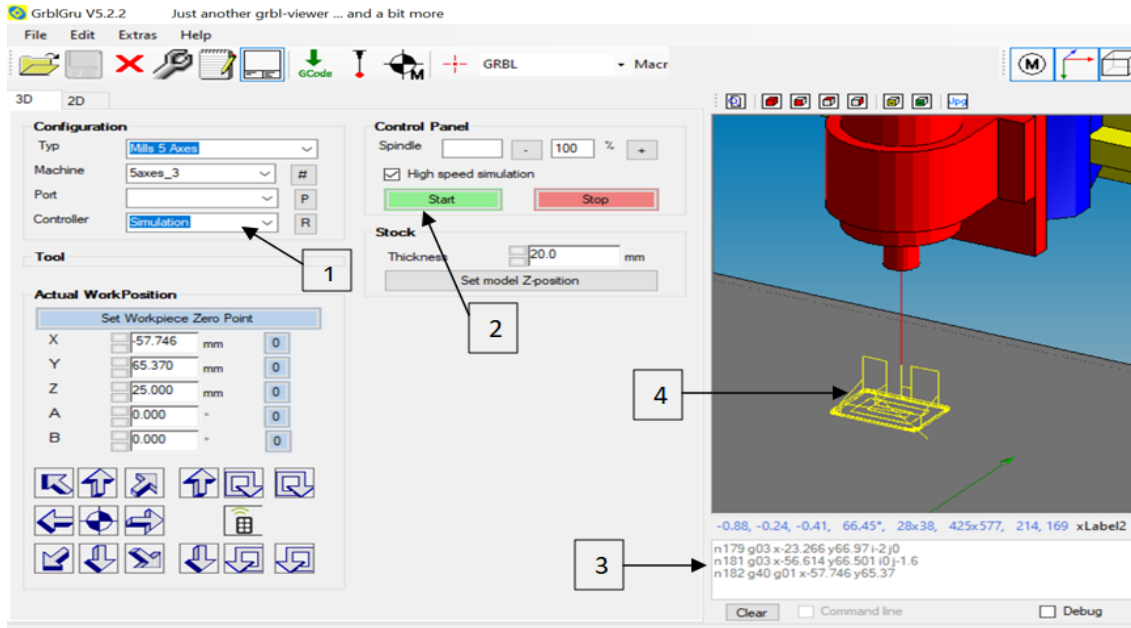


شكل 4-14: التوجه إلى مكان تخزين G-code.

بعد تحميل G-code يمكن رؤية مسار أداة القطع الخاص به عن طريق التوجه إلى خانة 2D (شكل 4-15)، كما يمكن تجريبه قبل التصنيع الفعلي (شكل 4-16)، وذلك عن طريق اختيار طريقة تحكم (1) وضع المحاكاة (Simulation) والنقر على البدء (star) (2) ثم الموافقة على الرسالة التي ستظهر والتي تطلب تفعيل المغزل أوتوماتكيا. تمكن هذه المحاكاة من رؤية تنفيذ البرنامج سطرا بسطر (3) ومسار أداة القطع (4) الذي يتكون تدريجيا عند تنفيذ هذه الأسطر. تتم عملية المحاكاة من أجل ضمان عدم وجود خلل عند التصنيع لتفادي الخسائر المادية. وعند التصنيع يتم فقط تغيير وضع التحكم (1) إلى GRBL-Mega-5x.



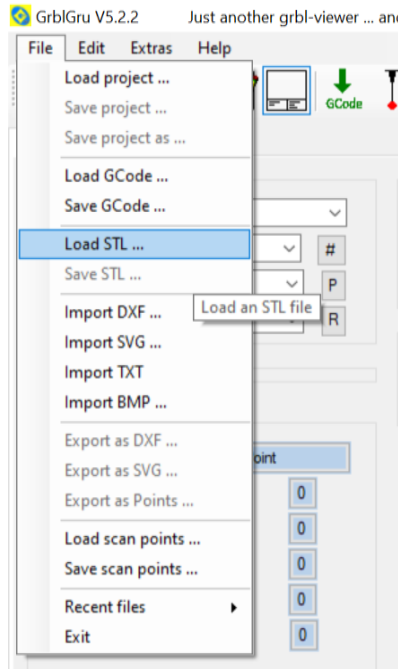
شكل 4-15: مسار أداة القطع الخاص ببرنامج G-code المحمل.



شكل 4-16: محاكاة برنامج G-code المحمل.

يمكن الاكتفاء بما سبق أو تحميل ملف STL للقطعة المراد تصنيعها من اجل جعل العملية أكثر وضوحاً

(شكل 4-17).



شكل 4-17: تحميل ملف STL للقطعة المراد تصنيعها في برنامج GrblGru.

خاتمة عامة:

تُقدم هذه المذكرة شرحًا تفصيليًا لعملية تصميم وتصنيع آلة تقريز CNC ذات ثلاثة محاور، حيث تتميز آلة التحكم العددي بالحاسوب (CNC) بدقتها العالية مقارنة بالآلات التقليدية، وذلك بفضل اعتمادها على عناصر مدرجة تقلل من الاهتزاز والاحتكاك، ومقسمات وحساسات رقمية دقيقة تضمن دقة الحركة. بناءً على هذه الميزات، تم تصميم ماكينة التقريز CNC ذات ثلاث محاور بواسطة برنامج SolidWorks الذي يعتبر أداة قوية وفعالة لتصميم المنتجات والهياكل مع مراعاة الدقة العالية في التصميم لضمان أفضل أداء للآلة، بما في ذلك أبعاد الأجزاء وتناسبها مع بعضها البعض، حركة المحاور الثلاثة بسلاسة. ثم تم تصنيع نموذج مصغر لها، حيث أن نسبة اكتمال التصنيع تتوافق مع الإمكانيات المتاحة. كما تم الاعتماد على برنامج GrblGru (GrblGru V5.2.2) للتحكم في ماكينة التقريز والذي يمثل أداة تحكم قوية وسهلة الاستعمال لمستخدمي CNC، يوفر البرنامج تحكمًا دقيقًا في حركة المحاور الثلاثة للآلة، مما يضمن دقة وفعالية القطع، أين تم إعداد هذا البرنامج ليتوافق مع شروط عمل الماكينة.

استعملنا لوحة Arduino Mega2560 من أجل تسيير الآلة لما تحتويه من خصائص جيدة (المتحكم، عدد الأرجل، سعة الذاكرة...)، ولهذا شملت هذه المذكرة شرح تفصيلي لخطوات برمجتها. دعمنا وأثبتنا دقة وتنفيذ البرنامج والآلة بمثال تطبيقي G-Code متحصل عليه من برنامج SolidCAM للقطع المراد تشغيلها، مع شرح تفصيلي لكيفية الحصول عليه.

References:

المراجع:

- [1] Comment définir une machine-outil à commande numérique (MOCN) ?
<https://www.ttgroupfrance.fr/machine-outil-a-commande-numerique>
 (تم الدخول في 2024-5-25).
- [2] تطور تقنية التحكم الرقمي بالحاسب https://engsciences.blogspot.com/2014/07/blog-post_5133.html (تم الدخول في 2024-5-25).
- [3] Avantages et inconvénients du fraisage CNC
<https://capablemachining.com/fr/Articles/avantages-et-inconv%C3%A9nients-du-fraisage-CNC/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [4] Histoire de la CNC : l'origine et l'évolution de l'usinage CNC (2021)
<https://www.rapiddirect.com/fr/Articles/histoire-de-la-commande-num%C3%A9rique-par-ordinateur/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [5] TheHistory of CNC Machinery (2019) <https://laszeray.com/the-history-of-cnc-machinery> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [6] Machine CNC à commande Numérique par Ordinateur tout ce qu'il faut savoir
<https://frcnctec.com/machine-cnc-a-commande-numerique-par-ordinateur-tout-ce-qu'il-faut-savoir/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [7] Erik Gustavo Del Conte-Klaus Schützer-Eckhard Hohwieler .Development of a System for HSM (High Speed Machining) Performance Monitoring (2009)
https://www.researchgate.net/figure/Concept-of-the-CNC-data-monitoring-system_fig4_270904369 (تم الدخول في 2024-5-25).
- [8] Kinza Yasar. computer numerical control (CNC) (2023)
[https://www.techtarget.com/searcherp/definition/computer-numerical-control-CNC#:~:text=Computer%20numerical%20control%20\(CNC\)%20is,machining%20metal%20and%20plastic%20parts](https://www.techtarget.com/searcherp/definition/computer-numerical-control-CNC#:~:text=Computer%20numerical%20control%20(CNC)%20is,machining%20metal%20and%20plastic%20parts) (تم الدخول في 2024-5-25).

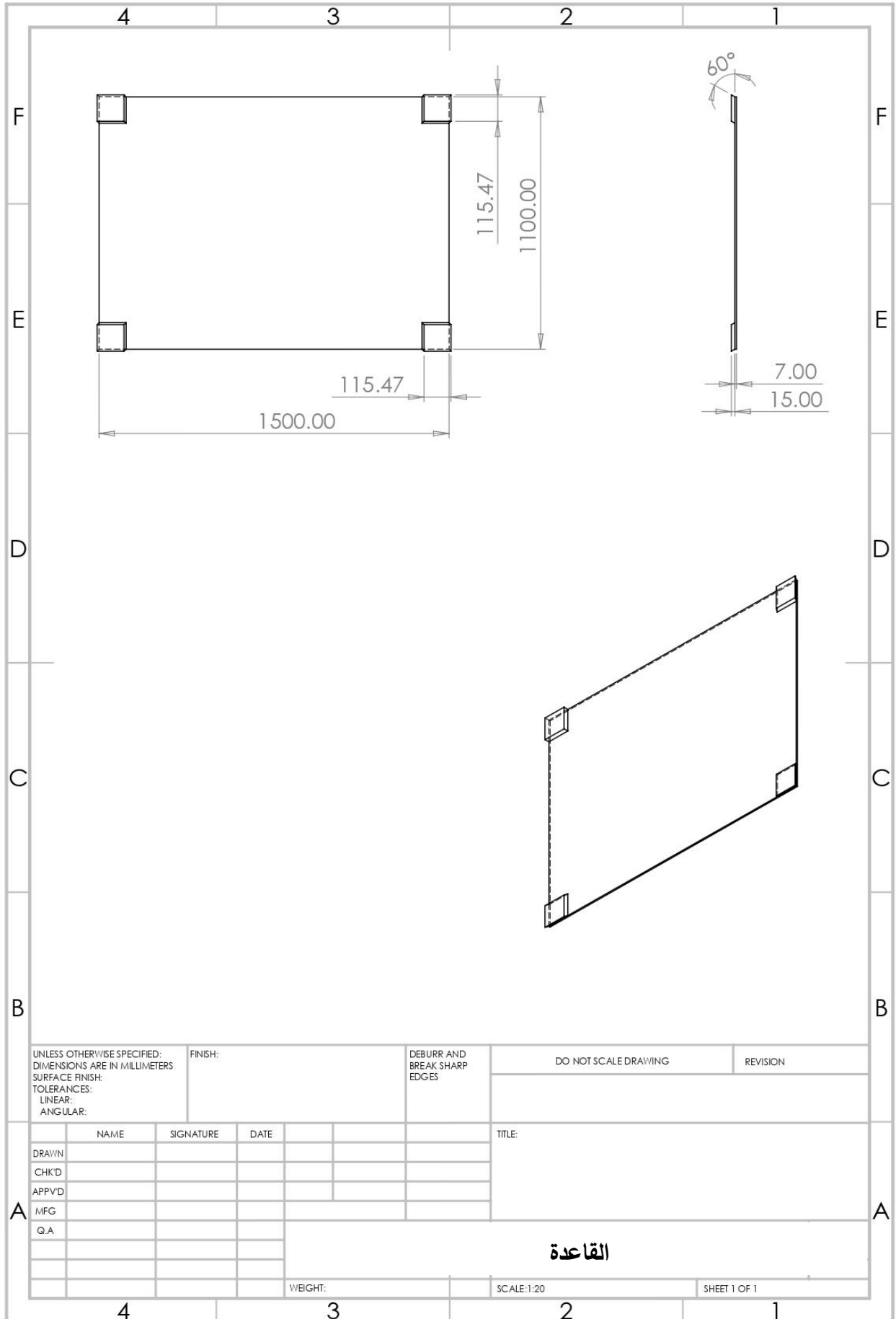
- [9] NICK YSIDRON. Parts of a CNC Machine Explained (2023)
<https://www.fictiv.com/articles/parts-of-a-cnc-machine-explained>
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [10] Isaac. Tous types de machines CNC selon utilisation et caractéristiques
<https://www.hwlibre.com/fr/types-de-machines-cnc-utilise/>(تم الدخول في 2024-5-25).
- [11] Qu'est-ce que l'usinage CNC ? https://www.maqual.fr/qu-est-ce-que-l-usinage-cnc-
/ (تم الدخول في 2024-5-25).
- [12] Willard J. McCarthy-Joseph A. McGeough. Adaptive control
<https://www.britannica.com/technology/machine-tool/Adaptive-control>
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [13] VMT CNC Machining: Types, Classifications, Basics of Machine Tools (Dec 31 2021)
[https://www.machining-custom.com/blog/the-type-and-classification-of-cnc-](https://www.machining-custom.com/blog/the-type-and-classification-of-cnc-machining-machine-tools-the-basis-of-cnc-machining.html)
machining-machine-tools-the-basis-of-cnc-machining.html (تم الدخول في 2024-5-25).
- [14] AbrarMulla. UNDERSTANDING CNC AND BASIC PART PROGRAMMING FOR
MILLING OPERATION [https://www.instructables.com/UNDERSTANDING-CNC-AND-](https://www.instructables.com/UNDERSTANDING-CNC-AND-BASIC-PART-PROGRAMMING-FOR-M/)
BASIC-PART-PROGRAMMING-FOR-M/ (تم الدخول في 2024-5-25).
- [15] Dr.B.Jayachandraiah – O.Vamsi Krishna-P.Abdullah Khan-R.Ananda Reddy
.Fabrication of Low Cost 3-Axis CncRouter(2014)
[https://www.ijesi.org/papers/Vol\(3\)6/Version-1/A036101010.pdf](https://www.ijesi.org/papers/Vol(3)6/Version-1/A036101010.pdf)
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [16] RAMPS 1.4 Assembly Guide
https://www.reprap.org/mediawiki/images/0/06/RAMPS_dossier.pdf
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [17] Mach3 <https://www.machsupport.com/software/mach3/> (تم الدخول في 2024-5-25).

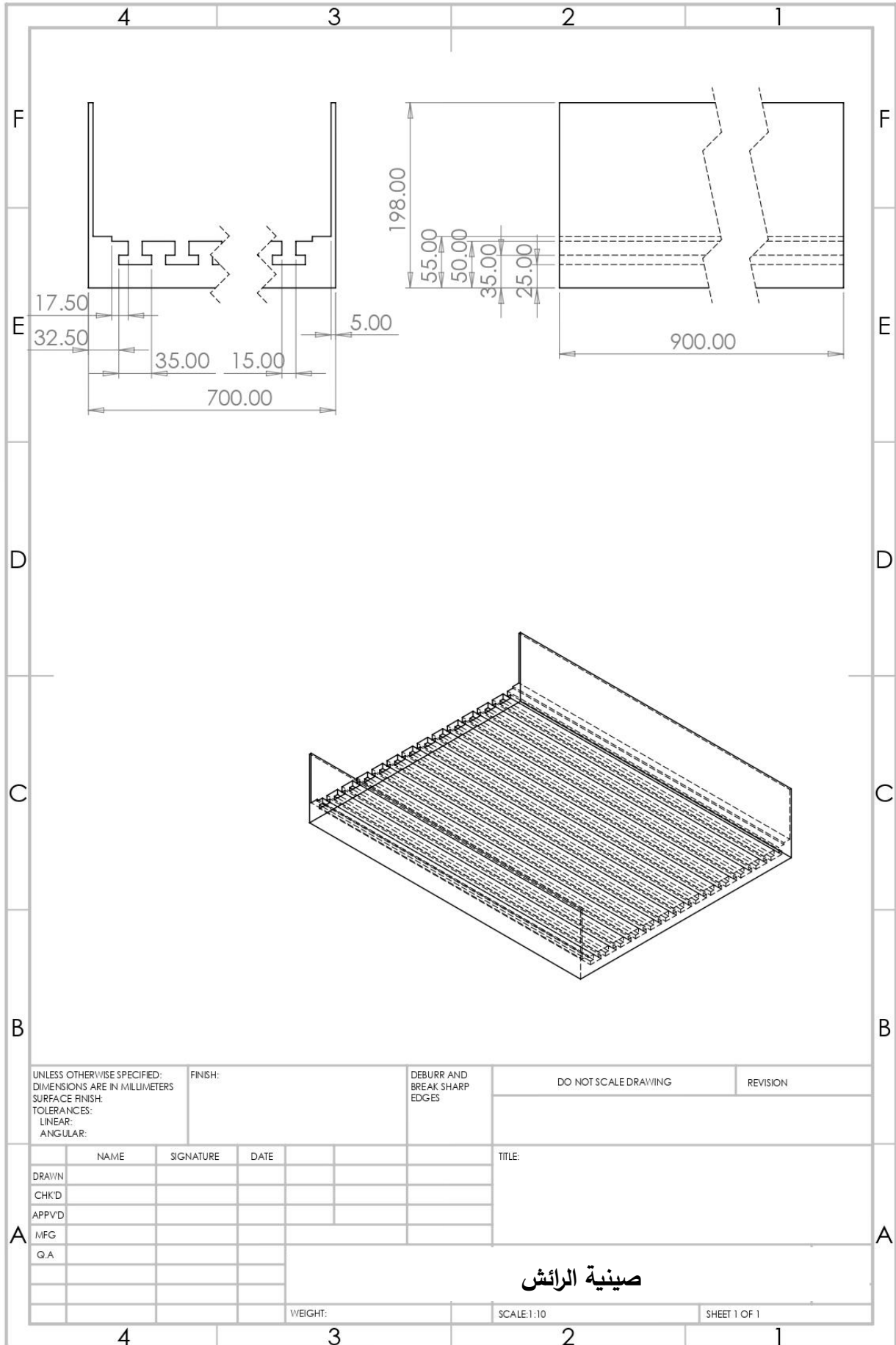
- [18] Grbl <https://github.com/grbl/grbl> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [19] Qu'est-ce qu'un fichier STL ? <https://fr.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [20] OpenSCAD <https://openscad.org/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [21] FreeCAD <https://www.freecad.org/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [22] SOLIDWORKS <https://www.solidworks.com/fr> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [23] PTC <https://www.ptc.com/en/products/creo/pro-engineer> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [24] Autodesk Inventor <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [25] Autodesk AutoCAD <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [26] FreeMILL <https://mecsoft.com/products/freemill/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [27] Dolphin <https://www.dolphincadcam.com/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [28] CamBam <http://www.cambam.info/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [29] OneCNC <https://onecnc.com/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [30] GibbsCAM <https://www.gibbscam.com/en> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [31] Mastercam <https://www.mastercam.com/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [32] SheetCam <https://www.sheetcam.com/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [33] Configuration de GRBL v1.1 <https://benmaker.fr/2021/03/17/configuration-de-grbl-v1-1/> (تم الدخول في 2024-5-25).

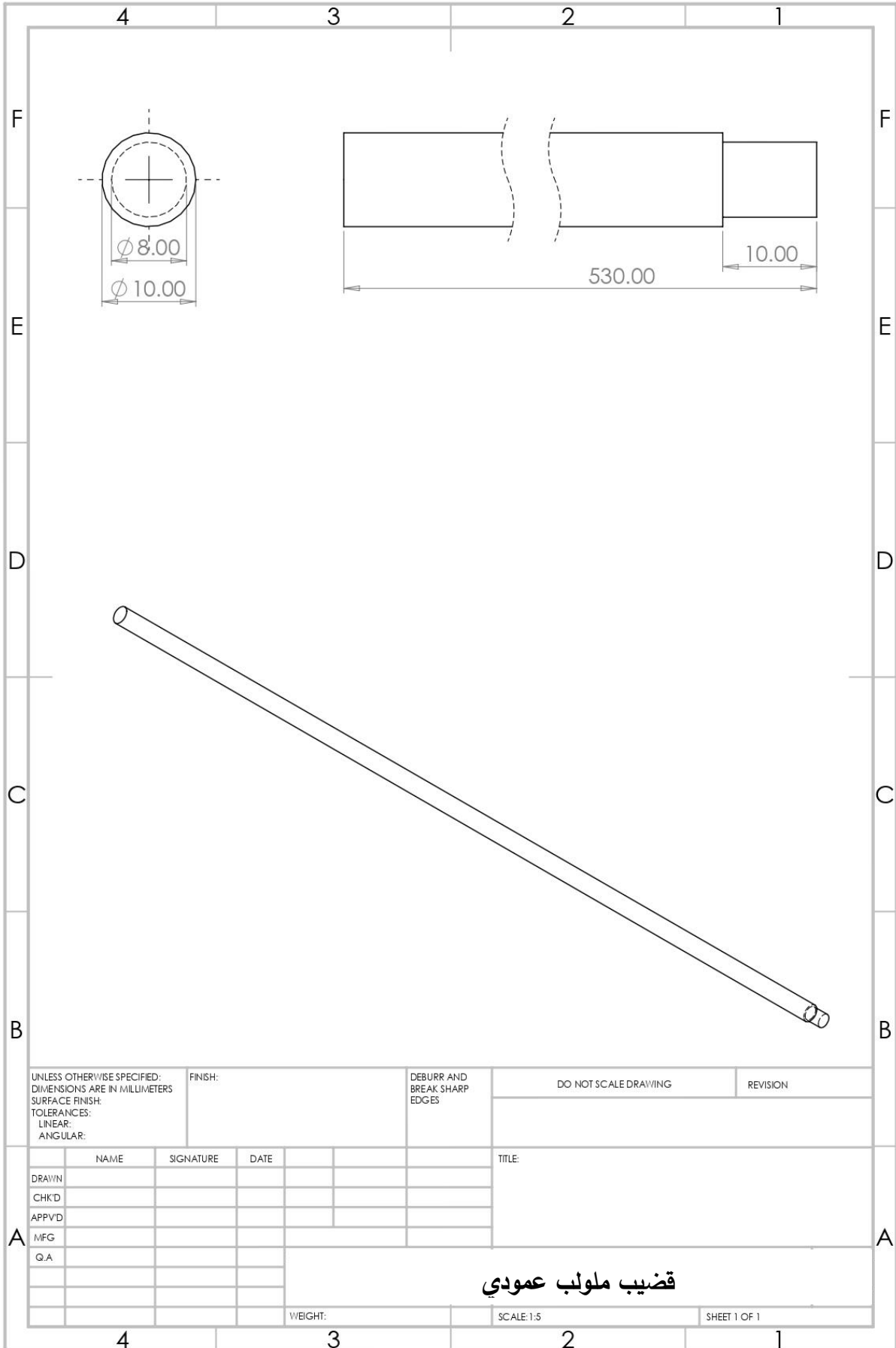
- [34] HB Stepper MotorCatalog (MotionKing (China) MotorIndustry Co., Ltd.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1131976/MOTIONKING/17HS4401.html> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [35] NEMA 17HS4401 Bipolar Stepper Motor <https://www.cytron.io/p-nema-17hs4401-bipolar-stepper-motor> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [36] 17HS4401 Stepper Motor-2 Phase Hybrid (PDF) (5-1-2023)
https://www.datasheetcafe.com/17hs4401-pdf-27114/#google_vignette
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [37] A4988 سائق السائر <https://www.robotique.site/tutoriel-arabe/%d8%b3%d8%a7%d8%a6%d9%82-%d8%a7%d9%84%d8%b3%d8%a7%d8%a6%d8%b1-a4988/>
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [38] A4988 Stepper Motor Driver Carrier
<https://d25vv4z8gtre3w.cloudfront.net/fajlcsatolas/101000000075366601.pdf>
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [39] A4988DMOS Microstepping Driver with Translator and OvercurreProtection
<https://www.alldatasheet.fr/datasheet-pdf/pdf/338780/ALLEGRO/A4988.html>
(تم الدخول في 2024-5-25).
- [40] Hamza Bouhouch. Guide complet pour utiliser Capteur de Fin de Course avec RAMPS1.4 dans une imprimante 3D <https://www.moussasoft.com/capteur-mecanique-de-fin-de-course-avec-ramps1-4> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [41] stoll.melvin. Installation et câblage d'une carte Ramps 1.4 pour une MPCNC (13 Juin 2023) <https://www.aranacorp.com/fr/installation-et-cablage-dune-carte-ramps-1-4-pour-une-mpcnc> (تم الدخول في 2024-5-25).

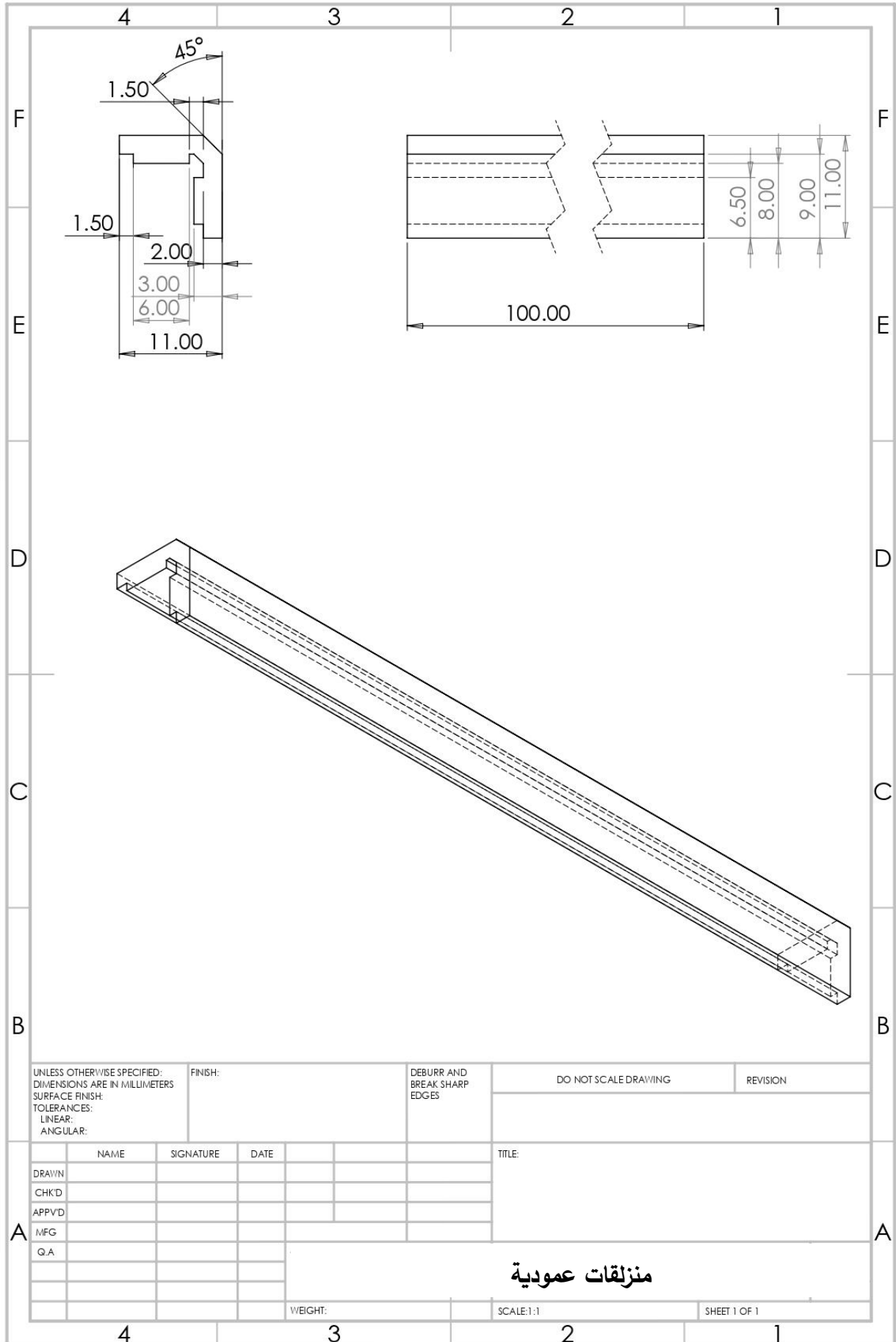
- [42] OSOYOO 3D Printer Controller Kit Ramps 1.4 + Full Graphic Smart Display Controller + Mega2560 + A4988 Stepper Motor Driver for RepRap (Ramps 1.4+12864LCD+Mega2560+A4988Driver <https://www.amazon.com/OSOYOO-Printer-Controller-Stepper-Heatsink/dp/B0111ZSS2O> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [43] Arduino® Mega 2560 Rev3(Product Reference Manual-SKU: A000067) <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [44] Mega 2560 R3 with ATmega16U2 USB <https://protosupplies.com/product/mega-2560-r3-atmega16u2-usb-with-cable/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [45] Photomicrosensor (Transmissive) EE-SX461-P11 <https://lh.pe/file/ee-sx461-p11.pdf> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [46] EE-SX461-P11 Sensor fotoeléctrico, emisor-receptor (ranura), 15mm <https://lh.pe/sx461-p11-sensor-fotoelectrico-emisor-receptor-ranura-15mm-p-7983.html> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [47] Arduino IDE 2.3.2 <https://www.arduino.cc/en/software> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [48] GrblGruFree CAM and 3D-Simulation for mills and lathes. <https://www.grblgru.com/> (تم الدخول في 2024-5-25).
- [49] grbl-Mega-5X <https://github.com/fra589/grbl-Mega-5X> (تم الدخول في 2024-5-25).

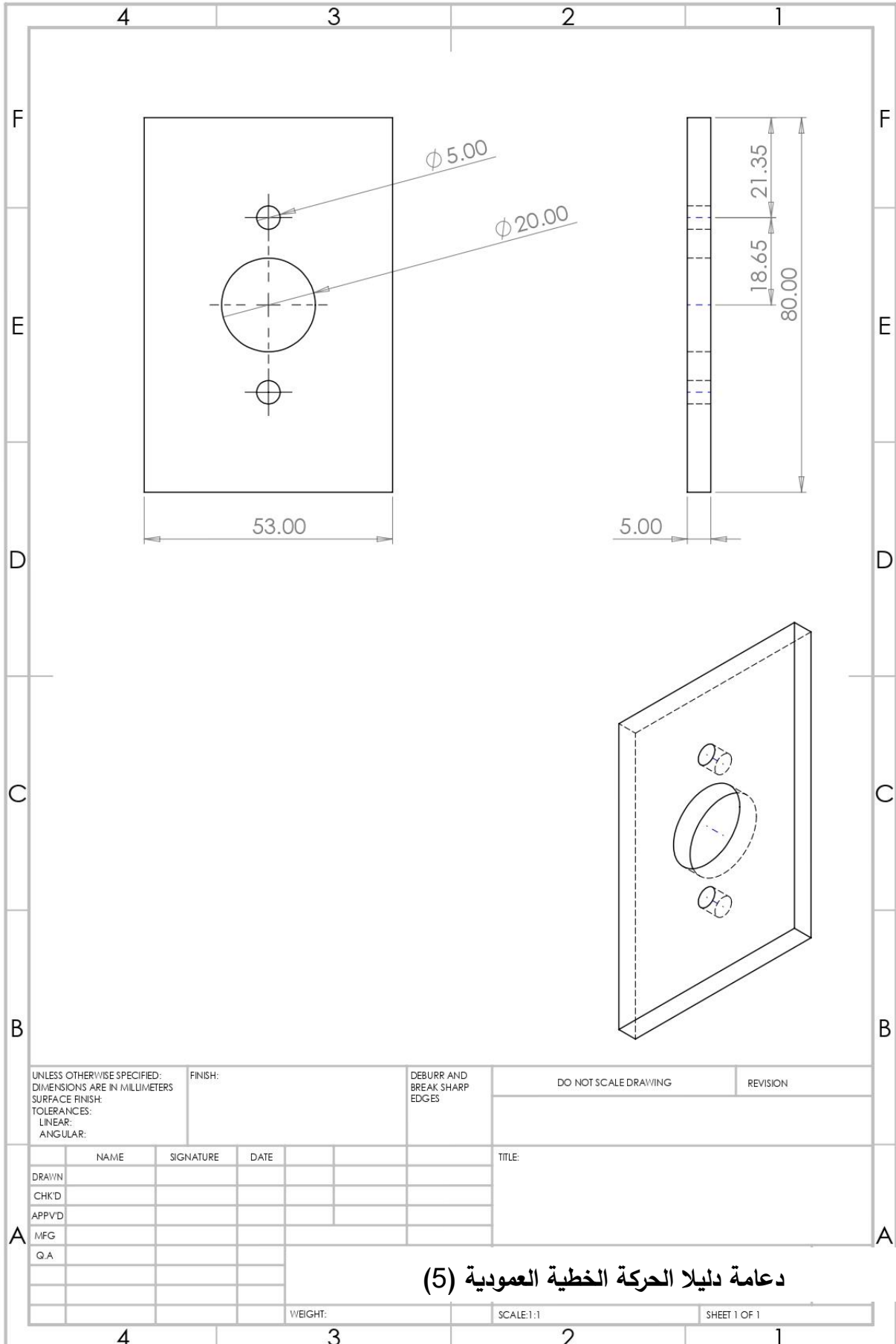
-الرسومات التعريفية للقطع الميكانيكية الأساسية في الآلة-











UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

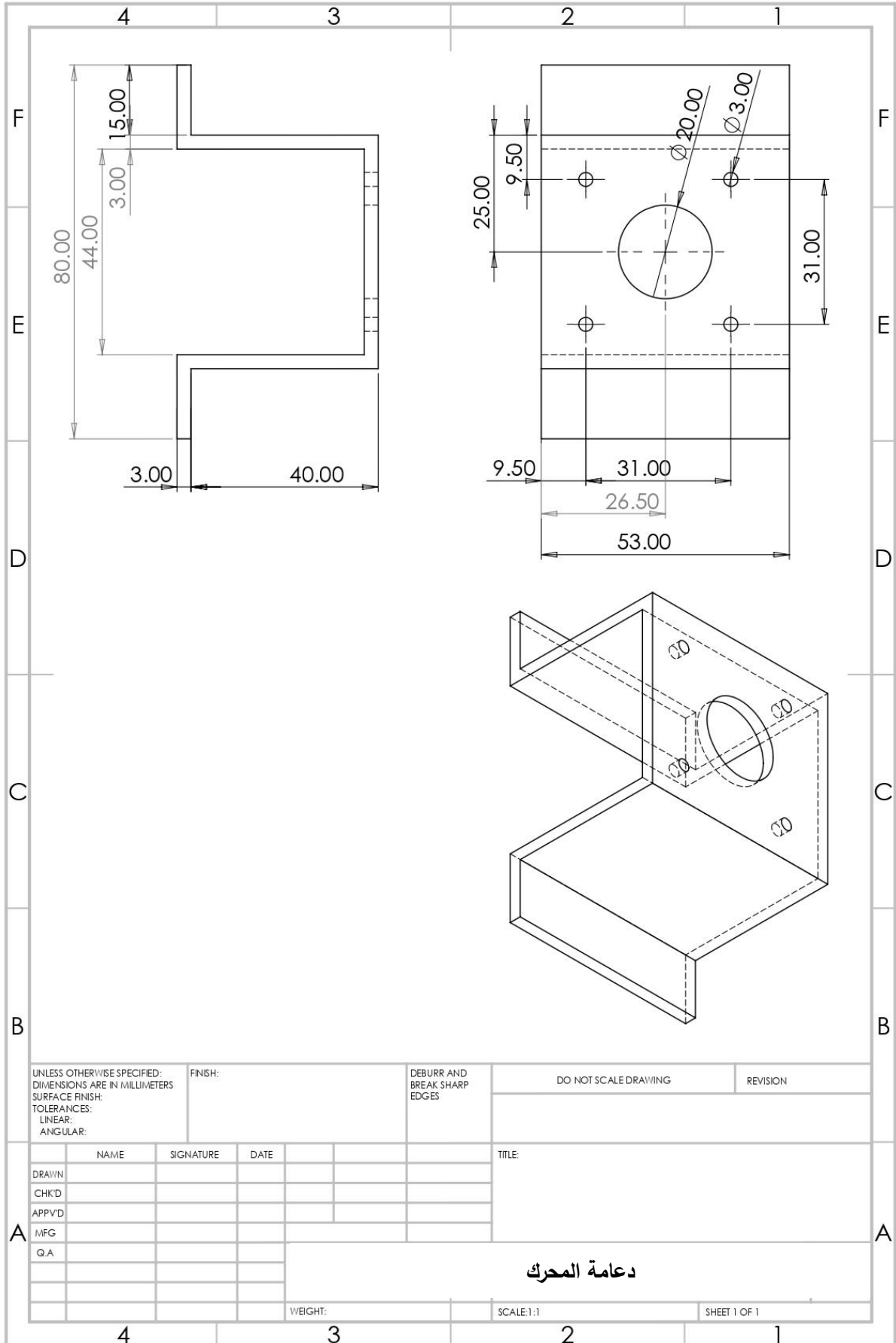
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:
DRAWN						
CHKD						
APPVD						
MFG						
Q.A						

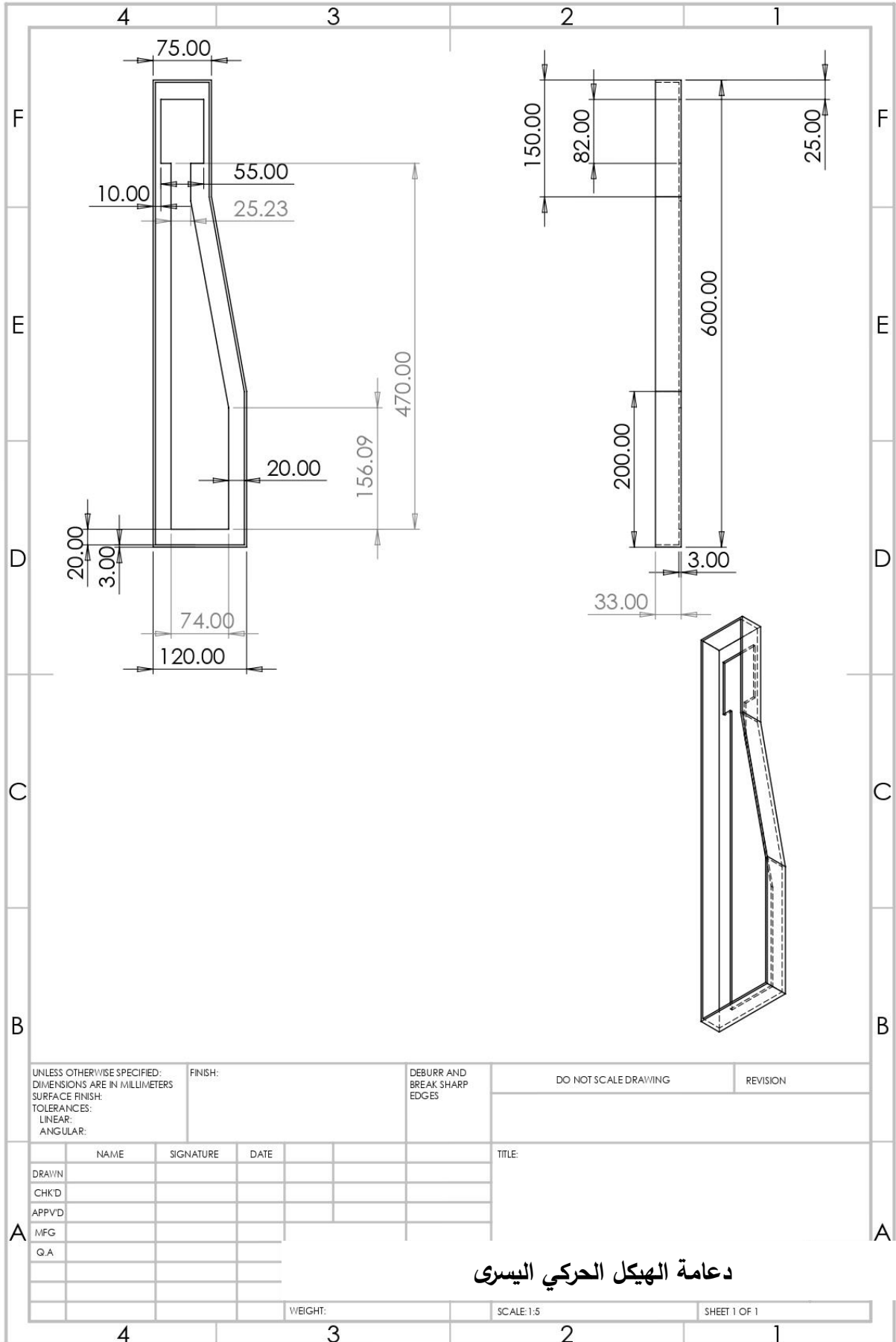
دعامة دليل الحركة الخطية العمودية (5)

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APP'VD		
MFG		
Q.A		

TITLE:

دعامة الهيكل الحركي اليسرى

WEIGHT:

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1

