



الجمهورية العربية السورية  
جامعة المنارة  
كلية الهندسة  
قسم هندسة الميكاترونكس

## منصة لتصنيع قطع تشغيل CNC

دراسة أعدت لنيل الإجازة في هندسة الميكاترونكس

إعداد الطلاب

عادل ضبطي

فيليب ياخور

علي زيادة

إشراف

المهندس جبران خليل

الدكتور بسام عطية

العام الدراسي 2021-2022

## الفهرس

2	الفهرس
5	قائمة الأشكال
6	قائمة الجداول
7	الفصل الأول المقدمة
7	1-1. هدف المشروع
7	2-1. فهرس المشروع
9	الفصل الثاني التحكم العددي المحوسب CNC
9	1-2. تمهيد
10	2-2. تطوير السوق
11	3-2. العتاد المادي Hardware
11	4-2. أنواع التحكم
12	1-4-2. التحكم النقطي Point control
12	2-4-2. التحكم الخطي Route control
12	3-4-2. التحكم في المسار (المحوري Path control)
13	5-2. محاور الآلة
15	6-2. النقاط المرجعية
16	7-2. أنواع الأبعاد
16	1-7-2. الأبعاد المطلقة (G90)
16	2-7-2. أبعاد السلسلة (G91)
16	8-2. البرمجة

- 16.....1-8-2. أوضاع البرمجة
- 17.....2-8-2. طريقة البرمجة
- 17.....3-8-2. برمجة DIN / ISO أو كود G
- 18.....الفصل الثالث المفاهيم العملية.
- 19.....1-3. تصميم CAD وكود G
- 20.....2-3. التصميم الميكانيكي لهيكل CNC
- 21.....3-3. آلة حفر الخشب CNC
- 22.....1-3-3. أنواع آلة الحفر CNC على الخشب
- 27.....2-3-3. مزايا آلة حفر الخشب CNC
- 27.....4-3. اختيار أدوات القص والقطع اللازمة.
- 28.....5-3. الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- 28.....1-5-3. مبدأ عمل الطباعة ثلاثية الأبعاد
- 30.....2-5-3. تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد
- 32.....3-5-3. مزايا وعيوب الطباعة ثلاثية الأبعاد
- 32.....6-3. برنامج Solid works
- 33.....7-3. العناصر المستخدمة في المشروع.
- 33.....1-7-3. محركات خطوية STEPPER MOTORS
- 34.....2-7-3. محرك سيرفو Servo Motor
- 36.....3-7-3. موديل البلوتوث HC-05
- 37.....4-7-3. الأردوينو أونو
- 39.....5-7-3. دائرة قيادة A4988
- 40.....8-3. الجزء البرمجي للمشروع
- 40.....1-8-3. منصة اب انفنتر (APP. Inventor)
- 44.....2-8-3. بيئة تطوير الأردوينو

46.....	الفصل الرابع التطبيق العملي.....
46.....	1-4. هيكل آلة الحفر على الخشب.....
48.....	2-4. توصيل الأجزاء والقطع الالكترونية.....
51.....	3-4. إنشاء تطبيق الأندرويد.....
53.....	4-4. آلية العمل.....
53.....	5-4. اختبار الآلة.....
55.....	الخاتمة.....
56.....	المراجع.....

## قائمة الأشكال

- الشكل 1. تقنية CNC. .... 10
- الشكل 2. نظام إحداثيات آلة CNC. .... 14
- الشكل 3. النقاط المرجعية في آلات CNC. .... 15
- الشكل 4. جهاز التوجيه ATC CNC. .... 22
- الشكل 5. آلة حفر جانبية. .... 23
- الشكل 6. آلة حفر حفرة جانبية أحادية الرأس. .... 24
- الشكل 7. آلة حفر جانبية بشفرة المنشار. .... 25
- الشكل 8. آلة الحفر المفصلي برأس واحد. .... 26
- الشكل 9. آلة حفر أوتوماتيكية بستة جوانب للخشب. .... 27
- الشكل 10. مراحل الطباعة ثلاثية الأبعاد. .... 29
- الشكل 11. نموذج للطباعة ثلاثية الأبعاد. .... 30
- الشكل 12. محرك خطوي NEMA 17. .... 34
- الشكل 13. محرك السيرفو ومكوناته. .... 35
- الشكل 14. بلوتوث HC-05. .... 37
- الشكل 15. لوحة ARDUINO UNO. .... 38
- الشكل 16. دائرة القيادة A4988. .... 39
- الشكل 17. طريقة بدء مشروع. .... 40
- الشكل 18. مساحة عمل تطبيق أب انفينتر. .... 41
- الشكل 19. واجهة البرمجة. .... 42
- الشكل 20. الطريقة الأولى في معاينة التطبيق. .... 43
- الشكل 21. طريقة تحميل التطبيق. .... 44
- الشكل 22. بيئة تطوير أردوينو. .... 45
- الشكل 23. التصميم الخاص برأس الحفر. .... 47
- الشكل 24. صورة قريبة لتصميم الجزء المحرك لرأس الحفر. .... 47
- الشكل 25. بعض الأجزاء المطبوعة 3D أثناء التركيب. .... 48
- الشكل 26. تثبيت المثقب. .... 49
- الشكل 27. دائرة الآلة. .... 49
- الشكل 28. صورة تمثل منظر علوي لآلة الحفر. .... 50
- الشكل 29. البلوكات المستخدمة في برمجة تطبيق الأندرويد. .... 51
- الشكل 30. معاينة تطبيق الأندرويد على المنصة (الاتصال بالآلة). .... 52

- الشكل 31 . معاينة تطبيق الأندرويد على المنصة (التحكم بحركة الآلة). ..... 52
- الشكل 32. واجهة التحكم بالآلة عن طريق الموبايل. .... 54

## قائمة الجداول

- الجدول 1. خصائص الأردوينو اونو. .... 38

# الفصل الأول

## المقدمة

تستخدم آلات التحكم العددي بالكمبيوتر (CNC) على نطاق واسع في الصناعات الإنتاجية، إذ حققت شعبية كبيرة في هذه السنوات الأخيرة.

يعد التصنيع باستخدام الحاسب الآلي طريقة لتصنيع المعادن حيث يتحكم الكود المكتوب في الماكينة في عملية التصنيع. يحدد الكود كل شيء من حركة رأس القطع والجزء إلى سرعة المغزل وعدد الدورات في الدقيقة وما إلى ذلك.

تستخدم خدمات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي طريقة التصنيع الطرحي " subtractive fabrication method"، هذا يعني أنه يتم إزالة المواد أثناء عملية الإنتاج، مما يجعلها عكس التصنيع الإضافي كالتباعة ثلاثية الأبعاد.

التصنيع باستخدام الحاسب الآلي ليس له حدود، فهي مناسبة لمجموعة واسعة من المواد بما في ذلك أنواع مختلفة من المعادن والبلاستيك والمركبات والخشب.

### 1-1. هدف المشروع

يهدف مشروعنا هذا إلى تصميم وتنفيذ آلة حفر CNC، حيث نقوم بدراسة المبادئ الأساسية للآلة ونبدأ بتصميم الأجزاء الرئيسية لها ثم تجريبيها والتأكد من سلامة عملها.

### 1-2. فهرس المشروع

يتضمن المشروع مجموعة من الفصول، هي:

الفصل الأول: مقدمة عامة عن المشروع.

الفصل الثاني: نقوم بإعطاء فكرة عن التحكم العددي المحوسب وبعض المفاهيم الأساسية المتعلقة به.

الفصل الثالث: نتحدث عن المفاهيم العملية والنقاط الأساسية التي يجب أخذها بعين الاعتبار، ومنها بعض المفاهيم المتعلقة بالطباعة ثلاثية الأبعاد وبالمحركات الكهربائية، ونتحدث عن المحركات الخطوية ومحركات السيرفو.

الفصل الرابع: نستعرض ما قمنا به من تطبيق عملي لتحقيق هدف المشروع.

في النهاية كانت الخاتمة، تلتها قائمة بالمراجع التي استندنا إليها في عملنا.

## الفصل الثاني

# التحكم العددي المحوسب CNC

### 2-1. تمهيد

التحكم العددي المحوسب "Computerized Numerical Control"، باختصار CNC، يشير إلى عملية إلكترونية للتحكم في أدوات الآلة.

التحكم العددي CNC، هو نوع التحكم الذي لا يتم به الاحتفاظ بالمعلومات كبرنامج كامل عند التحكم في الجهاز، بل تتم قراءته بشكل متقطع بواسطة شريط مثقوب.

تُعرف آلة CNC على أنها نظام تشغيل يديره جهاز كمبيوتر، فهي تمكن المصنّعين من أتمتة العديد من عمليات التصنيع التي كان يتعين القيام بها يدوياً.

نتيجة لذلك، يتم استخدام الآلات التي تعمل بنظام CNC لزيادة الإنتاجية وتقليل الفاقد وحتى القضاء على مخاطر الخطأ البشري. يمكن لآلات CNC أن تنتج عدداً من المنتجات باستخدام المشغلات والمحركات والبرامج.

سمحت تقنية CNC بالترشيد في الإنتاج الفردي والسلسلي من خلال حركة المحاور والأدوات بشكل أسرع مع دقة عالية. اليوم، فإن جميع أدوات الماكينة المطورة حديثاً تم تجهيزها بجهاز تحكم CNC، لكن مع استمرار وجود الأدوات الآلية التقليدية القديمة في جميع أنحاء العالم.



الشكل 1. تقنية CNC.

## 2-2. تطوير السوق

في بداية الثمانينيات، كانت هناك طرق لتبسيط برمجة CNC والتخلي عن برمجة DIN/ ISO، وقد أدى ذلك إلى تطوير ما يسمى بالبرمجة الموجهة نحو ورشة العمل (WOP)، والتي تحتوي على واجهة برمجة مبسطة وموجهة للمستخدم مثل CAD. لقد أثبتت نفسها بشكل خاص في معالجة الأخشاب والبلاستيك في مراكز التصنيع باستخدام الحاسب الآلي وفي إنتاج الأجزاء الفردية.

بالإضافة إلى ذلك، مع DNC (التحكم العددي الموزع)، يتم استخدام تقسيم العمل المرتبط بالشبكة، وإنشاء برنامج في المكتب/برنامج المحاكاة في مكان العمل لفحص التصادم وتحسين/نقل البرنامج إلى CNC. أصبح هذا الشكل من البرمجة أكثر أهمية، لا سيما في إنتاج جزء واحد وسلسلة صغيرة، لأنه هنا على وجه الخصوص يمكن تقليل أوقات التوقف عن البرمجة على الجهاز نفسه بشكل كبير، بحيث يمكن استخدام الآلات بشكل أكثر إنتاجية بشكل عام.

حتى وقت قريب، كان ما يسمى بـ soft-CNC يغزو سوق التحكم CNC، وفيه لا تعمل جميع وظائف التحكم، كحلقات تحكم مطبقة إلكترونياً (أجهزة)، ولكن كبرامج في كمبيوتر صناعي متوفر تجارياً. هذه الأنظمة بشكل

عام أرخص بكثير، كما أنها أسهل في صيانتها أو توسيعها أو تكييفها، يتم توصيل محرك الأقراص عبر بطاقة توصيل للكمبيوتر الشخصي من خلال نظام ناقل رقمي.

## 2-3. العتاد المادي Hardware

يعمل CNC على جهاز كمبيوتر صناعي خاص بالشركة المصنعة يتم تثبيته في خزانة التحكم أو خلف الشاشة مباشرةً. تتيح المعالجات 32 بت بساعة ترددية في نطاق GHz أوقات دورة الكتلة أقل من 1 مللي ثانية (وقت التحضير لكتلة خطية ثلاثية الأبعاد غير مصححة). هذا يعني أنه عند تنفيذ برنامج تتبع فيه المواضع بعضها البعض على مسافات 0.1 مم، يمكن الحفاظ على معدل تغذية عمل (ثقيب) البالغ 6 م/ دقيقة دون حدوث تشويش.

تخزين البيانات غير المتطايرة لبيانات الآلة والبرامج المستخدمة في SDRAM مع بطارية أو مجمع عند إيقاف تشغيل الجهاز. لاحقاً، يتم تركيب الأقراص الصلبة التي تم تعليقها بطريقة خاصة لامتناس الاهتزازات، وحالياً يتم استخدام ذواكر الفلاش بشكل متزايد.

الواجهات التالية متاحة لنقل البرامج من محطة البرمجة إلى CNC والعكس:

- (a) واجهة تسلسلية RS-232 حتى 20 متراً، أو RS-422 حتى 1200 متر.
- (b) واجهة إيثرنت (شبكة LAN) حتى 100 متر، أسرع اتصال.
- (c) أو موصل لوسائط التخزين القابلة للنقل: بطاقة PCMCIA و Compact Flash و USB stick

## 2-4. أنواع التحكم

التحكم في أداة آلة CNC عبر جهاز مدمج مباشرة في كمبيوتر التحكم، والذي من خلال الموضع "position" والدوران (الزاوي) "rotational"، يكتشف الحالة الفعلية ويتحكم فيها، وبعد حساب الاستيفاء إلى الحالة المستهدفة من برنامج CNC، يتحكم في المحركات وعناصر الماكينة الأخرى التي يتم التحكم فيها وفقاً لذلك. يتم الاستيفاء في نطاق ملي ثانية، بحيث يتم ضمان الدقة المرتفعة حتى عند السرعات العالية ومع الأشكال المعقدة.

تسمح تقنية CNC بالمعالجة الآلية باستخدام عدة محاور يتم التحكم فيها في وقت واحد، وتصنف أدوات التحكم CNC وفقاً لعدد المحاور التي يمكن استعمالها في نفس الوقت، مع التمييز بين التحكم في النقطة والخط والمسار.

## 2-4-1. التحكم النقطي Point control

باستخدام التحكم من نقطة إلى نقطة، يمكن تحديد نقطة نهاية الحركة فقط والتي تقترب منها الآلة بعد ذلك في أسرع مسار لها. على وجه الخصوص، لا يوجد تنظيم متدرج لسرعة الانتقال أثناء الحركة ولكن محركات الأقراص عادةً ما تعمل بأسرع ما يمكن. لذلك، لا يمكن للأداة التدخل إلا عند نقاط نهاية الحركة وحفر ثقب أو ثقبه.

## 2-4-2. التحكم الخطي Route control

يعد التحكم في المسار في الأساس عنصر تحكم في نقطة يمكن من خلاله أيضاً التحكم في سرعة الحركة بدقة. يتم استخدام التحكم في المسار للتحكم في سرعة وموضع محور واحد في كل مرة، وبالتالي من الممكن اجتياز حركة موازية محورياً بمعدل تغذية عامل؛ أي: ثقب أخدود مستقيم مثلاً. لا يوجد هذا النوع من التحكم إلا في الآلات الصغيرة والمتخصصة، أي آلات لشركات التدريب وآلات ثقب الفتحات، لأنها غير مرنة ولا يوجد سوى فرق بسيط في السعر للتحكم المحوري. في حالة الإصدارات القديمة ذات الشفرات الدوارة، لا يمكن تصحيح الأخطاء الهندسية في الدليل أثناء تسلسل الحركة.

## 2-4-3. التحكم في المسار (المحوري Path control)

مع التحكم في المسار، يمكن تحقيق أي حركات باستخدام محورين على الأقل يتم التحكم فيهما في وقت واحد. ينقسم التحكم في المسار إلى محاور محرف ومتحكم "في نفس الوقت". تعني محاور الاستيفاء أن تسلسلات الحركة المستقلة في البداية للمحاور الفردية تتم مزامنتها مع بعضها البعض بطريقة تجعل رأس الأداة بأكبر قدر ممكن من الدقة التي يتبعها one Bahn المبرمج والمصحح.

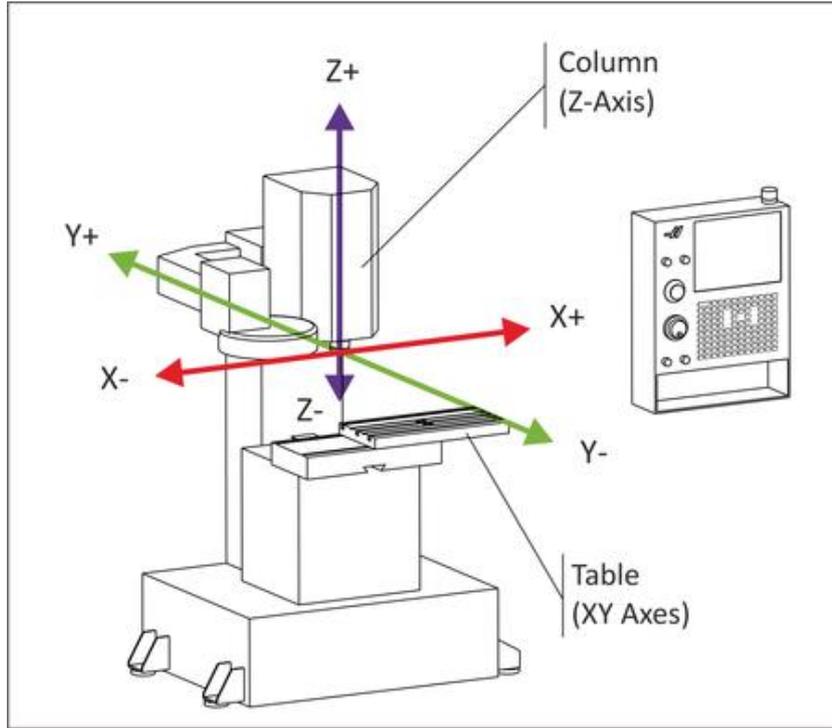
يمكن أن يتبع التحكم في المسار ثنائي الأبعاد أي خطوط ذات محورين محددتين. في حالة المخارط، غالباً ما يكون هذا كافياً لأن قطعة العمل تخلق البعد الثالث من خلال حركتها الدورانية. إذا كان بإمكان المشغل الاختيار بين المحاور، فإن المرء يتحدث عن التحكم في المسار ثنائي الأبعاد، وهو أمر قياسي اليوم في المخارط بأدوات مدفوعة.

إذا كان من الممكن استيفاء ثلاثة محاور متحكم بها مع بعضها البعض، فسيتم تسميتها بالتحكم في المسار ثلاثي الأبعاد، وهو قياسي في آلات CNC.

## 2-5. محاور الآلة

تقوم الضوابط الحديثة بإدارة وتنظيم أكثر من 30 محوراً إذا لزم الأمر، ويمكن تقسيمها إلى عدة أجزاء؛ آلة افتراضية ومستقلة.

باستخدام ثلاثة محاور متعامدة بشكل متبادل X و Y و Z، يتم الوصول إلى كل نقطة في منطقة المعالجة لأداة الآلة. وهكذا، يمكن استيفاء جميع المسارات التي يمكن تصورها، ولكن مع تقييد واحد مهم يتضح بشكل خاص في مثال آلة الطحن "milling": تكون أداة الدوران دائماً متعامدة مع الجدول المتقاطع. يمكن أن تتطلب المعالجة الآلية عالية الجودة من الناحية التكنولوجية، على سبيل المثال، أن يكون قاطع الطحن متعامداً مع المحيط المراد طحنه.



الشكل 2. نظام إحداثيات آلة CNC.

توفر العديد من الآلات الحديثة إمكانية تدوير طاولة الماكينة أو تدويرها من أجل تمكين مزيد من المعالجة الكنتورية، وتعتمد محاور الدوران هذه على الترتيب على الجهاز (وفقاً لـ DIN66217) مع الأحرف (C: A, A, B)

تدور حول المحور X.

B حول المحور Y

C حول المحور Z.

بينما يتم التحكم في هذه المحاور فقط أو حتى تشغيلها على آلات قديمة أو بسيطة، فإن عناصر التحكم في مراكز المعالجة تنظمها وتستكملها اليوم. يمكن تكوين المحاور المتوازية الخطية إلى X و Y و Z أو إنشاؤها فعلياً، والتي يتم تعيينها بعد ذلك باستخدام U، V، W.

## 2-6. النقاط المرجعية

### نقطة الصفر M (Machine zero point)

إنه أصل نظام إحداثيات الماكينة ويتم تحديده من قبل الشركة المصنعة للجهاز.

### النقطة المرجعية R (Reference point)

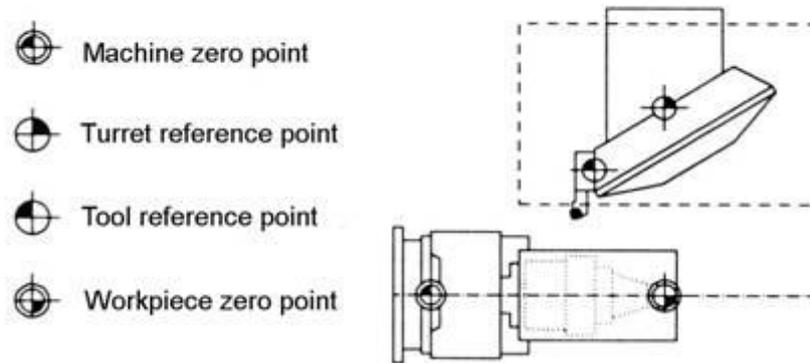
هو أصل نظام قياس الموضع التزاوي بمسافة إلى الماكينة نقطة الصفر المحددة من قبل الشركة المصنعة. لمعايرة نظام قياس الموضع، يجب التعامل مع هذه النقطة في جميع محاور الماكينة باستخدام النقطة المرجعية لحامل الأداة T.

### النقطة المرجعية لحامل الأداة T (Tool carrier reference point)

يتم توسيطه على سطح التوقف لحامل الأداة. في آلات الثقب، يكون هذا هو رأس المغزل، وفي المخارط يكون سطح توقف حامل الأدوات على البرج.

### نقطة صفر الشغل W (Workpiece zero point)

هو أصل نظام إحداثيات قطعة العمل ويحدده المبرمج وفقاً لجوانب التصنيع.



الشكل 3. النقاط المرجعية في آلات CNC.

## 2-7. أنواع الأبعاد

### 2-7-1. الأبعاد المطلقة (G90)

يتم إدخال إحداثيات النقاط المستهدفة لحركة العبور كقيم مطلقة، أي المسافة الفعلية من نقطة W. من خلال تحديد كلمة G90 NC، تتم برمجة عنصر التحكم لبرمجة الأبعاد المطلقة، بعد التبديل، يتم ضبط عنصر التحكم تلقائياً على G90.

### 2-7-2. أبعاد السلسلة (G91)

في برمجة أبعاد السلسلة (تسمى أيضاً برمجة الأبعاد الإضافية)، يتم إبلاغ عنصر التحكم بإحداثيات النقطة المستهدفة للحركة العابرة من النقطة التي تم الاقتراب منها مؤخراً. وبالتالي، فإن النقطة الأخيرة التي تم الوصول إليها هي أصل النقطة التالية؛ يمكن للمرء أن يتخيل أن نظام الإحداثيات ينتقل من نقطة إلى أخرى. من خلال تحديد كلمة G91 NC، تتم برمجة عنصر التحكم لهذه البرمجة المتزايدة. الأمر G91 له تأثير مشروط، أي أنه يظل صالحاً في البرنامج حتى يتم إلغاؤه مرة أخرى بواسطة الأمر G90.

## 2-8. البرمجة

هناك أنواع وطرق مختلفة للبرمجة، وتعتبر الانتقالات بين عمليات البرمجة سلسة ولا يمكن فصلها بشكل مباشر. العديد من طرق البرمجة ممكنة على CNC الحديثة، وتهدف القائمة التالية إلى تقديم نظرة عامة، مع أمثلة جزئية.

### 2-8-1. أوضاع البرمجة

- بعيدة عن الجهاز في محطة البرمجة؛ بعيدة عن ضجيج الآلات، تتيح إمكانية استمرار الآلة في العمل.
- بالقرب من الجهاز؛ مباشرة على الجهاز، الميزة: يستخدم العمال المهرة معرفتهم المتخصصة وحقيقة أنهم يراقبون باستمرار تقدم الإنتاج.

## 2-8-2. طريقة البرمجة

- ☒ البرمجة اليدوية: أدخل / قم بتغيير كل حرف من البرنامج يدوياً.
- ☒ برمجة الآلة: CAD → CAM؛ على سبيل المثال: تحويل هندسة ثنائية الأبعاد أو نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام المعالجات الأولية والمعالجات اللاحقة إلى برنامج مفهوم آلياً.
- ☒ كود (DIN / ISO) G
- ☒ برمجة المعلمات: لا يمكن تحرير البرنامج الفعلي بواسطة مشغل الآلة.

## 2-8-3. برمجة DIN / ISO أو كود G

- يتم وصف بنية السجل والعنوان لمعلومات التحكم العددي التي سيتم إرسالها في معيار DIN 66025 / ISO 6983، والذي يشار إليه عادةً باسم برمجة DIN / ISO للاختصار. يمكن تشغيل برنامج DIN على أي آلة CNC، لكن هناك أوامر خاصة لجميع الأجهزة تقريباً.
- على سبيل المثال: الدورات التي لا يمكن تفسيرها إلا من خلال هذه الآلات. الدورات هي إجراءات فرعية جاهزة يمكن تكييفها مع المعلمات / المتغيرات. يمكن استخدامها لوصف "الجيوب" (ملامح مستطيلة أو جيوب مماثلة) أو الثقوب، إلخ. هذه الدورات تجعل البرمجة أسهل وتوفر الوضوح.

## الفصل الثالث

### المفاهيم العملية

استخدم الحرفيون المنشار والمقح ونحتوا بشكل يدوي على الخشب، وفي الصناعة استخدم الصناعيون يستخدمون المخارط والفرايز اليدوية لتشكيل معادن وإخراج قطعة ميكانيكية حسب القياسات المطلوبة. في هذه الحالات فإن هؤلاء الحرفيين يقومون بتحريك أدوات القطع يدوياً لإخراج المطلوب وهو ما قد يتطلب ساعات طويلة من العمل ومحدودية في دقة الناتج، بالإضافة أنها تحتاج إلى خبرات كبيرة قبل الوصول إلى مراحل متقدمة.

في حالة السي أن سي (CNC) فإننا نقوم بكتابة أوامر حركية للماكينة لتقوم بتنفيذها سطرًا سطرًا. سلسلة الأوامر هذه تدعى برنامج الـ G-Code. حركة الطاولة (التي تثبت عليها القطعة المشغولة)، وحركة أداة القطع وسرعة دوران أداة القطع والأوامر الثانوية مثل تغيير أداة القطع وتشغيل وإطفاء التبريد والشفط والتثبيت ستكون كلها متواجدة في هذا البرنامج.

سيقوم البرنامج بإعطاء الأوامر بشكل متتابعي لجميع المحركات (Motors) والمتحكمات وإكسسوارات الماكينة للقيام بالعمليات التي طلبها المصمم. كتابة الأوامر تجعل من السهل تنفيذ عمليات معقدة باستخدام الماكينة. على سبيل المثال يمكنك تشكيل مجسمات ثلاثية الأبعاد معقدة جداً باستخدام برنامج معد مسبقاً..

عملية الخراطة باستخدام CNC تتألف من الخطوات الأساسية التالية:

(1) إنشاء تمثيل رقمي للجزء في CAD

(2) إنشاء رمز المعالجة من ملفات CAD

(3) إعداد مخرطة CNC

(4) تصنيع الأجزاء المخروطة

## 3-1. تصميم CAD وكود G

يمكن اعتبار الخطوتين الأوليين في تصميم وعمل CNC الممثلتين في:

(1) إنشاء تمثيل رقمي للجزء في CAD

(2) إنشاء رمز المعالجة من ملفات CAD

منفصلتين أو تسيران جنباً إلى جنب.

تتمثل إحدى الطرق في استخدام برنامج CAD لإنشاء الملفات وإرسالها إلى الإنتاج. سيقوم مهندس التصنيع بعد ذلك بإنشاء رمز G ورمز M لوظيفة المعالجة.

هناك طريقة أخرى وهي استخدام برنامج<sup>1</sup> CAD-CAM الذي يتيح لمهندس التصميم اختبار إنتاجية الجزء. يمكن لأدوات المحاكاة القوية تصور العملية برمتها من المواد الخام إلى المنتج النهائي، حتى باستخدام المدخلات المتعلقة بمتطلبات التشطيب.

### العلاقة الوثيقة بين الـCNC و الـCAD/CAM

منذ بداية عهد السي أن سي في أربعينات القرن الماضي ونحن نتحكم في السي أن سي باستخدام أوامر حركية مكتوبة كما في المثال التالي:

G0 X0 Y0 Z15 : إذهب بشكل سريع جداً إلى الإحداثيات 0,0,15

G0 X5 Y0 Z15 : تحرك بشكل سريع جداً في محور السينات 5 ميليمتر

T10 M6 : قم بتركيب أداة القطع رقم 10

S5000 M3 : شغل محرك القطع بسرعة 5000 دورة/ثانية

---

<sup>1</sup> Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacture

G1 X10 Y5 Z0 F500 : تحرك بسرعة 500 ملم/دقيقة للوصول إلى الإحداثيات 10،5،0.

المثال السابق هو عبارة عن برنامج جي كود (G-Code) وكما لاحظت فإن طريقة إعطاء الأوامر بشكل برمجي قد تكون عملية إذا أردت توجيه الماكينة لقطع شكل مربع أو دائري أو أي شكل هندسي بسيط، لكن هذا لن يكون سهلاً في حالات تنفيذ الأشكال ثلاثية الأبعاد أو الهندسية المعقدة.

نتيجة للحاجة لحل هذه المشكلة ظهرت برامج تساعد على كتابة الأوامر بناءً على معطيات رسومية سميت هذه البرامج ببرامج الـ CAM (إختصاراً لـ Computer Aided Manufacturing : أي التصنيع بمساعدة الكمبيوتر) وهو علم واسع ومستقل وهناك العديد من البرامج التي تقدم هذه الخدمة بشكل منفصل أو بشكل مندمج مع برامج الرسم بما يعرف بـ CAD/CAM.

أخيراً، هناك أيضاً طريقة يدوية لإنشاء الكود، إذ إنشاء الكود تلقائياً من رسم ثنائي الأبعاد، مما يترك لك خيارين - إما كتابة الكود يدوياً أو إنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد أولاً.

حتى برامج الـ CAM القوية قد لا تحصل دائماً على كل شيء في الحال، لذا يوصى بالتحقق من التعليمات المشفرة.

### 3-2. التصميم الميكانيكي لهيكل CNC

بعد الانتهاء من المرحلتين الأوليين، يأتي إعداد الجهاز. هذا هو المكان الذي يتضح فيه دور مشغل الماكينة، وعلى الرغم من أن آلات حفر CNC المعاصرة تقوم بمعظم العمل تلقائياً، إلا أن المشغل لا يزال يلعب دوراً حيوياً.

خطوات إنشاء آلة حفر CNC:

1. التأكد من قطع التيار الكهربائي. يمكن أن يكون التصنيع باستخدام الحاسب الآلي أمراً خطيراً، لذا فإن العناية الإضافية ضرورية والتحقق من مفتاح الطاقة هو الأساس لذلك.

2. تأمين الأجزاء، حيث يمكن أن يشكل التحميل غير السليم مخاطر عدة، كما ينتج عنه جزء مكتمل بأبعاد خاطئة.
3. تحميل برج الأداة "tool turret". تتكون الآلة من العديد من المراحل، لذا تأكد من اختيار الأدوات المناسبة لإنهاء عمل معين. يمكن للبرج أن يحمل العديد من الأدوات في وقت واحد لتشغيل سلس من البداية إلى النهاية (أداة ثقب، قص.....).
4. المعايرة. يجب إعداد كل من الأداة والجزء بالطريقة الصحيحة، إذا تم إيقاف أي شيء، فلن تلبى النتيجة المطلوب.
5. تحميل البرنامج. الخطوة الأخيرة قبل الضغط على زر البدء هي تحميل الكود إلى آلة CNC.

### 3-3. آلة حفر الخشب CNC

آلة حفر الخشب CNC هي آلة حفر CNC مصممة خصيصاً لحفر الأخشاب. كنوع من معدات التحكم العددي، تتميز آلة حفر الأخشاب أيضاً بخصائص الكفاءة العالية والدقة العالية وعمر الخدمة الطويل. لذلك، استبدلت آلة الحفر CNC تدريجياً المناقب اليدوية في صناعة الأثاث. على الرغم من أن الغرض فردي، إلا أن هناك العديد من أنواع آلات حفر الأخشاب. يمكن لكل نوع أن يحقق وظائف حفر مختلفة.

تستخدم آلة حفر الأخشاب بشكل أساسي في عمليات الحفر والنحت في صناعة الأخشاب وصناعة الأثاث. يمكنها عمل مجموعات من الثقوب المتعددة على الألواح الخشبية. تعتبر آلة الحفر CNC مفيدة جداً في الحالات التي تتطلب حفرًا دقيقاً للوحة. هذا صحيح بشكل خاص في صناعة الأثاث التي تتطلب عمل ثقوب في الداخل أو أرفف الخزائن والخزائن الأخرى. يستخدم أثاث اللوحة أو مصنعي الأثاث المخصصين آلة الحفر CNC لإكمال أعمال الحفر الجماعية. بالمقارنة مع الحفر اليدوي التقليدي، فإن آلة الثقب CNC سهلة التشغيل، وذات كفاءة عالية وخطأ صغير، وتوفر العمالة.

### 3-3-1. أنواع آلة الحفر CNC على الخشب

هناك أنواع عديدة من آلات حفر الأخشاب لصناعة الأثاث. يمكن أن تنقسم بشكل أساسي إلى أربعة أنواع، مثل جهاز التوجيه ATC CNC مع رأس مجمع، وآلة حفر جانبية، ومفصلة، ومركز حفر خماسي أو ستة جوانب. يمكن لجميع آلات الحفر هذه تحقيق عملية الحفر، ولكن لكل منها وظائف وميزات خاصة بها.

1. جهاز التوجيه ATC CNC مع رأس التجميع أو رأس الحفر

هذا هو مزيج من جهاز التوجيه ATC CNC ورأس تجميع CNC أو رأس حفر. يمكن لكل من جهاز التوجيه ATC CNC ورأس الركام CNC حفر ثقب على الألواح. لكن جهاز التوجيه ATC CNC يمكنه فقط حفر ثقوب عمودية ويمكن لرأس التجميع CNC حفر ثقوب على أسطح متعددة.



الشكل 4. جهاز التوجيه ATC CNC.

هذا النوع من آلات حفر الأخشاب هو أيضاً آلة التعشيش CNC. تشمل وظائفها الرئيسية أيضاً القطع والنقش والحفر، على غرار آلات التوجيه CNC. تم تجهيز رأس التجميع CNC بالعديد من لقم الثقب CNC وشفرة المنشار وقادرة على حفر أنواع متعددة من الثقوب وألواح القطع.

2. آلة حفر جانبية

كما يوحي الاسم، فإن آلة الحفر الجانبية تستخدم بشكل أساسي لحفر الثقوب وعمل الأحاديث على جوانب الألواح. آلة حفر الأخشاب هذه لها تطبيقات واسعة في إنتاج الخزانات، أبواب الخزائن، الأبواب، وغيرها من

الأثاث. آلة حفر الثقب الجانبي تعتمد حفر تحديد المواقع بالليزر ووضع المسح الضوئي للرمز الشريطي وهي سهلة التشغيل. يحتاج المشغلون فقط إلى تدريب بسيط لتشغيل هذه الآلة. آلة التثقيب ذات الفتحات الجانبية لديها محطات متعددة ويمكنها معالجة ثلاث لوحات صغيرة في عملية واحدة. يمكن لماكينة حفر جانب واحد أن تعمل مع 2-3 ماكينات متداخلة CNC لحل مشكلة الحفر الأفقي بسهولة. في نفس الوقت، يمكن لآلة الثقب CNC للفتحة الجانبية تحقيق تبديل اللوحة الطويلة والقصيرة، ثقب وتد، ثقب واحد، تبديل الفتحة العمياء، تلبية متطلبات العملية المختلفة.



الشكل 5 . آلة حفر جانبية.

وفقاً للتكوين، يمكن تقسيم آلة حفر الفتحة الجانبية إلى ثلاثة أنواع، رأس واحد، رأس مزدوج ورأس مزدوج بشفرة المنشار. تدعم جميع الأنواع الثلاثة من آلات الحفر الجانبي حفر تحديد المواقع بالليزر وحفر مسح الرمز الشريطي. يمكنهم تحقيق مملدة ذكية بدون تشغيل مفرط من قبل المشغل.

آلة الثقب الجانبي لتحديد المواقع بالليزر تستخدم مستشعر الليزر الأمريكي Bonner. يمكنها الإحساس وتحديد الموقع بدقة لضمان دقة الحفر. آلة حفر ذات رأس واحد ورأس مزدوج آلة الحفر الجانبية ذات الرأس المفرد لديها لقمة حفر واحدة ويمكن أن تتحرك فقط في محور واحد، أي للأمام وللخلف.

في حين أن آلة التثقيب ذات الرأسين لديها لقمتي حفر CNC ويمكنهما التحرك ليس فقط للأمام والخلف ولكن أيضاً لأعلى ولأسفل. يمكن لآلة حفر الفتحة الجانبية ذات الرأس الواحد حفر ثقوب جانبية على أثاث الألواح. على سبيل المثال، فتحات الموصل الثلاثة في واحد، الثقوب العمياء، فتحات المسامير والأخاديد. يمكن

للآلة ذات الرأسين، باستثناء الثقوب أعلاه، حفر ثقوب للموصلات غير المرئية. يوجد أدناه آلة حفر الفتحة الجانبية ذات الرأس الفردي والرأس المزدوج من Blue Elephant .

آلة حفر حفرة جانبية أحادية الرأس إنها آلة حفر الخشب ذات الفتحة الجانبية برأس حفر واحد. يمكن أن تتحرك لقمة الحفر للأمام وللخلف فقط لحفر الثقوب الجانبية والثقوب المسننة وأنواع أخرى من الثقوب. يمكنها التبديل بحرية بين حفر تحديد المواقع بالألياف ووضع الحفر لمسح الرمز الشريطي. يمكن لأي من وضعيات الحفر تحسين كفاءة الحفر.



الشكل 6. آلة حفر حفرة جانبية أحادية الرأس

#### آلة حفر الفتحات الجانبية ذات الرأس المزدوج

آلة حفر الأخشاب ذات الفتحة الجانبية لها مظهر مشابه للرأس المفرد، ولكن برأسين حفر. يمكن أن يتحرك هذان الرأسان في محورين. لذلك يطلق عليها أيضاً آلة الحفر الجانبية ذات المحورين. باستثناء الوظائف التي يمكن لآلة حفر الفتحة الجانبية ذات الرأس الواحد تحقيقها، يمكنها أيضاً عمل أحاديد للموصلات غير المرئية. إنها مناسبة تماماً لإنتاج الخزانات وأبواب الخزائن التي يتم تثبيتها بموصلات غير مرئية.

تنتهي كلتا الآلتين إلى آلة حفر الأخشاب متعددة المحطات. يمكن وضع ثلاث لوحات على منضدة العمل للحفر في وقت واحد في عملية صنع الخزانة. إنه يزيد بشكل كبير من كفاءة الحفر.

#### آلة حفر جانبية بشفرة المنشار

بجانب آلة الثقب الجانبي برأس واحد ورأسين، هناك أيضاً آلة حفر بفتحة جانبية بثلاثة رؤوس. هذا النوع من آلات حفر الأخشاب عبارة عن آلة ذات رأسين بالإضافة إلى شفرة منشار في المنتصف. شفرة المنشار مناسبة

لعمل الأخاديد على جانب اللوحة للموصلات غير المرئية. كل من وظائف وأغراض آلة حفر الأخشاب هذه أفضل من تلك ذات الرأس الواحد والرأس المزدوج.



الشكل 7. آلة حفر جانبية بشفرة المنشار.

### 3. آلة الحفر المفصلي

النوع الثالث من آلة حفر الخشب CNC هو المثقاب المفصلي بوظائف بسيطة. إنها آلة حفر CNC تستخدم في عملية صنع أثاث الألواح لحفر ثقوب المفصلات. آلة الحفر المفصلية لها تطبيقات واسعة في حفر ثقوب المفصلات على ألواح خزانة الملابس والأبواب والخزائن وأبواب الخزنة. يمكنها حفر ثقب المفصلة وفتحات المسامير بجانب فتحة المفصلة في وقت واحد.

هذا يحسن بشكل كبير من كفاءة الحفر. تقوم قاعدة تحديد الموضع وجهاز الضغط الهوائي بإصلاح اللوحة بإحكام، بحيث يصل ثقب المفصلة المحفور إلى المعيار المثالي. إنها تعتمد مفتاح القدم للتحكم في العملية، وهي آمنة وموفرة للبيد العاملة. آلة الحفر المفصلية تشمل بشكل أساسي الحفر المفصلي ذو الرأس المفرد والحفر المفصلي برأسين الفرق بينهما هو أن المثقاب المفصلي مزدوج الرأس مجهز برأسين حفر. لذلك يمكنها حفر ثقوب مفصلية على لوحين أو حفر فتحتين مفصليين على لوح واحد في وقت واحد. كفاءة العمل للمفصلة ذات الرأس المزدوج أعلى من المثقاب المفصلي برأس واحد.

## آلة الحفر المفصلي برأس واحد

هذه هي آلة الحفر المفصلية ذات الرأس الواحد Blue Elephant. إنه مدمج وسهل التشغيل. آلة حفر الخشب تتبنى مفتاح دواسة. ويمكن لمخدم تحديد المواقع والمقياس الدقيق ضمان دقة الحفر. يمكن تعديل موضع الحفر طولياً وأفقياً للتكيف بسرعة مع متطلبات الحفر.



الشكل 8. آلة الحفر المفصلي برأس واحد.

## 4. مركز حفر CNC خماسي وستة جوانب

مركز الحفر CNC ذو الجوانب الخمسة والستة هو نوع من آلات الحفر CNC الأكثر تقدماً. يمكن لآلة الحفر ذات الجوانب الخمسة والسادسة أن تكمل أعمال الحفر والحفر على خمسة وستة جوانب من اللوحة في وقت واحد. تتميز آلة الحفر ذات الجوانب الخمسة والسادسة بأتمتة عالية المستوى. إنها تعتمد خوارزمية متقدمة لتحسين المسار لتحقيق أعمال الحفر والنقش على خمسة وستة جوانب من اللوحة. بالاقتران مع آلة CNC المتداخلة، يمكنها تحقيق إنتاج مؤتمت بالكامل للأثاث المخصص. العملية بسيطة. ليست هناك حاجة لقلب اللوحة يدوياً أثناء عملية الحفر، مما يحسن من كفاءة العمل. بالمقارنة مع الاثني عشر، فإن آلة حفر الأخشاب ذات الجوانب الستة لديها تكوين أكثر تقدماً ودقة أعلى وكفاءة أعلى.



الشكل 9. آلة حفر أوتوماتيكية بستة جوانب للخشب.

### 3-3-2. مزايا آلة حفر الخشب CNC

1. الدقة الفائقة هي أكبر ميزة لاستخدام آلة حفر يتم التحكم فيها بواسطة الكمبيوتر. مع هذا، فإن الثقوب أو الأخاديد السطحية النهائية تفي بالمواصفات الدقيقة وللتفاوتات الشديدة.
2. يمكن لآلة حفر الخشب CNC أن تحفر ثقوباً أو تجعل الأخاديد أسرع بكثير من طريقة الحفر اليدوية. هذا يحسن كفاءة الإنتاج بأكملها، ويقلل من نفقات العمالة ويحسن خطوط الإنتاج.
3. البراعة. إنها ميزة مهمة أن بعض آلات الحفر CNC قادرة على قبول بتات متعددة. على سبيل المثال، جهاز التوجيه ATC CNC برؤوس مجمعة، وآلة حفر الخشب بخمسة وستة جوانب. تحتوي وحدات الحفر التي تحملها على أنواع عديدة من لقم الثقب، والتي يمكنها تلبية متطلبات الحفر المختلفة.
4. قابلية إعادة الإنتاج. خاصة عند إنتاج منتج بكميات كبيرة، فإن آلة الحفر CNC هي طريقة الحفر المفضلة. يمكنها حفر الثقوب بكفاءة ودقة عالية وإنتاج منتجات متسقة.

### 3-4. اختيار أدوات القص والقطع اللازمة

تتضمن المواد المناسبة للحفر الخشب والمعدن والزجاج وهي تحدد نوع المخارط المناسبة، لأنها تحتاج جميعاً إلى بعض الصفات المحددة، فضلاً عن سرعات القطع.

عندما يتعلق الأمر بالمظهر الجانبي المادي، نفضل المربع والمستدير والسداسي وما إلى ذلك. وتشمل المواد المناسبة للخراطة: معدن، خشب، زجاج، بلاستيك، الشمع ... إلخ.

### 3-5. الطباعة ثلاثية الأبعاد

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي إحدى طرق التصنيع الحديثة (التصنيع بالإضافة)، حيث يمكن تصنيع منتج ثلاثي الأبعاد مجسم وملمس من خلال تصميمه على الحاسوب ومن ثم طباعته (تصنيعه) بالطباعة ثلاثية الأبعاد. تتم عملية الطباعة عن طريق رص طبقات المادة الأولية فوق بعضها البعض حتى يكتمل شكل الجسم المطلوب. يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد طباعة منتج معقد جداً وبخامات مختلفة، وتستخدم في مجالات عديدة منها الطيران والفضاء والهندسة والطب والبناء والتعليم والترفيه مثل طباعة الطعام والإكسسوارات.

في السنوات الأخيرة، أصبح من الممكن مالياً تطبيق الطباعة ثلاثية الأبعاد على مستوى المشاريع الصغيرة-المتوسطة، بذلك انتقلت النمذجة من الصناعات الثقيلة إلى البيئة المكتبية. كذلك تقدم الطباعة ثلاثية الأبعاد عروضاً هائلة لتطبيقات الإنتاج، وتستخدم هذه التقنية في المجوهرات، الأحذية، التصميم الصناعي، العمارة، الهندسة، والانشاءات، السيارات، الطائرات، طب الأسنان والصناعات الطبية.

### 3-5-1. مبدأ عمل الطباعة ثلاثية الأبعاد

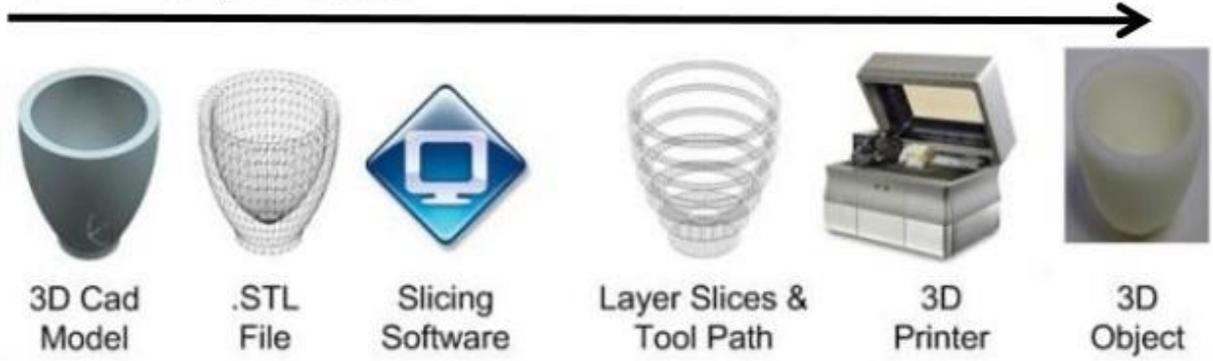
المبدأ العام في الطباعة ثلاثية الأبعاد واحد، حيث أنه تتم عملية الطباعة من خلال رص طبقات المادة الأولية فوق بعضها البعض حتى يكتمل شكل الجسم المطلوب.

الخطوة الأولى لطباعة مجسم ثلاثي الأبعاد هو بناء النموذج ثلاثي الأبعاد أو ما يسمى ملف "STL"، حيث يمكن الحصول عليه من الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد، أو من خلال تصميمه بإحدى البرامج المخصصة لذلك مثل: Solid Works, Autocad , 3D MAX، وبعد ذلك تأتي الخطوة الثانية وهي فحص الملف من الأخطاء في التصميم مثل عدم اتصال النقاط، حيث أن هذه الملفات بالعادة تحتوي العديد من هذه الأخطاء، خاصة تلك النماذج المأخوذة من الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد، وتسمى هذه العملية بعملية التصحيح.

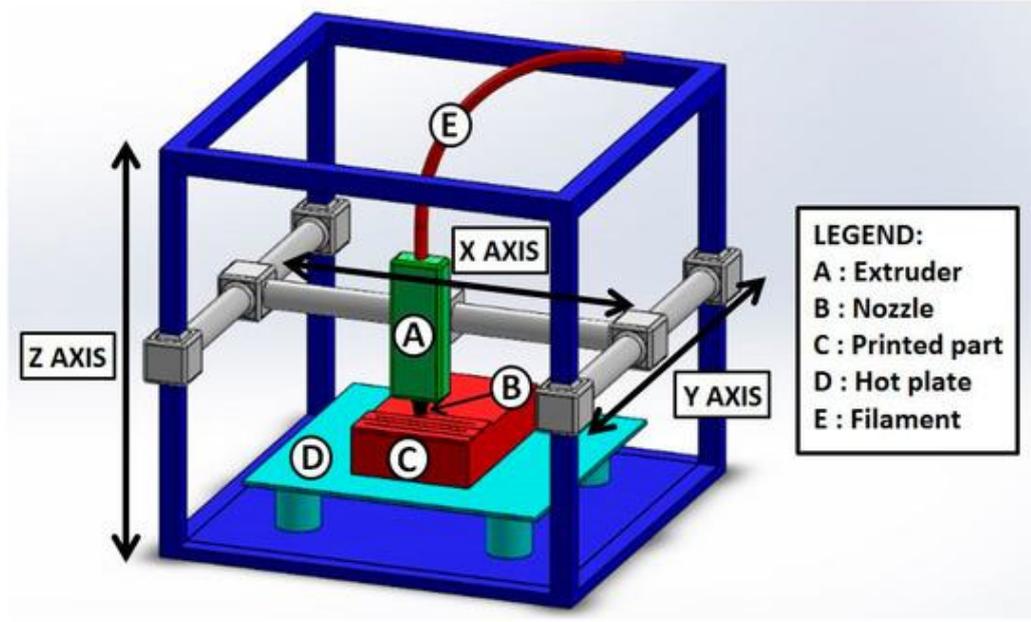
في الخطوة الثالثة يتم إرسال النموذج المصحح إلى ما يسمى بالمقطع "Slicer" ، حيث يقوم هذا البرنامج بتقطيع النموذج إلى مجموعة كبيرة من الطبقات الرقيقة جدًا "شرائح" قد يتجاوز عددها ألف طبقة، ويسمى الملف الناتج من هذه العملية ملف "G-Code" ، وهو يحتوي على مجموعة من التعليمات والأوامر التي تساعد الطابعة على إنجاز العمل بالكفاءة المطلوبة. بعد ذلك يرسل الملف إلى الطابعة لتنفيذه بناءً على التكنولوجيا المستخدمة في الطابعة.

وفي النهاية يدخل الجسم الناتج في عملية التنظيف والتنعيم لإزالة الحواف والأجزاء غير المرغوب بها، ويبين الشكل (10) هذه المراحل.

## 3D Printing Process



الشكل 10. مراحل الطباعة ثلاثية الأبعاد.



الشكل 11. نموذج للطباعة ثلاثية الأبعاد.

### 3-5-2. تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد

تم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع الإضافي في قطاعات التصنيع والطب والصناعة والقطاعات الاجتماعية والثقافية (التراث الثقافي، وما إلى ذلك) والتي تسهل الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع الإضافي لتصبح تقنية تجارية ناجحة.

#### التصنيع الغذائي

يتم تطوير التصنيع الإضافي للأغذية عن طريق الضغط على الطعام، طبقة تلو الأخرى، إلى كائنات ثلاثية الأبعاد. هناك مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأطعمة المرشحة المناسبة، مثل الشوكولاتة والحلوى والأطعمة المسطحة مثل البسكويت والمعكرونة والبيتزا.

#### الملابس والأزياء

دخلت الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى عالم الملابس، حيث قام مصممو الأزياء بتجربة البيكينييات والأحذية والفساتين المطبوعة بتقنية ثلاثية الأبعاد. في الإنتاج التجاري، تستخدم شركة Nike الطباعة ثلاثية الأبعاد لنماذج أولية وتصنيع حذاء كرة القدم Vapor Laser Talon 2012 للاعبين كرة القدم الأمريكية. وصلت الطباعة

ثلاثية الأبعاد إلى النقطة التي تطبع فيها الشركات نظارات من فئة المستهلك بتناسب وتصميم مخصص حسب الطلب (على الرغم من أنها لا تستطيع طباعة العدسات).

### صناعة النقل

في السيارات والشاحنات والطائرات، بدأ التصنيع الإضافي في تحويل (1) تصميم وإنتاج جسم واحد وجسم الطائرة و(2) تصميم وإنتاج مجموعة نقل الحركة.

### صناعة السلامة

ينطوي تأثير AM على الأسلحة النارية على بعدين: طرق تصنيع جديدة للشركات القائمة، وإمكانيات جديدة لصنع أسلحة نارية ذاتية الصنع. في عام 2012، كشفت مجموعة Defence Distributed التي تتخذ من الولايات المتحدة مقراً لها عن خطط لتصميم سلاح ناري بلاستيكي يعمل بطباعة ثلاثية الأبعاد "يمكن تنزيله وإعادة إنتاجه بواسطة أي شخص باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد".

### القطاع التعليمي

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد، والطابعات ثلاثية الأبعاد مفتوحة المصدر على وجه الخصوص، من أحدث التقنيات التي تشق طريقها إلى الفصول الدراسية. وحديثاً يمكن طباعة الوسائل التعليمية بهذه الطريقة.

### التراث الثقافي

في السنوات العديدة الماضية، تم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل مكثف في مجال التراث الثقافي لأغراض الحفظ والترميم والنشر. قام العديد من المتاحف في أوروبا وأمريكا الشمالية بشراء طابعات ثلاثية الأبعاد وقاموا بإعادة إنشاء القطع المفقودة من آثارهم. والآثار الأثرية مثل Tiwanaku في بوليفيا. بدأ متحف متروبوليتان للفنون والمتحف البريطاني في استخدام طابعات ثلاثية الأبعاد لإنشاء هدايا تذكارية بالمتحف متوفرة في متاجر المتحف.

### 3-5-3. مزايا وعيوب الطباعة ثلاثية الأبعاد

تتميز الطباعة ثلاثية الأبعاد بالعديد من المزايا مقارنة بتقنيات التصنيع الأخرى، منها:

1. يمكن صناعة منتجات مؤلفة من جزء واحد، أي أنه قد لا يكون هناك حاجة للتجميع.
2. هناك حرية كبيرة في التصميم؛ لذلك، يمكن إجراء أشكال هندسية معقدة للغاية.
3. يمكن تخصيص التصميم بسهولة وتخصيصها؛ ليست هناك حاجة لتغيير الجهاز.
4. يمكن إنتاج الأجزاء بتكلفة زهيدة وبسرعة من الفكرة إلى المنتج النهائي، مما يمنح ميزة تحسينات التصميم السريعة.

بالمقابل، للطباعة ثلاثية الأبعاد عيوب مقارنة بتقنيات التصنيع الأخرى:

- من الصعب التنبؤ بالخصائص الميكانيكية، إذ تعتمد القوة الناتجة لجزء ما بشكل كبير على طريقة التصنيع، ويمكن اختيار معلمات مختلفة اعتمادًا على اتجاه الطباعة.
- تتأثر الدقة بشكل كبير بانكماش المواد، ومعلمات الماكينة المختلفة والأخطاء التي يسببها برنامج CAD / CAM / بالإضافة إلى المعالجة اللاحقة.
- حجم الكائن مقيد بحجم الطابعة، حيث لا يمكن عمل كائنات كبيرة جدًا باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الحالية.
- يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد العمل بكمية محدودة من المواد مقارنةً بالتصنيع التقليدي، والذي يمكنه العمل مع أي مادة تقريبًا.

### 3-6. برنامج Solid works

برنامج ال Solid works، وهو عبارة عن تطبيق خاص بالتصميم الميكانيكي ثلاثي الأبعاد (التصميم بمساعدة الكمبيوتر). يعمل هذا البرنامج تحت بيئة مايكروسوفت ويندوز تم تطويره من قبل شركة Dassault Systèmes SolidWorks Corp إحدى شركات مجموعة (Dassault Systèmes, S. A) في فرنسا.

ويمتاز سوليدووركس بسهولة النمذجة وتحريك النموذج واختباره. هو البرنامج الأول في مجاله والذي يختص بتصميم المجسمات الهندسية ثلاثية الابعاد. يقدم حلاً متكاملًا لمشاهدة التصميمات الهندسية بشكل ثلاثي الأبعاد وواقعي إلى أقصى حد. فهو يعتبر المحاكى الأمثل والذي سيساعدك في خلق رؤية أوضح لتصاميمك واختراعاتك الهندسية وسيسهل لك العمل بشكل ملحوظ.

### 3-7. العناصر المستخدمة في المشروع

#### 3-7-1. محركات خطوية STEPPER MOTORS

المحركات الخطوية ويطلق عليها أيضاً المحركات متدرجة الحركة، بعد التقدم العلمي الذي أحرز في مجال الكترونيا القدرة، الذي تجلى في إمكانية وصل وفصل تيار مستمر ذي قيمة عالية في ملفات المحركات، حيث بدأ التفكير في استخدامها عندما بدأ الطلب على جهاز يمكن أن يعطي حركة دورانية في صورة انحراف زاوي ثابت. عملياً يمكن ربط المحرك الخطوي مع الحاسب الآلي أو المعالجات الصغيرة التي تستطيع التحكم به لأداء وظائف معينة.

يستخدم المحرك الخطوي في الآلات الصغيرة التي تحتاج لدقة في تحكم بمحركاتها مثل الطابعة وقاطع الليزر وغيرها.

من أهم ميزات هذا النوع من المحركات أنه يمكن التحكم في عدد وسرعة دوراته وزاوية التوقف بدقة. يستخدم هذا المحرك أيضاً في التطبيقات الروبوتية، نظراً لإمكانية التحكم في إيقافه عند زاوية محددة.

ومما يميز هذا المحرك أيضاً أنه يعتمد على النظام الثنائي في التشغيل حيث يلاحظ أنه يخرج منه أربع أو خمس أسلاك تسمح له بتلقي تتابع معين. فمثلاً إذا استقبل التتابع الآتي: 0001 التي تكافئ 1 في النظام العشري فإنه سيتحرك بزاوية مقدارها 90 درجة في اتجاه دوران معين، أما في حال استقبال 1000 التي تكافئ 8 في النظام العشري فإنه يدور في الاتجاه المعاكس.

يوضح الشكل (12) المحرك الخطوي Nema 17، الذي هو أحد أنواع المحركات الخطوية الشائعة الاستخدام،

ويتميز بما يلي:

- درجة الخطوة: 1.8 درجة
- طول الموتور: 34 ملم
- التيار: 04 أمبير
- جهد العمل: 12 فولت
- العزم: 2.6 كجم.سم
- ماسكة عزم الدوران: 120 جم.سم
- الوزن: 0.22 كجم



الشكل 12. محرك خطوي Nema 17.

### 3-7-2. محرك سيرفو Servo Motor

إن محركات السيرفو هي عبارة عن محركات تيار مستمر DC مجهزة بدارة الكترونية للتحكم بدقة في اتجاه دوران عمود الموتور ووضعه ومجموعة المسننات. يستجيب محرك السيرفو بطريقة سريعة لتوصيل وفصل المنبع الكهربائي، حيث يمكن أن تصل سرعته إلى الصفر بمجرد فصل المنبع.

محرك السيرفو يقبل عمليات الفصل والتوصيل، وفي هذه المحركات تكون علاقة تغير السرعة مع الجهد خطية. يبقى المحرك في حالة استقرار عند تغير التحميل عليه، او عند تغير الجهد المسلط عليه.

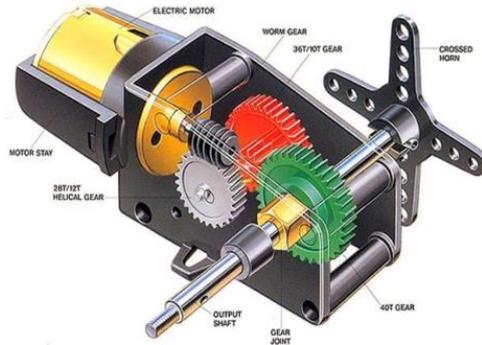
تم تفضيل محركات السيرفو عن باقي المحركات "DC Motors, Stepper Motor" لأنه يعطي دقة كبيرة في التحكم في زاوية دورانه وسرعته. يحوي على مشفر Encoder يقيس فرق الزوايا ويذهب إلى الزاوية المطلوبة بدقة كبيرة، وإذا حدث قصور ذاتي يرجع إلى الزاوية المطلوبة ولا ينحرف عنها، وبذلك فهو closed loop، ويحتوي على Feedback System، كما أن سعره مناسب بالنسبة إلى العزم الكبير الذي يعطيه.

العامل الأساسي في تحديد مكان عمود الدوران هو potentiometer، وهو عبارة عن مقاومة متغيرة تؤدي إلى تغير في قيمة الجهد الناتج تحدد الدارة الالكترونية وضع محور الدوران بدقة.

### أجزاء محرك السيرفو

يحتوي محرك السيرفو أربعة أجزاء، الشكل (13)، هي:

1. دائرة التحكم: وظيفتها استلام إشارة التحكم من الميكروكونترولر "Microcontroller" وتشغيل المحرك.
2. الموتور: وظيفته القيام بالحركة.
3. مجموعة المسننات، وظيفتها مضاعفة السرعة وزيادة العزم.
4. المقاومة المتغيرة، وظيفتها إعطاء قيمة جهد تناظر وضع عمود دوران المحرك بناء على قيمة مقاومتها، وهي تتحرك مع عمود دوران المحرك.



الشكل 13. محرك السيرفو ومكوناته.

## آلية عمله

لمحرك السيرفو ثلاثة أقطاب، الأول يغذى بـ 5 أو 6 فولط، والثاني هو الجهد المرجعي GND، أما القطب الثالث فهو قطب التحكم.

يمرر إلى قطب التحكم نبضات متغيرة العرض PWM ذات عروض ضمن المجال 1 إلى 2 ميلي ثانية، وهي توافق دوران المحرك 180 درجة.

تتطبق هذه النبضات بشكل مستمر على المحرك وتتردد 40 إلى 50 هرتز (لا يعمل المحرك بدون نبضات التحكم)، وتجدر الإشارة إلى أهمية حدود عرض النبضة والتردد اللازم لها، لأن أي خروج عن المجالات المذكورة يؤدي إلى إتلاف المحرك.

## مميزات محركات السيرفو

تتميز محركات السيرفو بما يلي :

1. الاستهلاك الضعيف للتيار مقارنة مع المحركات الخطوية.
2. عزوم قوية تصل إلى 40 كغ.سم، وذلك لوجود علبة السرعة الميكانيكية المدمجة.
3. التوافر بأحجام مختلفة لتلائم جميع التطبيقات.
4. إمكانية العمل لفترات طويلة دون ارتفاع درجة حرارتها.
5. صغر دارة القيادة مقارنة مع غيرها من المحركات.

## 3-7-3. مودبول البلوتوث HC-05

مودبول البلوتوث HC-05 أشهر مودبول بلوتوث ضمن مجتمع DIY، الشكل (3-6). يعمل هذا المودبول ضمن نطاق 9 متر، ويمكننا من الاتصال مع المودبولات الأخرى باتجاهين: Master أو Slave، كما يمكن ربط مودبولين مع بعض. ويتصف مودبول البلوتوث بما يلي:

- 1) يعمل وفق بروتوكول bluetooth V2.0 EDR.

- (2) جهد التشغيل 3.3 فولط، ولكن بوجود اللوحة القاعدية يعمل ضمن مجال 3.3 لـ 6 فولط، من المهم الانتباه عند التعامل مع لوحات 5 فولط حيث يجب وضع مقاومات تجزئة على خط الاستقبال للموديول.
- (3) يعمل بسرعات Bude rate مختلفة والافتراضي 9600 لنمط communication mode و38400 لنمط .AT mode
- (4) التيار المستجر 30 ملي أمبير للموديول ومع اللوحة القاعدية 150 ملي أمبير.
- (5) يملك نمطي اتصال AT mode and communication mode .AT اتصال AT يقبل الحروف الصغيرة والحروف الكبيرة، ويتطلب هذا النمط .line endings



الشكل 14. بلوتوث HC-05.

### 3-7-4. الأردوينو أونو

هي لوحة تعتمد على متحكم AT mega328. يتكون من 14 منفذ إدخال / إخراج رقمي، وستة مدخلات تناظرية، ووصلة USB لبرمجة وحدة التحكم الدقيقة المدمجة، ومقبس الطاقة، ورأس ICSP وزر إعادة الضبط. يعمل برنامج Arduino مع العديد من أنظمة التشغيل، مثل نظام التشغيل Windows و Linux. لذلك، فإن Arduino أفضل من العديد من أنواع وحدات التحكم الدقيقة. تعتمد لغة برنامج Arduino على لغة البرمجة C. Arduino عبارة عن منصة نماذج إلكترونية مفتوحة المصدر تعتمد على أجهزة وبرامج مرنة.

برنامج Arduino مدعوم من قبل أنظمة تشغيل Windows و Macintosh OSX و Linux على الرغم من حقيقة أن معظم وحدات التحكم الدقيقة تقتصر على نظام التشغيل Windows. تعتمد لغة البرنامج على لغة برمجة C AVR ويمكن توسيعها من خلال مكتبات ++ C. هناك أنواع مختلفة من لوحات التحكم الدقيقة من

Arduino المتوفرة في السوق بما في ذلك مجموعات Arduino وسيكون Uno والإصدار 1.0 الإصدارين المرجعيين من Arduino، والمضي قدماً.

Uno هو الأحدث في سلسلة من لوحات USB Arduino، و النموذج المرجعي لمنصة Arduino، بالمقارنة مع الإصدارات السابقة. يظهر لوحة Arduino النموذجية في الشكل (15).



الشكل 15. لوحة Arduino Uno.

الجدول 1. خصائص الأردوينو او نو.

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Supply Voltage (recommended)	7-12V
Maximum supply Voltage (not recommended)	20V
Digital I/O Pins	14(of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	32KB of which 0.5KB used by boot loader
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Clock Speed	16MHz

### 3-7-5. دائرة قيادة A4988

استخدمت هذه الدارة للتحكم في المحرك الخطوي Nema 17.

يتميز برنامج التشغيل دائرة القيادة هذه بحدود قابلة للتعديل للتيار، وحماية من التيار الزائد، وخمس درجات دقة مختلفة للميكروستب. تعمل من 8 فولط إلى 35 فولط ويمكنها توصيل ما يصل إلى 1 أمبير تقريباً لكل مرحلة، ويوضح الشكل (16) دائرة القيادة.



الشكل 16. دائرة القيادة A4988.

#### خصائص دائرة القيادة A4988

- ✓ واجهة بسيطة للتحكم في الخطوة والاتجاه.
- ✓ خمس درجات دقة مختلفة: خطوة كاملة، نصف خطوة، ربع خطوة، الخطوة الثامنة، والخطوة السادسة عشرة.
- ✓ يتيح التحكم القابل للتعديل ضبط أقصى خرج للتيار باستخدام مقياس potentiometer، والذي يتيح بدوره استخدام فولتية أعلى من الجهد المقنن للمحرك الخطوي الخاص بك لتحقيق معدلات خطوات أعلى.
- ✓ الإغلاق الحراري الزائد عن درجة الحرارة، والإغلاق تحت الجهد الكهربائي، وحماية التيار المتقاطع.
- ✓ حماية من الحمل الأرضي والقصير.

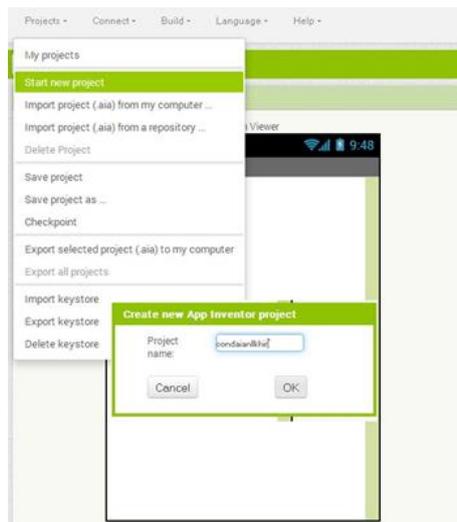
## 3-8. الجزء البرمجي للمشروع

### 3-8-1. منصة اب انفنتر (APP. Inventor)

تم تصميم تطبيق الأندرويد على موقع (http://mit.app inventor)، وهو تطبيق برمجته جوجل وتشرف عليه حالياً جامعة MIT، يسمح التطبيق للمستخدم ببرمجة التطبيقات عبر الويب عن طريق سحب وإفلات المكعبات "بلوكات" لصنع تطبيقات تعمل على بيئة أندرويد.

يمكن العمل مباشرة على موقع البرنامج أون لاين من خلال متصفح الإنترنت (Chrome or Firefox) أون لاين وذلك يتطلب التسجيل بحساب Gmail أو تنصيب البرنامج والعمل عليه دون الحاجة للاتصال بالإنترنت، ويتم ذلك بتحميل البرنامج من الموقع الرسمي حسب نظام التشغيل الخاص بالحاسوب سواء كان ويندوز، لينكس أو ماك.

قبل تنصيب البرنامج لابد أن يكون الحاسوب مجهز ببيئة (Java)، ويمكن التأكد من ذلك من خلال (Oracle site)، وإن لم يكن مجهز بهذه البيئة يمكن التعرف على أي إصدار مناسب لنظام التشغيل الخاص بالحاسب وتثبيته. يوضح الشكل (17) مراحل بدء مشروع جديد، وذلك بفتح قائمة (project) ثم اختيار (start new project)، بعد ذلك نقوم باختيار اسم مناسب للتطبيق باللغة الإنجليزية ثم ok.



الشكل 17. طريقة بدء مشروع.

## واجهة التصميم (Designer)

تتكون من قائمة بها الأدوات التي تستخدم في تصميم التطبيق، مثل الأزرار والقوائم وأدوات الرسم والتصوير والمشاركة بالمواقع الاجتماعية، البلوتوث..... وغير ذلك من الأدوات الموضحة في الشكل (18). وتستخدم هذه الأدوات عن طريق السحب والإفلات على الشاشة، ويمكن تغيير خصائص كل أداة من خلال (Properties).



الشكل 18. مساحة عمل تطبيق أب انفينتر.

## شرح واجهة البرمجة (Blocks)

من مميزات هذا البرنامج، أنه لا يحتاج إلى كتابة أكواد برمجية، إنما يعتمد على تركيب قطع أو أجزاء (Blocks) مثل البازل لإعطاء أوامر البرمجة لكل جزء من التطبيق، الشكل (19).



الشكل 19. واجهة البرمجة.

ولمعرفة وظيفة كل جزء من هذه الأجزاء البرمجية فموقع البرنامج موفر شرح كامل لكل جزء وكيفية التعامل معه من خلال (App Inventor Language Block).

يمكن معاينة التطبيق بثلاث طرق:

الطريقة الأولى: المعاينة على جهاز الأندرويد مباشرة إذا كان الجهاز يعمل بنظام أندرويد وإنترنت Wifi، حيث نقوم تثبيت تطبيق (MIT AI2 Companion) على الهاتف الأندرويد، لابد أن يكون هناك اتصال بالإنترنت لكل من الكمبيوتر والهاتف.

من خلال قائمة (connect) بالبرنامج وثم (AI companion)، ثم عن طريق كاميرا الهاتف ثم (Scan QR code)، ثم (connect with code) حتى يعمل التطبيق على الهاتف.



الشكل 20. الطريقة الأولى في معاينة التطبيق.

الطريقة الثانية: وهي مناسبة لمستخدمي برنامج (App inventor) بدون إنترنت، ولكن يمكن معاينة التطبيق على هاتف الأندرويد من خلال USB، وذلك عبر قائمة (connect) بالبرنامج واختيار USB.

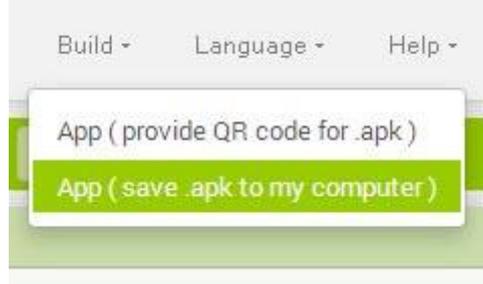
الطريقة الثالثة: في حال لم يكن لدينا جهاز أندرويد ونريد معاينة التطبيق على جهاز الكمبيوتر، يمكن ذلك عن طريق (Emulator)، وهو عبارة عن هاتف افتراضي يعمل بنظام الأندرويد على جهاز الكمبيوتر. من قائمة (connect) بالبرنامج، ثم (Emulator).

حفظ العمل وتحميله

بعد عمل التطبيق، لا يبقى سوى حفظه وتحميله ليكون جاهزاً للاستخدام، ويكون كالآتي:

حفظ التطبيق: Project >> save project

تحميل التطبيق، Build >> App (save apk to my computer)



الشكل 21. طريقة تحميل التطبيق.

### 3-8-2. بيئة تطوير الأردوينو

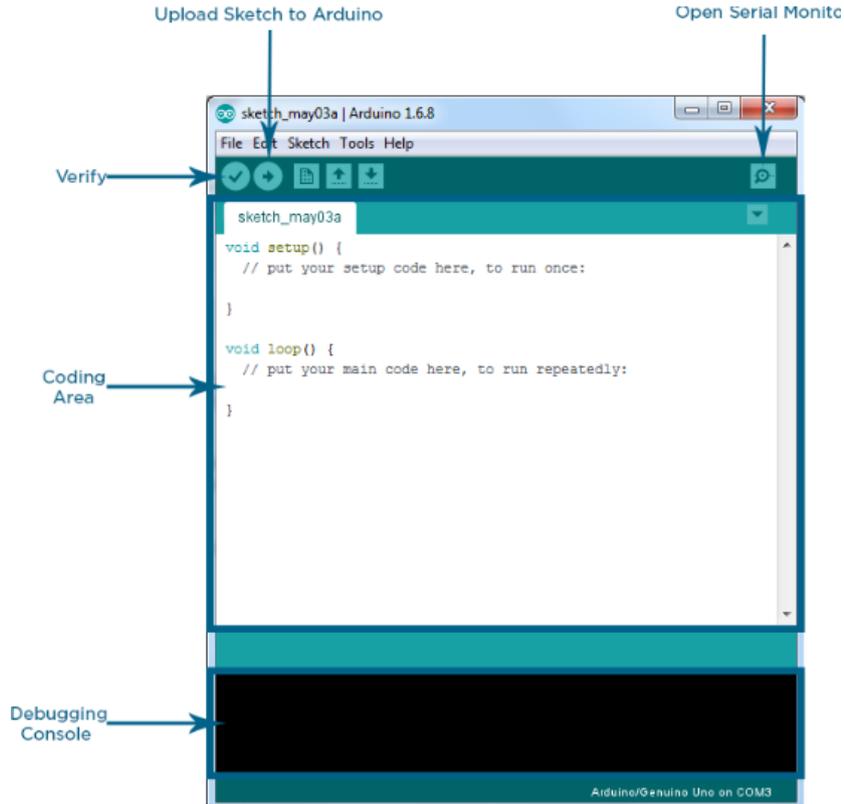
بيئة التطوير المتكاملة (IDE) Arduino هي تطبيق متعدد الأنظمة الأساسية (لنظام التشغيل Windows و macOS و Linux) تمت كتابته بلغة برمجة Java.

تشتمل على محرر كود بميزات مثل قص النص ولصقه، والبحث واستبدال النص، والمسافة البادئة التلقائية، ومطابقة الأقواس، وإبراز بناء الجملة، ويوفر آليات بسيطة بنقرة واحدة لتجميع وتحميل البرامج على لوحة Arduino. يحتوي أيضًا على منطقة رسالة ووحدة تحكم نصية وشريط أدوات به أزرار للوظائف الشائعة وتسلسل هرمي لقوائم التشغيل [108].

يدعم Arduino IDE اللغات C و ++ باستخدام قواعد خاصة لهيكل الكود. يوفر Arduino IDE مكتبة برامج من مشروع Wiring، والذي يوفر العديد من إجراءات الإدخال والإخراج الشائعة. لا تتطلب التعليمات البرمجية المكتوبة من قبل المستخدم سوى وظيفتين أساسيتين، لبدء الرسم التخطيطي وحلقة البرنامج الرئيسية، والتي يتم تجميعها وربطها ببرنامج stub main () في برنامج تنفيذي دوري قابل للتنفيذ مع GNU toolchain، المضمنة أيضًا في توزيع IDE.

يستخدم Arduino IDE برنامج avrdude لتحويل الكود القابل للتنفيذ إلى ملف نصي بترميز سداسي عشري يتم تحميله في لوحة Arduino بواسطة برنامج محمل في البرنامج الثابت للوحة [109].

يوضح الشكل (22) واجهة بيئة تطوير الأردوينو، حيث يتم كتابة الكود في منطقة كتابة الأكواد coding area ثم الضغط على زر التحقق verify، ثم الضغط على زر التحميل إلى أردوينو upload.



الشكل 22. بيئة تطوير أريدينو.

يتكون برنامج الأريدينو من بلوكين أساسيين، هما:

- `void setup() { }` يتم كتابة كود خاص بتهيئة المداخل والمخارج ضمن هذا البلوك، ويتم كتابة تهيئة لبعض المكتبات مثل مكتبة محرك السيرفو، وينفذ هذا الكود مرة واحدة فقط عند بدء تشغيل الأريدينو.
- `void loop() { }` يتم كتابة الكود الذي سينفذ بشكل متكرر ضمن هذا البلوك، ويتم تنفيذه باستمرار وبشكل متكرر طالما أن المتحكم في حالة عمل.

في بداية الكود، قبل تعريف الدالتين `loop()` , `setup()`، يمكن أن نقوم باستدعاء المكتبات البرمجية الخاصة ببعض الطرفيات التي توصل للأريدينو، مثل شاشة LCD ومحرك السيرفو والمكتبات الخاصة بموديولات الاتصال اللاسلكي. تسهل هذه المكتبات عملية البرمجة وتسرعها بشكل كبير، مما يختصر الوقت ويساعد المبرمج على إجراء عملية تنقيح للكود في حال وجود الأخطاء، حيث تكون هذه المكتبات صحيحة وخالية من الأخطاء.

من فوائد المكتبات، أنها تجعلنا نتعامل مع الموديولات من مستوى برمجي مرتفع بدلاً من النزول لتعقيدات الهاردوير والتعامل معها بشكل مباشر.

## الفصل الرابع

### التطبيق العملي

لا بد أن نذكر في البداية أنه قد تم تنفيذ هذا المشروع على ثلاثة مراحل؛ هي:

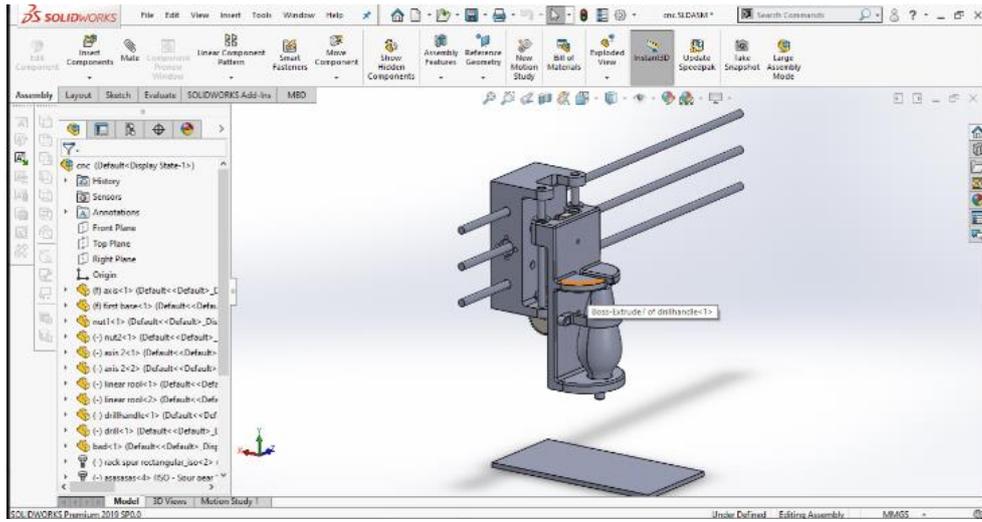
المرحلة الأولى: تصميم آلة CNC خاصة بالرسم تألف بشكل عام من مجموعة من محاور الشرر، العزقات وعلبة خشبية. تم تصميم الهيكل باستخدام برنامج solidworks وتنفيذها من الخشب أما محاور الشرر فكانت من الحديد والعزق من النحاس. يقوم الرأس العامل للآلة بالرسم على الخشب.

المرحلة الثانية: تصميم آلة CNC خاصة بالحفر تتحرك وفق محورين X,Y، وكما في آلة الرسم، تألف التصميم بشكل عام من مجموعة من محاور الشرر، العزقات وعلبة خشبية. تم استخدام ثلاث محركات خطوية لتأمين حركة المحاور في الأبعاد الثلاثة، ويظهر في الشكل (15) علبة المحرك بعد تركيبها وهي جاهزة ليتم توصيلها بالمحور الذي سيقوم بتحريك اللوح الخشبي المراد الرسم عليه. من جهة أخرى، ولقيادة هذه المحركات تم الاستعانة بدرع CNC shield.

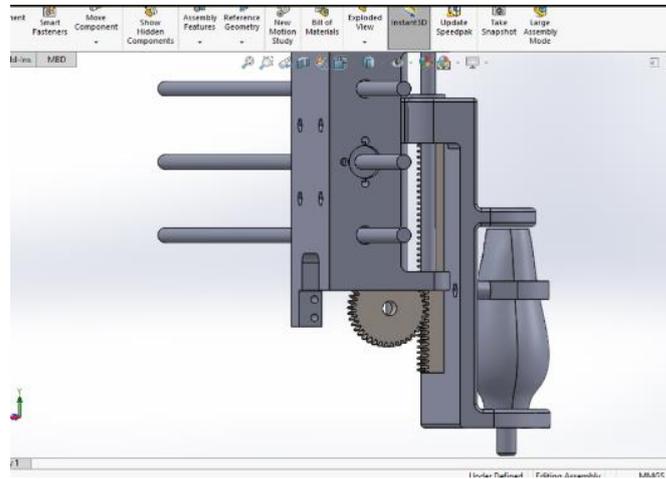
المرحلة الثالثة: وهي ما قمنا بتنفيذه في هذا المشروع، إذ تم العمل على تصميم آلة CNC تقوم بالحفر على الخشب وتتحرك وفق ثلاث محاور x, y, z.

#### 4-1. هيكل آلة الحفر على الخشب

تم تصميم أجزاء هيكل الآلة باستخدام برنامج Solid Works، ثم طباعتها بواسطة طابعة 3D باستخدام مادة بلاستيك سميك، وتوضح الأشكال التالية ما قمنا به من عمل في هذه المرحلة.



الشكل 23. التصميم الخاص برأس الحفر.



الشكل 24. صورة قريبة لتصميم الجزء المحرك لرأس الحفر.

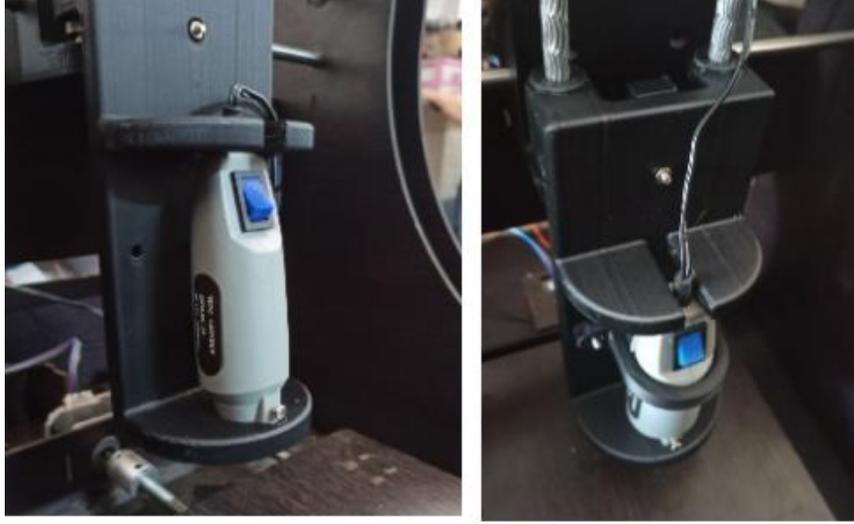


الشكل 25. بعض الأجزاء المطبوعة 3d أثناء التركيب.

## 2-4. توصيل الأجزاء والقطع الالكترونية

تم تثبيت رأس الحفر (المثقب) على جزء حامل holder مطبوع طباعة ثلاثية الأبعاد ومتصل بجريدة مسننة

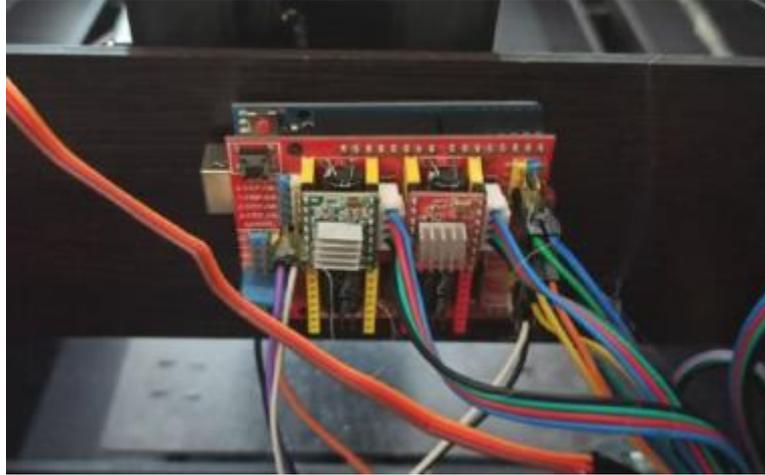
تتصل بدورها مع مسنن مرتبط بمحرك سيرفو من نوع MG995 يؤمن الحركة للمحور Z.



الشكل 26. تثبيت المثقب.

تم استخدام محركين خطويين لتأمين حركة المحاور X, Y, من جهة أخرى، ولقيادة هذه المحركات تم الاستعانة بدرع CNC shield الذي يتيح قيادة أربع محركات خطوية على الأكثر.

يقوم المحرك السفلي بتحريك اللوح المراد الحفر عليه للأمام والخلف بحركة خطية، أما المحرك العلوي فهو يحرك اللوح إلى جهتي اليمين واليسار.



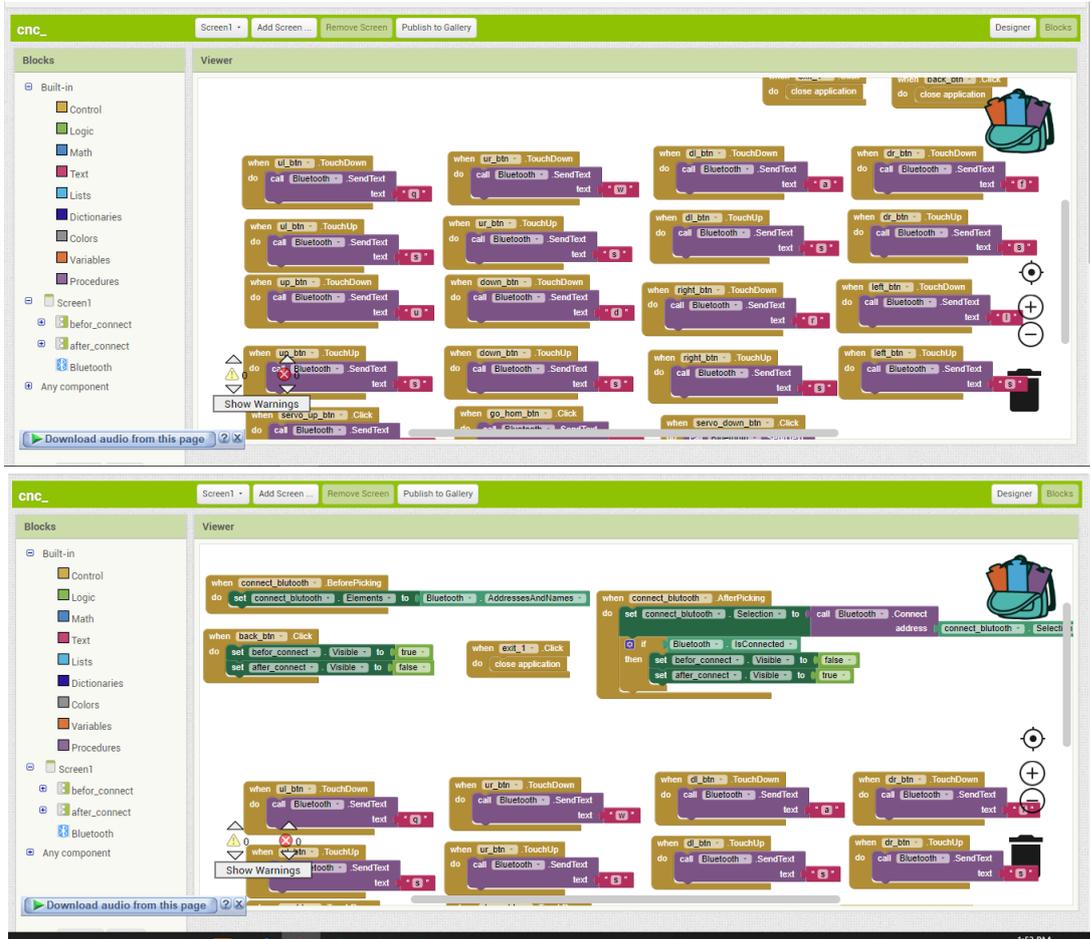
الشكل 27. دائرة الآلة.



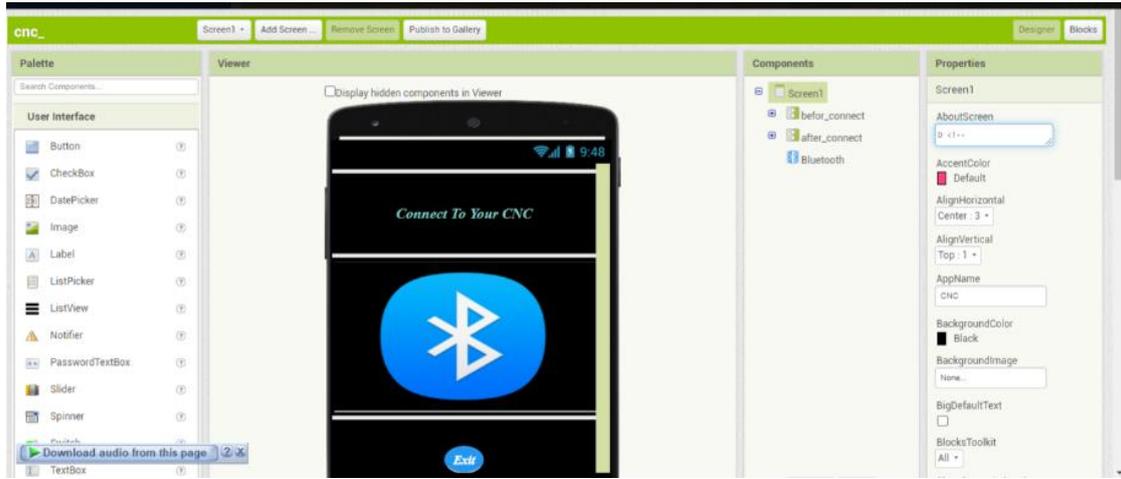
الشكل 28. صورة تمثل منظر علوي لآلة الحفر.

## 3-4. إنشاء تطبيق الأندرويد

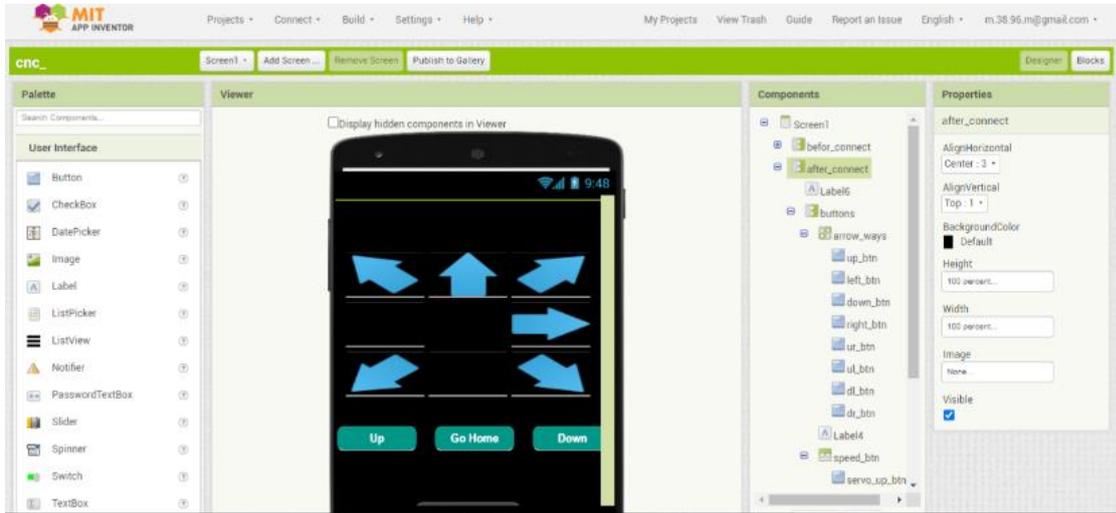
يوضح الشكل (29) بعض البلوكات التي تم استخدامها لإنشاء تطبيق الأندرويد على منصة App. Inventor.



الشكل 29. البلوكات المستخدمة في برمجة تطبيق الأندرويد.



الشكل 30. معاينة تطبيق الأندرويد على المنصة (الاتصال بالآلة).



الشكل 31 . معاينة تطبيق الأندرويد على المنصة (التحكم بحركة الآلة).

## 4-4. آلية العمل

هناك آليتان للعمل على آلة الحفر على الخشب التي تم تصميمها في مشروعنا هذا؛ هي:

الآلية الأتوماتيكية:

يتم رسم الشكل او الحرف أو غيره مما يرغب به الزبون بشكل رقمي، ثم يتم تصدير هذا الرسم إلى برنامج G CODE (كود G) الذي يقوم بدوره بإعطاء الأمر إلى الآلة كي تقوم بتنفيذ الرسم.

الآلية اليدوية:

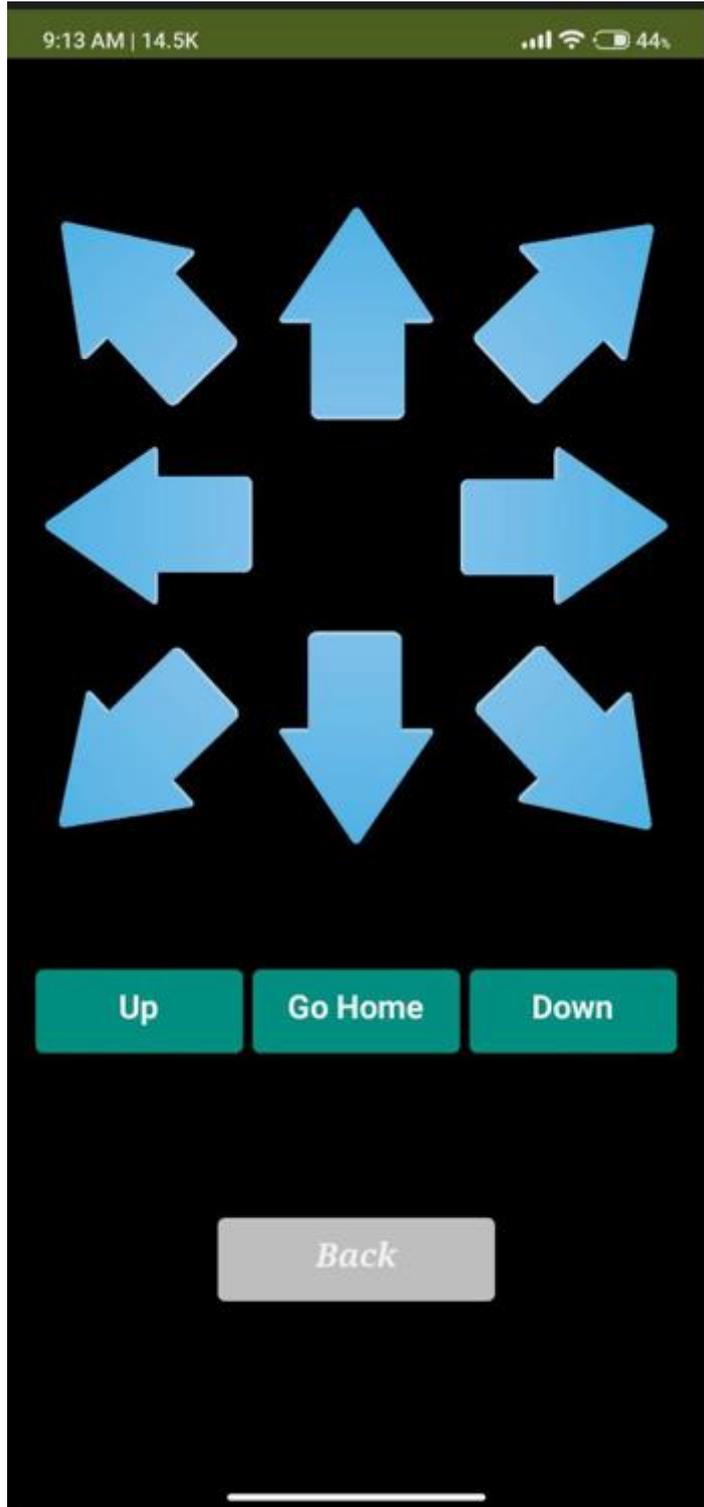
يتم التحكم بحركة محاور آلة الحفر عن طريق تطبيق الأندرويد الذي تم تصميمه لهذه الغاية بشكل لا سلكي.

- في مشروعنا هذا، كان الاعتماد بشكل رئيسي على الطريقة اليدوية وكان اختبار الآلة كما سنوضح في الجزء التالي.

## 4-5. اختبار الآلة

تم تحميل تطبيق الأندرويد الخاص بالمشروع على الهاتف المحمول ثم قمنا بتشغيل آلة الحفر. تتصل دائرة هذه الآلة بالتطبيق عبر تقنية البلوتوث التي يوفرها موديول البلوتوث في الآلة والبلوتوث الموجود في الهاتف.

عند الاتصال، تظهر الحالة على شاشة الموبايل التي تحوي في واجهة لاحقة مجموعة من الأسهم للتحكم بحركة المحاور الثلاثة. يتم تحريك رأس الحفر وفق الرسم المطلوب من قبل الزبون باستخدام أسهم التحكم الموجودة في التطبيق.



الشكل 32. واجهة التحكم بالآلة عن طريق الموبايل.

## الخاتمة

تكمّن مزايا التحكم CNC من ناحية في إمكانية المعالجة الاقتصادية للهندسات المعقدة ثنائية الأبعاد (D2) وثلاثية الأبعاد (D3)، من ناحية أخرى في المعالجة الآلية / التكرار والسرعة العالية للألة، تعني القدرة على حفظ البرامج أن العديد من الأجزاء المتطابقة يمكن إنتاجها بكميات كبيرة دون تدخل بشري.

بالإضافة إلى ذلك، تتيح تقنية CNC مفاهيم جديدة للماكينة، حيث لا يلزم وجود اتصال ميكانيكي بين المحرك الرئيسي ومحركات التغذية.

قمنا في هذا المشروع بالعمل على تحضير نموذج لآلة حفر خشب من خلال تحديد إمكانيات التشغيل اللازمة، التصميم المادي والميكانيكي لهيكل المشروع، اختيار العناصر والمواد اللازمة.

يمكن استخدام هذه الآلة لصنع الهدايا والتذكارات وعلب الحلويات المصنوعة من الخشب والمزينة بواسطة الحفر على الخشب، مع إمكانية تطويرها للتحكم الأنومتيكي الكامل عبر تصدير الرسومات إلى g كود تنفذه الآلة.

## المراجع

1. Hans B. Kief, Helmut A. Roschiwal: CNC manual 2009/2010 . Hanser Fachbuchverlag, 2009, ISBN 978-3-446-41836-3.
2. Ulrich Fischer, Max Heinzler, inter alia: Metal table book. 43rd edition. Verlag Europa-Lehrmittel, 2005, ISBN 3-8085-1723-9.
3. Advanced Manufacturing Technology Research Institute, Agile Reconfigurable Manufacturing Machinery Systems—ARMMS, Project Summary for Brite-Euram Nr: BRRT-CT98-5080, Jan. 1, 1999–Dec. 31, 2001.
4. C. Yuan and P. Ferreira, "An integrated rapid prototyping environment for reconfigurable manufacturing systems," in Proc. 2003 ASME Int.
5. Mechan. Eng. Congr., Washington, D.C., Nov. 15–21, 2003. Manufacturing Data Systems Inc. (2005, Mar.) OpenCNC Broch .[Online] Available: [http://www.mdsi2.com/Solutions/CNC\\_Controls/Brochure/OpenCNCbrochure.pdf](http://www.mdsi2.com/Solutions/CNC_Controls/Brochure/OpenCNCbrochure.pdf)
6. Liptak, Bela G. (2005). Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization. CRC Press. p. 2464. ISBN 978-0-8493-1081-2.
7. Stepping Motor Physics. <https://homepage.divms.uiowa.edu/~jones/step/physics.html#friction>
8. Stepper motors datasheet. <http://www.dynetics.eu/media/2678/stepper-motors.pdf>
9. NEMA. <http://www.cncitalia.net/file/pdf/nemastandard.pdf>
10. William H. Yeadon, Alan W. Yeadon. Handbook of small electric motors. McGraw-Hill Professional, 2001. Page 4-134.
11. Radhika Grover, Shoba Krishnan, Terry Shoup, Maryam hanbaghi, "A Competition-Based Approach for Undergraduate Mechatronics Education Using the Arduino Platform", 4th Interdisciplinary Engineering Design Education Conference (IEDEC), Santa Clara, CA, pp 78-83, Mar 2014
12. <https://ar.elephant-cnc.com/blog/buyers-guide-of-cnc-wood-drilling-machine/>
13. Lam, Hugo K.S.; Ding, Li; Cheng, T.C.E.; Zhou, Honggeng (1 January 2019). "The impact of 3D printing implementation on stock returns: A contingent dynamic capabilities perspective".

- International Journal of Operations & Production Management. 39 (6/7/8): 935–961. doi:10.1108/IJOPM-01-2019-0075. ISSN 0144-3577.
14. Jacobs, Paul Francis (1 January 1992). *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*. Society of Manufacturing Engineers. ISBN 978-0-87263-425-1.
  15. Azman, Abdul Hadi; Vignat, Frédéric; Villeneuve, François (29 April 2018). "Cad Tools and File Format Performance Evaluation in Designing Lattice Structures for Additive Manufacturing". *Jurnal Teknologi*. 80 (4). doi:10.11113/jt.v80.12058. ISSN 2180-3722.
  16. España, Lidia Montes, Ruqayyah Moynihan, Business Insider. "A researcher has developed a plant-based meat substitute that's made with a 3D printer". Business Insider.
  17. Sharma, Rakesh (10 September 2013). "3D Custom Eyewear The Next Focal Point For 3D Printing". Forbes.com.
  18. Zelinski, Peter (31 March 2017), "GE team secretly printed a helicopter engine, replacing 900 parts with 16", Modern Machine Shop.
  19. Islam, Muhammed Kamrul; Hazell, Paul J.; Escobedo, Juan P.; Wang, Hongxu (July 2021). "Biomimetic armour design strategies for additive manufacturing: A review". *Materials & Design*. 205: 109730. doi:10.1016/j.matdes.2021.109730
  20. Oppliger, Douglas E.; Anzalone, Gerald; Pearce, Joshua M.; Irwin, John L. (15 June 2014). "The RepRap 3-D Printer Revolution in STEM Education". 2014 ASEE Annual Conference & Exposition: 24.1242.1–24.1242.13. ISSN 2153-5868.
  21. Scopigno, R.; Cignoni, P.; Pietroni, N.; Callieri, M.; Dellepiane, M. (2017). "Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey". *Computer Graphics Forum*. 36 (1): 6–21. doi:10.1111/cgf.12781. S2CID 26690232.
  22. Campbell T, Williams C, Ivanova O, Garrett B. Could 3D printing change the world. In: *Technologies, potential, and implications of additive manufacturing*. Washington, DC: Atlantic Council; 2011.
  23. Zhou JG, Herscovici D, Chen CC. Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts. *Int J Mach Tools and Manufacture*. 2000;40:363–379.
  24. Weisberg, David E.: *The Engineering Design Revolution The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering (engl.)*.
  25. Salem FA. *Mechatronics Design of Solar Tracking System*. International Journal of Current Engineering and Technology. 2013; 3 (3): 750-762.
  26. [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf)

27. Williams, Al (21 October 2019). "The Arduino IDE Finally Grows Up". Hackaday.  
(<https://hackaday.com/2019/10/21/the-arduino-ide-finally-grows-up/>)