

تصميم وتنفيذ مثقب مؤتمت و اختبار أدائه

د. سحر العلي*

م. عمار علان**

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/٢/٢٥ . قُبل للنشر في ٢٠٢٤/٧/١٨)

□ ملخص □

لقد ساهمت أتمتة العمليات الصناعية في توفير الكثير من الوقت والجهد، مما يستدعي العمل على توطيق هذه التقنيات من أجل الارتقاء بمستوى العمل، لذا تم تصميم نموذج مصغر لمثقب عمودي قادر على التعامل مع مواد كالخشب والبلاستيك ومن ثم ربطه مع نظام تحكم متكامل من أجل ضبط عملية الثقب.

تم التحكم بتموضع أداة الثقب، وسرعة عملية الثقب، وعمق الثقب باستخدام واجهة تفاعلية على الحاسب. يمكن للنموذج المصمم اتباع خريطة عمل يتم إنشاؤها على الحاسب باستخدام برنامج هندسي ومن ثم تحويلها إلى أوامر G-code باستخدام برنامج FlatCam، وإرسال هذه الأوامر إلى برنامج Candle الذي يقوم بإرسال أوامر التنفيذ إلى الأردوينو، والتي بدورها تتحكم بالمحركات.

يمكن للنظام المصمم القيام بعدة عمليات ثقب متتالية في مواضع مختلفة محددة مسبقاً. تم اختبار النموذج المصمم عن طريق مقارنة عمله مع المثقب اليدوي، وأظهرت النتائج تفوق النظام المصمم من حيث الدقة التي وصلت إلى 99%، والسرعة، حيث أنجز الثقوب على العمق المطلوب، وكانت سرعة أدائه أعلى بمقدار 58.6% من المثقب اليدوي.

الكلمات المفتاحية: أتمتة عملية الثقب، مثقب عمودي، نظام تحكم بالمثقب

*مدرس في قسم الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس

**طالب ماجستير في هندسة الأتمتة الصناعية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس

Design, Implementation, and Performance Testing of an Automated Drill

Dr. Sahar Al-Ali *

Eng. Ammar Allan **

(Received 25/2/2024 . Accepted 18/7/2024)

□ ABSTRACT □

The automation of industrial processes has significantly saved time and effort, which necessitates the localization of these technologies to improve work standards. Thus, a miniature model of a vertical drill capable of handling materials such as wood and plastic was designed and then linked with an integrated control system to regulate the drilling process. The positioning of the drilling tool, the drilling speed, and the drilling depth were controlled using an interactive interface on the computer. The designed model can follow a workflow map created on the computer using engineering software, which is then converted into G-code commands using FlatCam software, and these commands are sent to the Candle software, which in turn sends execution orders to the Arduino, that controls the motors. The designed system can perform several consecutive drilling operations at pre-determined different locations. The performance of the designed model was compared to that of a manual drill, and the results showed the superiority of the designed system in terms of precision, reaching 99%, and speed, where its performance speed was 58.6% higher than that of the manual drill.

Keywords: Drilling process automation, vertical drill, drill control system

* Professor - Faculty of Technical engineering – Tartous University

** Master Student – Faculty of Technical engineering – Tartous University

مقدمة :

تعد عملية أتمتة آلات الثقب والحفر المستخدمة في العديد من الأعمال الصناعية على قدر عالي من الأهمية، وتعد المثاقب الكهربائية الصناعية المستخدمة حالياً أدوات حيوية في الصناعة، ولكنها تعاني من غياب الدقة العالية، ويعود ذلك إلى استخدام التحكم اليدوي المباشر من قبل العمال وما يرافقه من ظروف العمل التي قد تؤثر على كفاءة العمل وجودة المنتج.

إن العملية الإنتاجية في المصانع المحلية غير مؤتمتة بالشكل المطلوب، مما يؤدي إلى الحصول على نتائج بمواصفات متفاوتة، أظهرت الدراسات لآلية عمل المثقب أن هناك أخطاء في تحديد عمق وموضع الثقب بشكل دقيق مما يؤثر بشكل سلبي على أداء النظام.

إنعمل المثاقب يوفر الكثير من الجهد والتعب في عمليات القياس، والمعايرة التي تتم قبل عمليات الثقب، أصبحت جميع هذه الأعمال تتم بشكل آلي بواسطة المتحكمات المرتبطة مع الحساسات والمشغلات، من هنا جاءت فكرة العمل على توطيّن وتطوير هذه التقنيات من أجل الإرتقاء بمستوى العمل محلياً.

من أهم المسائل التي يتم الاهتمام بها في الدراسات المرتبطة بموضوع البحث هي زيادة الدقة في التوضع، وعمق الثقب، وتحسين سرعة العمل، وتوفير الطاقة، لذلك تم العمل على محورين أساسيين هما: التصميم الميكانيكي للمثقب، وخوارزمية التحكم، فقد طور (M.H.Aziz, 2012) خوارزمية للتحكم في القوة تكشف عن عمق الاختراق أثناء عملية حفر العظام، تم بناء الخوارزمية باستخدام بيئة Simulink/Matlab ونُفذ على برنامج WinCon ليعمل في إطار عملية الزمن الحقيقي وكانت النتائج جيدة ولكن بحاجة إلى تحسين [1] (G.Niranjan, 2013) تقنية للتحكم بعمق الثقب في مثقب عمودي، تم تحديد عمق الثقب باستخدام دائرة التحكم، لإنجاز العديد من الثقوب بنفس العمق دون الحاجة إلى إعادة الضبط في كل مرة، حصل الباحثون على دقة في عمق الثقب (1/200 mm) [2]، وركز (Mr R. D. Mardane, 2016) على أتمتة عملية الحفر العمودي عن طريق تصميم مرفق آلي لعملية الحفر وأعطى نتائج جيدة، يمكن لهذا المرفق الحفر وتحديد الموقع وفق برنامج لاستخراج الإحداثيات مصمم على الحاسب يعمل على تحويل صور الثقوب إلى إحداثيات بدقة (1 mm) عند الانتقال من نقطة إلى أخرى [3]، وصمم (Md. M. Hasan, 2019) آلة ثقب وتشكيل منخفضة التكلفة بثلاثة محاور X و Y و Z، تم التحكم بهذه الآلة عن طريق الحاسب ومتحكم أردوينو وبنيت النتائج (M.M. Almag, 2019) الآلة CNC [4] لإعطاء الدارات الإلكترونية يتم التحكم بها عن طريق متحكم أردوينو وواجهة تفاعلية على الحاسب وقد حصل الباحثون على دقة جيدة وسرعة عالية ومرونة في العمل [5]، واستخدم (Kapse, 2021) متحكم PLC من أجل التحكم بعملية الثقب، وزيادة دقة وكفاءة العمل، تم العمل على المحور العمودي فقط، وتم التحكم بعمق الثقب ببدء الثقب عندما يتحسس الحساس وجود قطعة للثقب، ويقوم بإحداث ثقب بعمق 3mm، وفر هذا النظام دقة جيدة وقلل زمن العمل ووفر طاقة [6]، وقام (M.N. Khan, 2022) بتصميم نموذج منخفض التكلفة من أجل أتمتة عملية الثقب العمودي، تم استخدام متحكم الأردوينو من أجل التحكم بالمحركات، وتم استخدام المحركات الخطوية من أجل التحكم بدقة زاوية الدوران والسرعة والعزم [7]، وقام (Saiful Bahri Mohamed, 2023) بتصميم وتصنيع آلة حفر منخفضة التكاليف لإنجاز الثقوب يتم التحكم بها بواسطة واجهة حاسوبية ArtSoft Mach3 CNC، وباستخدام محركات خطوية من أجل توضع أداة الثقب في مكانها، بينت النتائج أن نسبة الخطأ منخفضة بحدود [8] 2%.

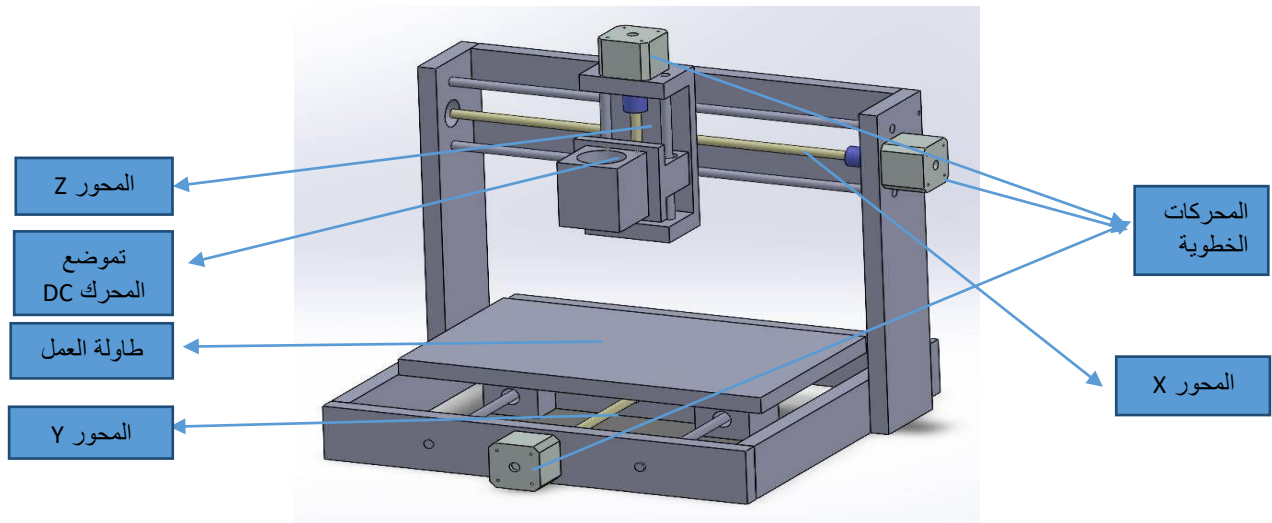
أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من محاولة تطوير آلة تعتبر على قدر كبير الأهمية في مجال الصناعة، وتعد عمليات الثقب والتشكيل من أهم مجالاته، أن عملية الأتمتة تسهم في تحسين الأداء وزيادة الجودة وتوفير الوقت والجهد، إلا أنها مرتفعة الكلفة، وتتطلب وجود مشغل ماهر للتعامل معها، لذا يهدف البحث لإجراء مقارنة بسيطة بأقل المتطلبات وفق الإمكانيات المحلية من خلال تنفيذ نظام تحكم لأتمتة عمل مثقب عمودي ثابت بثلاث درجات حرية، وتسهيل العمل عليه باستخدام برنامج على الحاسب يتيح إمكانية التحكم بموضع الحفر، وعمقه بالإضافة إلى إنجاز خريطة عمل ومراقبة تنفيذها.

طرائق البحث ومواده:

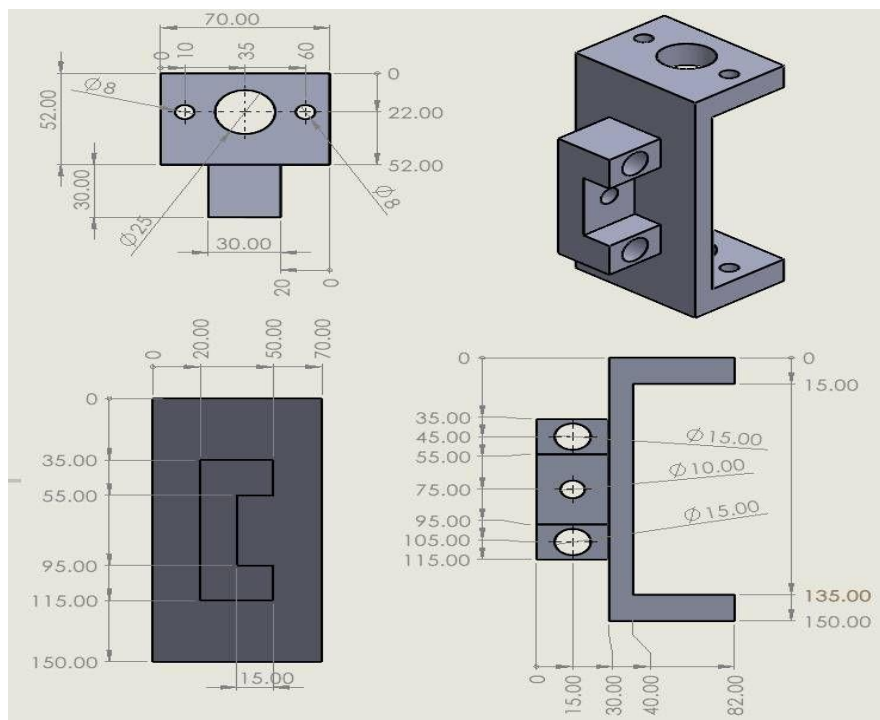
تم في هذا البحث تصميم نموذج مصغر لمثقب عمودي وربطه بنظام تحكم مؤتمت، تم العمل على جعل أداة الثقب حرة الحركة على المحورين الأفقيين، بالإضافة إلى أن طاولة العمل حرة الحركة على المحور الثالث، أن المثقب اليدوي لديه ثلاث محاور x, y, z قمنا بتحويلهم إلى محاور مسننة وفق النموذج الموضح بالشكل (١)، وتم تصميم هذا النموذج باستخدام برنامج (SOLID WORKS نسخة ٢٠٢٢) للتصميم الهندسي والميكانيكي [9].

أولاً: التصميم الميكانيكي: يتكون التصميم الميكانيكي من مفاصل انسحابية على المحاور الثلاث (x, y, z) يتم التحريك باستخدام ثلاث محركات خطوية يتم التحكم بها للوصول إلى التموضع الصحيح لأداة الثقب وهي عبارة عن ريشة معدنية تدور بواسطة محرك DC يمكن التحكم بسرعه.



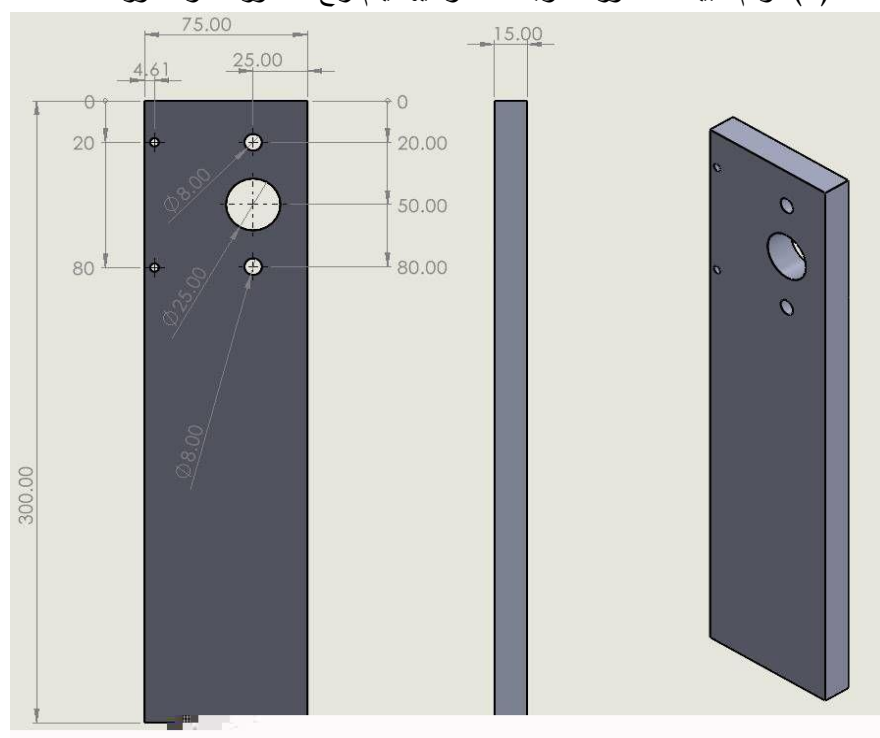
الشكل (١): التصميم الميكانيكي للنموذج المصمم

تم تصميم الأجزاء المختلفة للمثقب كل قطعة على حدى، ومن ثم تجميعها، يبين الشكل (٢) منظور المحور Z ومساقطه الثلاث، وعلى المحور Z يُثبت حامل محرك الثقب.



الشكل (٢): المحور Z

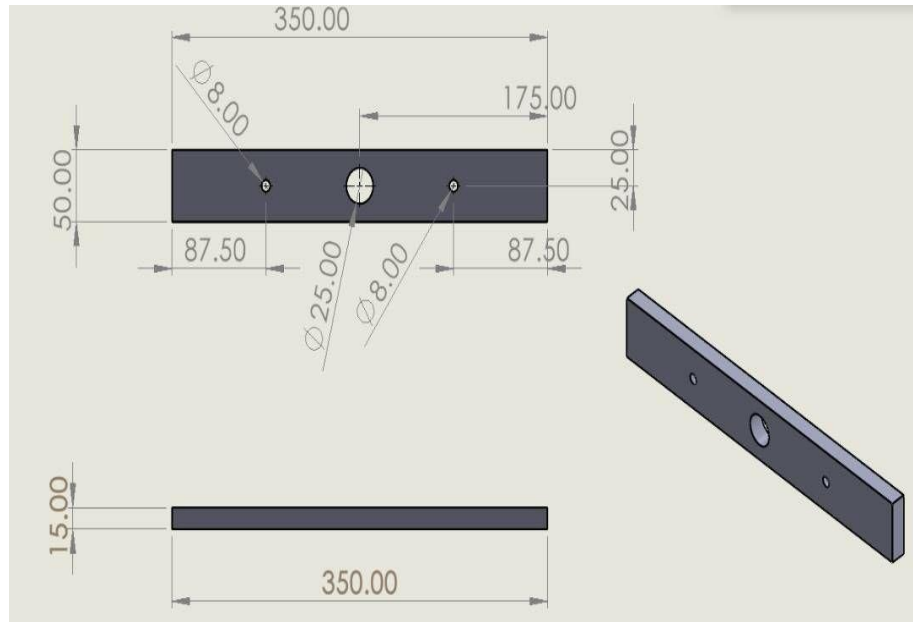
وبين الشكل (٣) قوائم تثبيت المحور Y وأبعادها، وعليها يتم رفع المحور Y والمحور Z.



الشكل (٣): قوائم تثبيت المحور Y

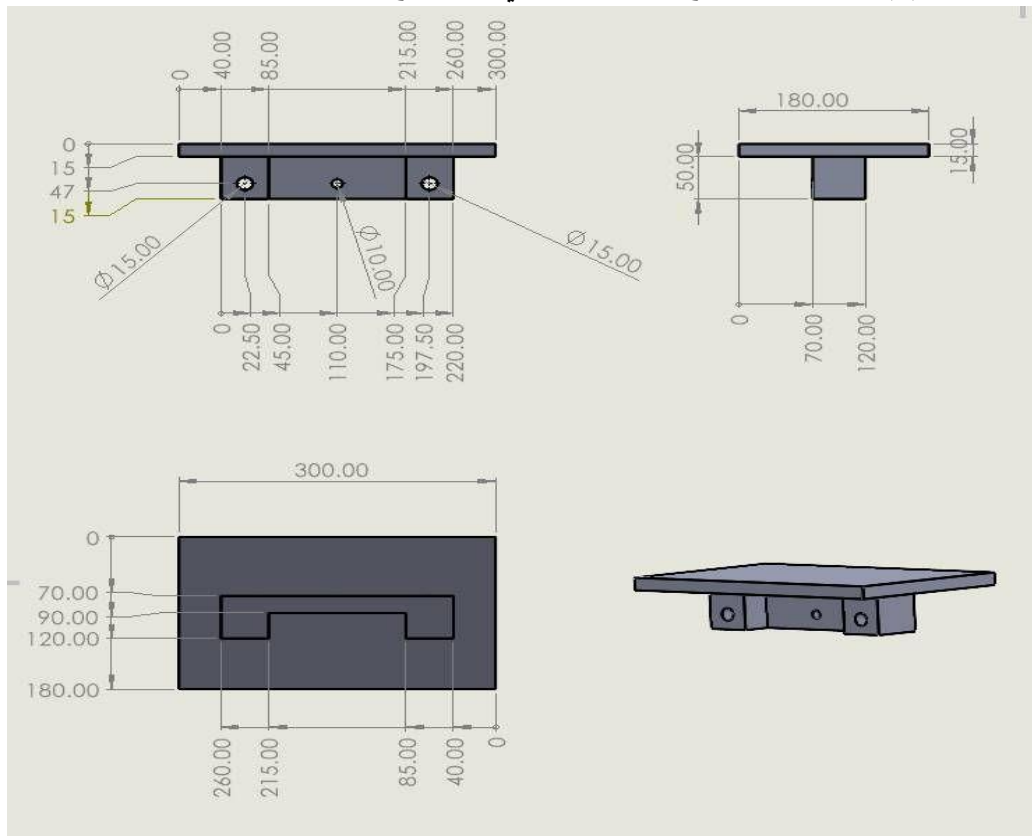
يبين الشكل (٤) قوائم تثبيت المحور X وأبعادها، وتحمل هذه القوائم المحور X ومنصة تثبيت القطعة

المراد ثقبها.



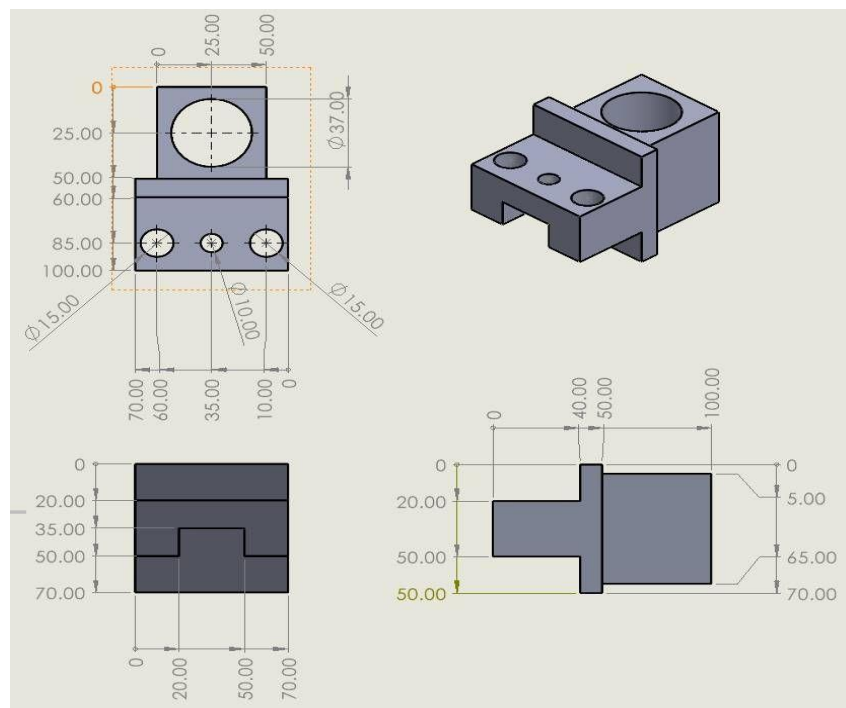
الشكل (٤): قوائم تثبيت المحور X

يبين الشكل (٥) منصة تثبيت القطع المراد ثقبها، والتي تتحرك مع المحور X.



الشكل (٥): منصة تثبيت القطع المراد ثقبها

ويبين الشكل (٦) حامل محرك الثقب، والذي تم تثبيته على المحور Z.



الشكل (٦): حامل محرك الثقب

وقد قمنا بتثبيت الرولمانات والمحركات بعد تجميع هذه الأجزاء لتكوين النموذج المصمم.

ثانياً: دائرة التحكم: تحتوي دائرة التحكم على متحكم Arduino ويعتبر حلقة الوصل بين المحركات والحاسب والبرنامج الذي يتم من خلاله إدخال الأوامر هو برنامج Candle الذي يعمل مراقب للعملية منذ بدايتها حتى ينتهي بالثقب المصمم القيام بما يلي:

١. الانتقال إلى أي نقطة إحداثيات مدخلة باستخدام برنامج Candle والقيام بعملية

الثقب.

٢. يمكن رسم خريطة عمل مسبقة وإعطاء أمر للمثقب لتنفيذها، وتكرارها دون الحاجة

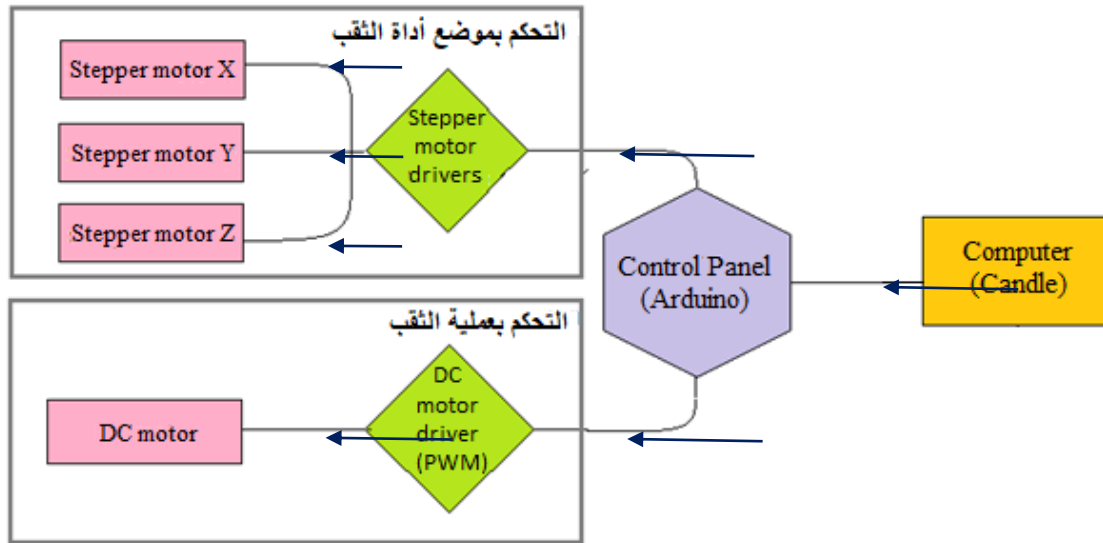
إلى إعادة المعايرة.

٣. مراقبة عملية تنفيذ الثقوب عبر واجهة تفاعلية سهلة الاستخدام

يعمل نظام التحكم المصمم على التحكم بعملية التوضع لأداة الثقب عن طريق التحكم بحركة المثقب

باستخدام المتحكمات TB6600، يتم التحكم بمحرك الثقب باستخدام تقنية PWM.

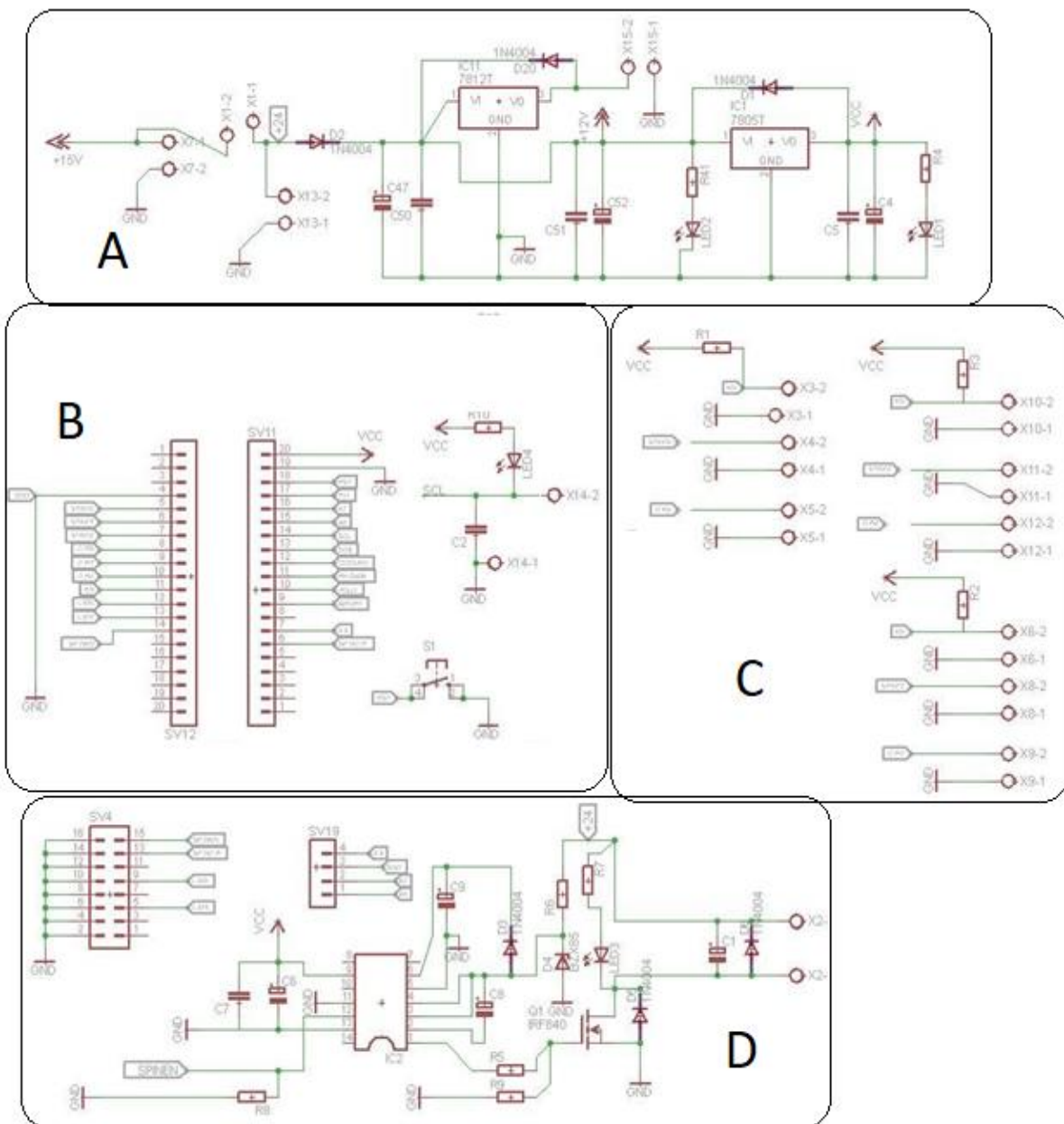
يوضح الشكل (٧) مخطط النظام المصمم في البحث.



الشكل (٧): المخطط الصندوقي لنظام التحكم

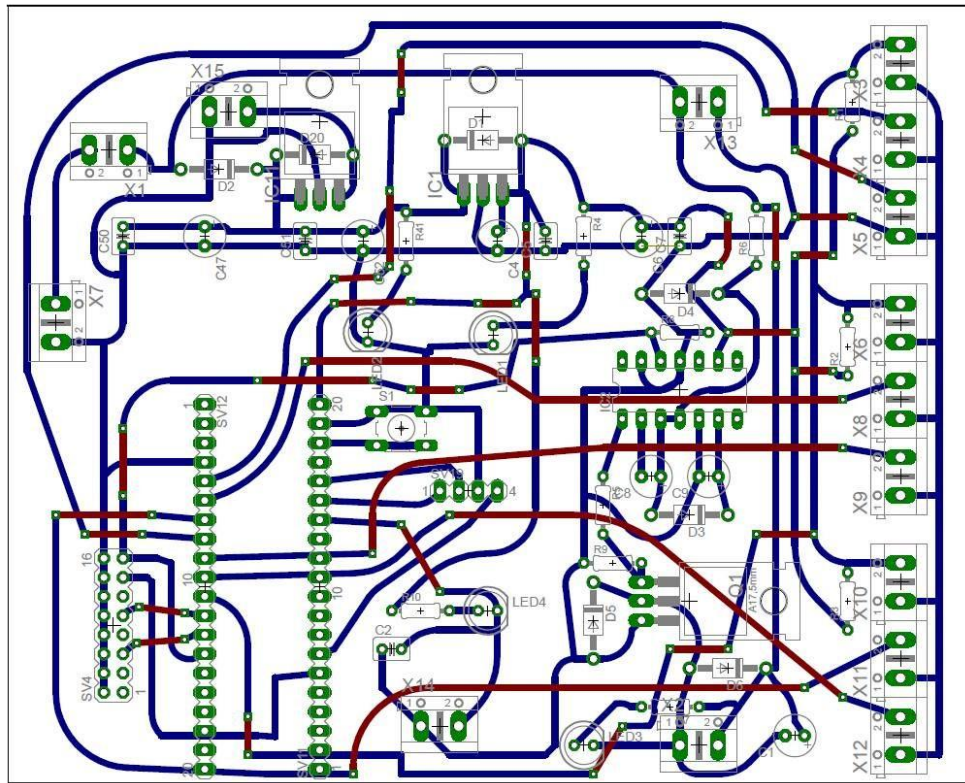
ثالثاً: آلية التحكم بموضع أداة الثقب:

قمنا بربط محاور حركة المثقب الثلاث مع ثلاث محركات خطوية، وكل محرك خطوي يتم التحكم به عن طريق دائرة القيادة TB6600 والتي يتم التحكم بها عن طريق المتحكم الرئيسي وهو الأردوينو، يقوم متحكم الأردوينو بإنتاج الإشارة، ويتم استخدام الدارة المتكاملة IR2110 والترانزستور TIP120 لإرسال النبضات إلى المحرك، وذلك لفصل التيار المرتفع نسبياً للمحرك عن التيار المنخفض للأردوينو، يبين الشكل (٨-أ) وحدة التغذية في الدارة والشكل (٨-ب) وحدة الأردوينو والشكل (٨-ج) مخارج إشارات التحكم والشكل (٨-د) وحدة التحكم بمحرك التيار المستمر.



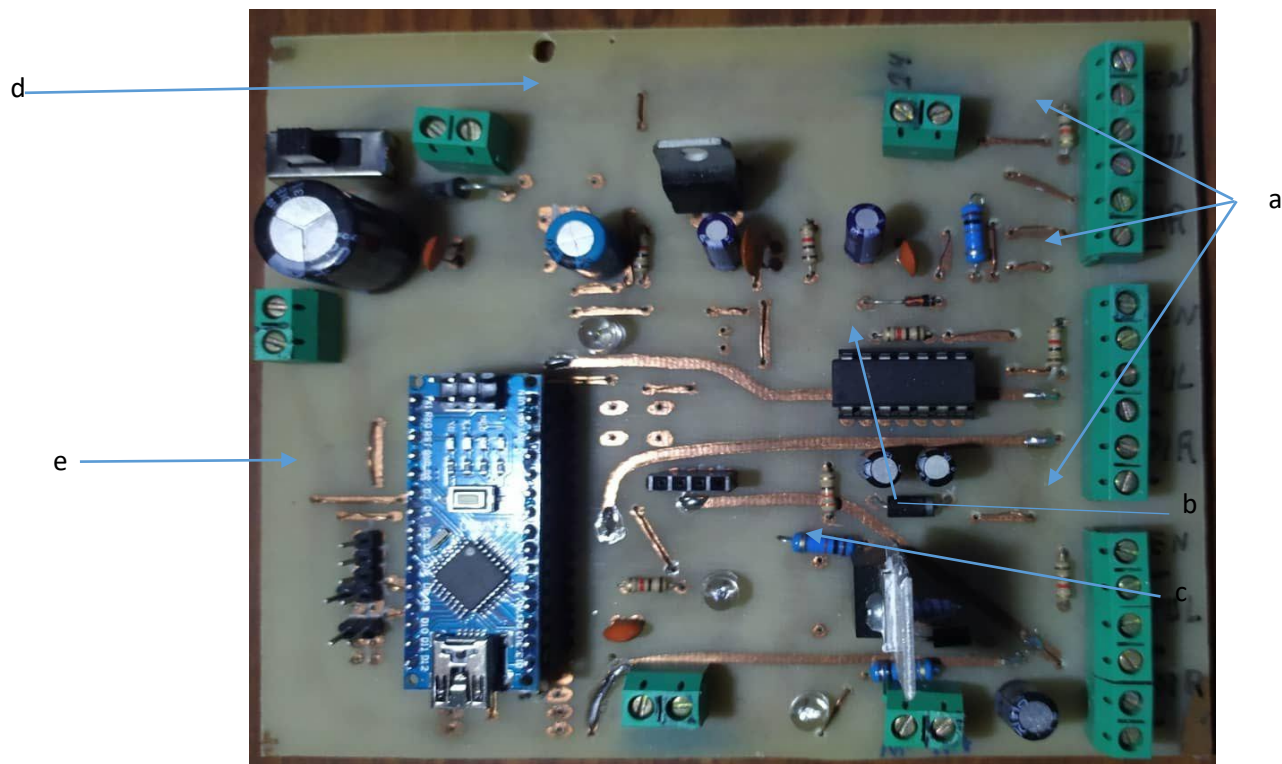
الشكل (٨): الدارة الإلكترونية المصممة

وتم إنجاز هذه الدارة باستخدام برنامج Eagle لتصميم الدارات الإلكترونية وتجهيزها لطباعتها كدائرة نحاسية، يبين الشكل (٩) الدارة المطبوعة للنظام المصمم.



الشكل (٩): الدارة المطبوعة للنظام المصمم

يبين الشكل (١٠) الدارة العملية المنفذة.



الشكل (١٠): الدارة العملية المنفذة

حيث:

١. مخارج تغذية وتحكم.
٢. IR2110.
٣. ترانزستور (MOSFET).
٤. مثبت جهد (دائرة تغذية).
٥. الأردوينو.

يتصل مع هذه الدارة ثلاث متحكمات TB6600 كل واحد منها يتحكم بمحرك خطوي وذلك لتحديد موضع أداة الثقب، فإن المتحكمات TB6600 الثلاث تم ضبطهم بنمط عمل (خطوة 1/8) والتيار (1.7 A)، يبين الشكل (١١) النظام المنفذ.

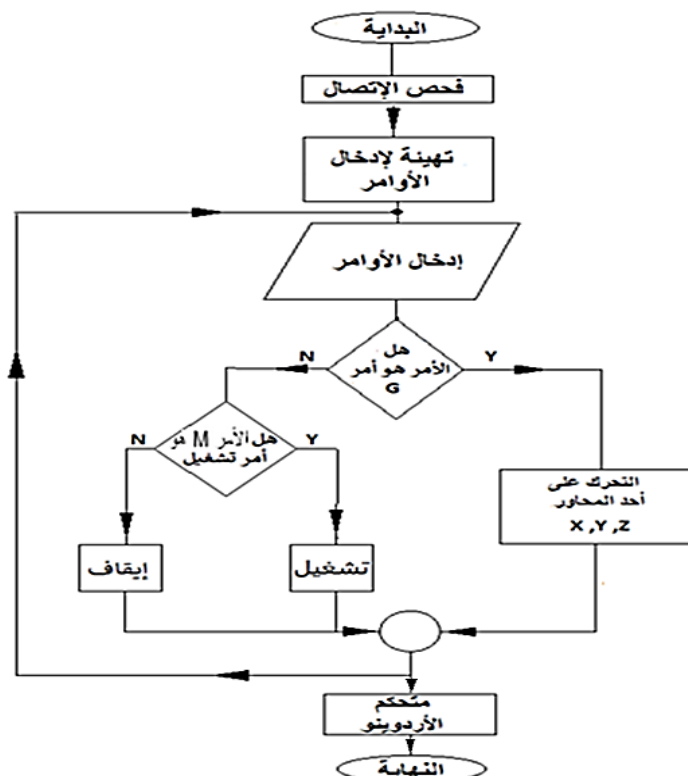


الشكل (١١): النظام المنفذ

تم اختيار محرك تيار مستمر يعمل بجهد 12V ومحركات خطوية من نوع NEMA 23.

يتم العمل وفقاً للأوامر الواردة من الحاسب عن طريق برامج إرسال عامة، وقد تم الاعتماد في البحث على برنامج Candle وهذه الأوامر هي عبارة عن أوامر G-code تستخدم غالباً في التحكم بمكنات CNC، وتبدأ إما بحرف G وتكون مسؤولة عن الحركات على المحاور الإحداثية، والتي تقوم بتوجيه الألة حيث تعطي الأوامر لآلة الحفر من أين تبدأ وكيف تتحرك ومتى تتوقف، أو بحرف M وهي مجموعة الأوامر المساعدة التي تتحكم في جميع الإجراءات غير الهندسية مثل تشغيل البرنامج وإيقافه. [١٠]

عند إعداد برنامج باستخدام رموز G و M يجب أن يحتوي رمز M على أمر واحد فقط لكل كتلة من المعلومات، حيث يتم في البداية فحص الاتصال من خلال التحقق من ربط الدارة مع الواجهة التخاطبية على الحاسب باستخدام منفذ الربط المختار، وبعد التهيئة لإدخال الأوامر يتم إرسال أوامر G-code عبر برنامج Candle إلى الأردوينو هذه الأوامر تنقسم إلى أوامر G التي تعمل على توجيه أداة الثقب وأوامر M التي تعمل على تشغيل وإيقاف النظام بالتالي يمكن تلخيص خوارزمية العمل على تموضع آلة الثقب بالشكل (١٢).



الشكل (١٢): خوارزمية عمل أوامر G-code

تقوم وحدة التحكم (الأردوينو) باستقبال أوامر الـ G-code وتحويلها إلى أوامر كهربائية للتحكم بالمحركات الخطوية.

يتم تحويل حركة المحركات الخطوية من دائرية إلى خطية وذلك عن طريق مسمار لولبي ويمكن حساب مقدار الإزاحة الأفقية عند دوران المحرك بمقدار خطوة واحدة، حيث لدينا محرك خطوي مقدار الخطوة لديه 1.8^0 و قطر المسمار اللولبي هو 8mm بالتالي لحساب مقدار المسافة الأفقية التي يقطعها عند القيام بدورة كاملة. المسافة الأفقية المقطوعة من أجل دورة كاملة:

$$(١) \text{المسافة الأفقية} = 3.14 \times \text{قطر المسمار اللولبي}$$

$$8 * 3.14 = 25.13mm$$

المسافة الأفقية المقطوعة من أجل خطوة واحدة:

$$(٢) \text{المسافة الأفقية المقطوعة من أجل خطوة واحدة} = \frac{\text{المسافة من أجل كل دورة}}{\text{عدد الخطوات في كل دورة}}$$

$$\frac{25.13}{\frac{360}{1.8}} = 0.126mm$$

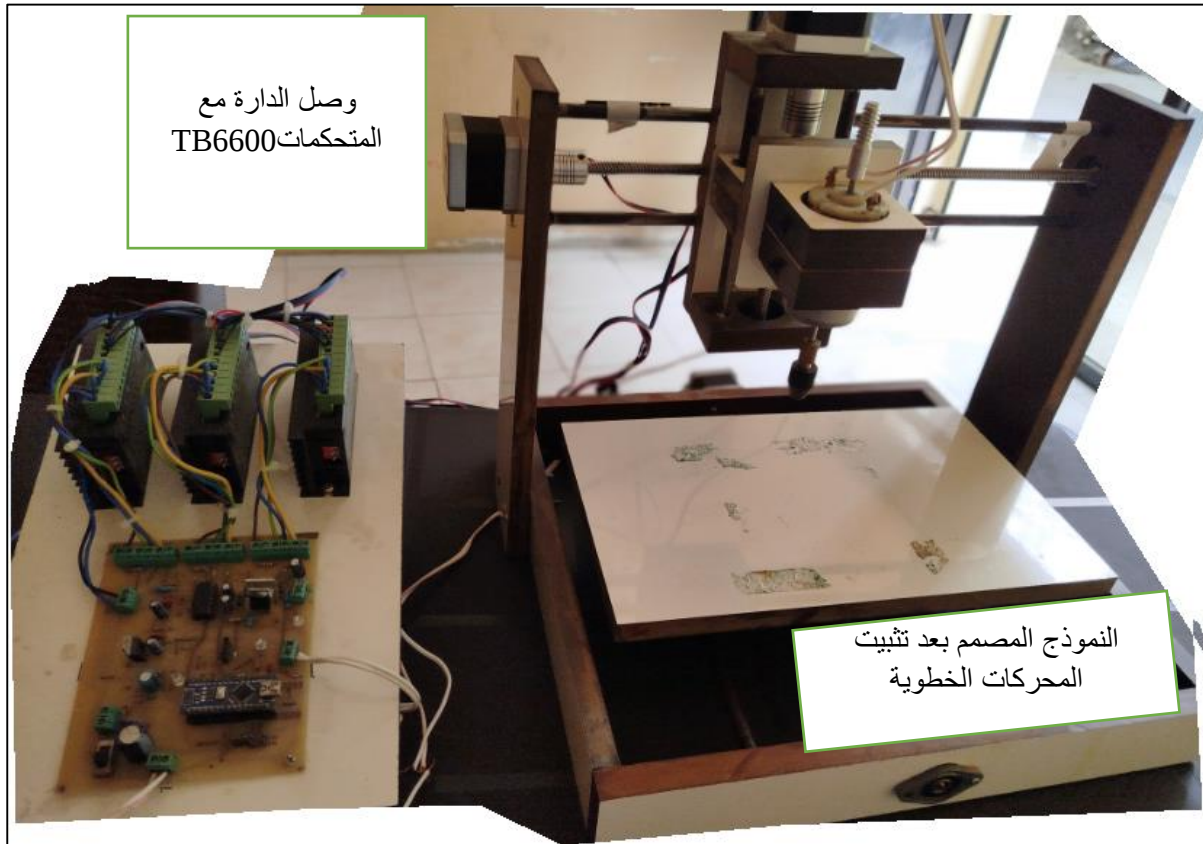
بالتالي المسافة المقطوعة من أجل (١/٨) خطوة هي:

$$\frac{0.126}{8} = 0.0157mm$$

وتعبر عن أصغر خطوة لأداة الثقب على المحاور الثلاث، بالتالي من أجل إنشاء أي ثقب أو مجموعة متتالية من الثقوب في البداية يجب تحديد إحداثيات الثقب وإرسال هذه الإحداثيات على شكل أوامر G-code إلى الأردوينو لتحليل هذه الأوامر وتحويلها إلى أوامر حركية للمحركات الخطوية التي تقوم بتحريك أداة الثقب إلى الإحداثيات المحددة ومن ثم تبدأ عملية الثقب.

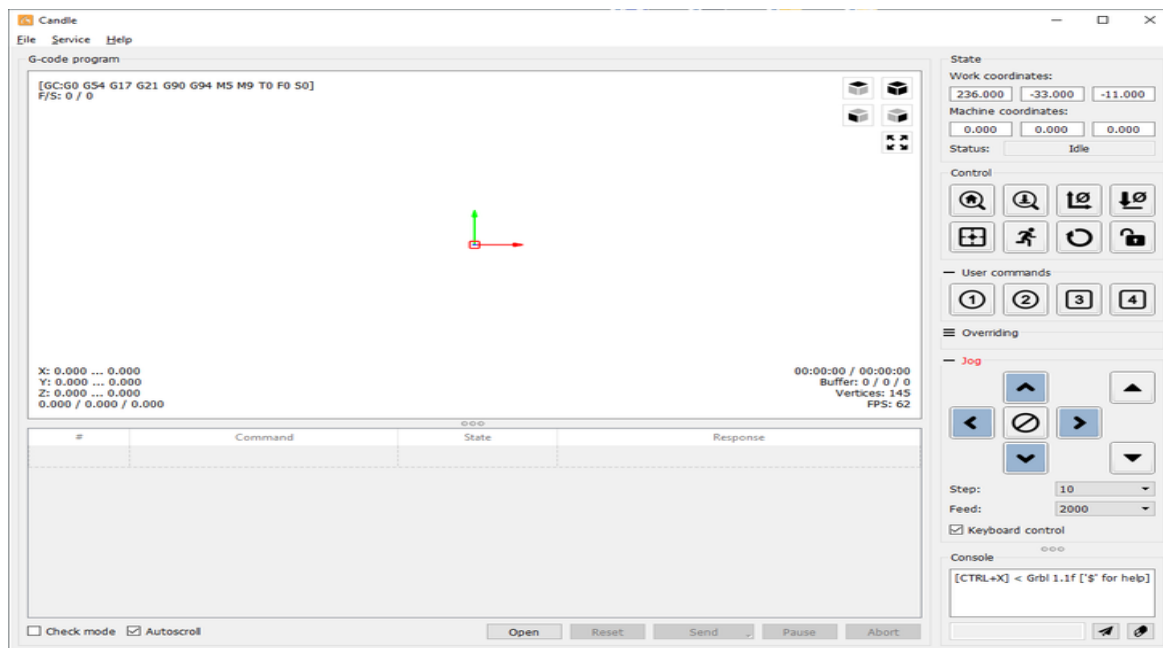
التنفيذ العملي للنظام المصمم:

تم تنفيذ التصميم الميكانيكي للمثقب ودارة التحكم كما هو مبين الشكل (١٣)، يتم تغذية المثقب ودارة التحكم بجهد مستمر 12v، تم استخدام ثلاث محركات خطوية من النوع NEMA23 ومحرك تيار مستمر استطاعته 36W، تم استخدام شريحة ArduinoNANO ودارة تحكم بسرعة المحرك المستمر وثلاث متحكمات من النوع TB6600.



الشكل (١٣): المثقب المصمم ودارة التحكم

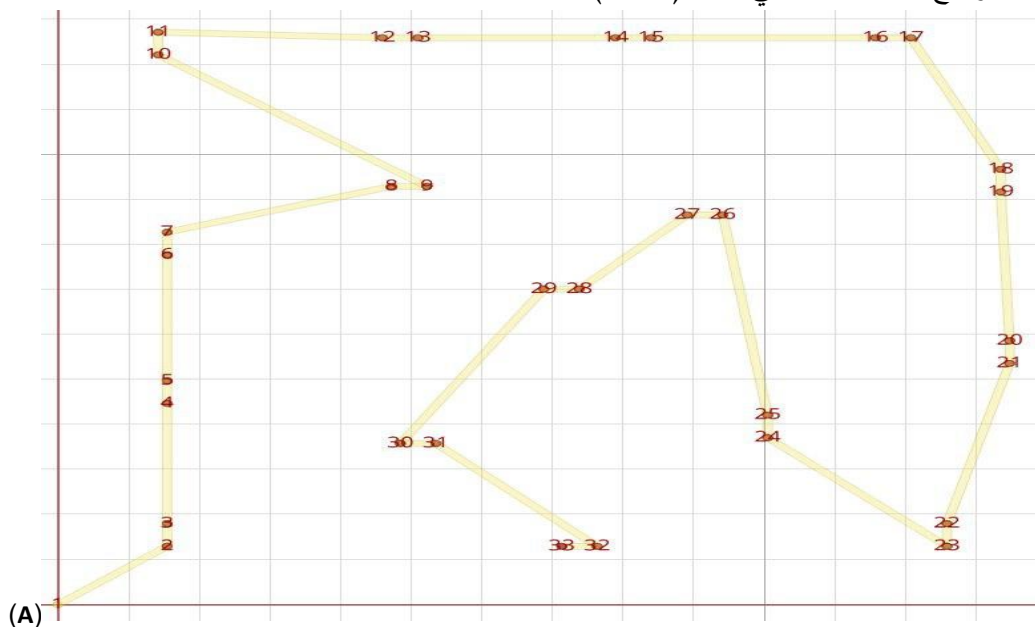
ويتم التحكم بعمل المثقب وإرسال الأوامر عن طريق الحاسب بواسطة واجهة تحكم سهلة الاستخدام، يبين الشكل (١٤) الواجهة التفاعلية على الحاسب.

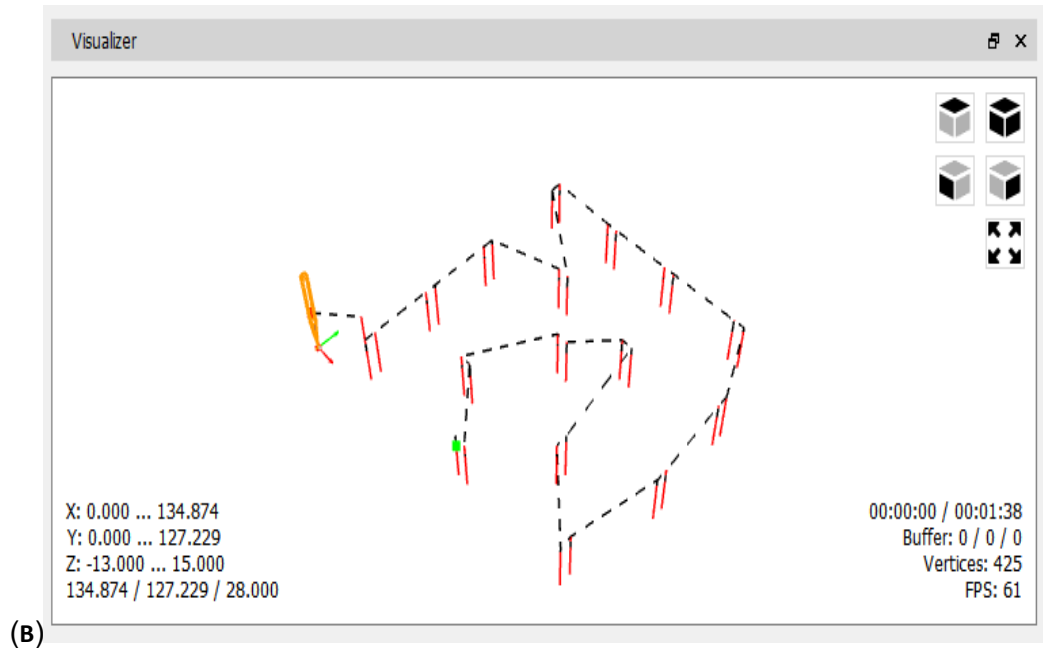


الشكل (١٤): واجهة برنامج Candle التفاعلية

اختبار النظام المصمم:

تم اختبار عملية الثقب على خريطة ثقب بعمق ٣mm حيث يتم في البداية رسم خريطة الثقب وفقاً لإحداثيات معينة افتراضية كما في الشكل (A-١٥)، ومن ثم تحويلها إلى تشفير G-code باستخدام برنامج FlatCam، ثم إرسال هذه التعليمات باستخدام برنامج Candle الذي يتصل مع دائرة التحكم ويقوم بإرسال تعليمات الـ G-code بشكل متتالي مع تحديد سرعة الثقب وعمق الثقب المطلوبة، ويتم مراقبة عمل المثقب عبر واجهة برنامج Candle كما في الشكل (B-١٥).

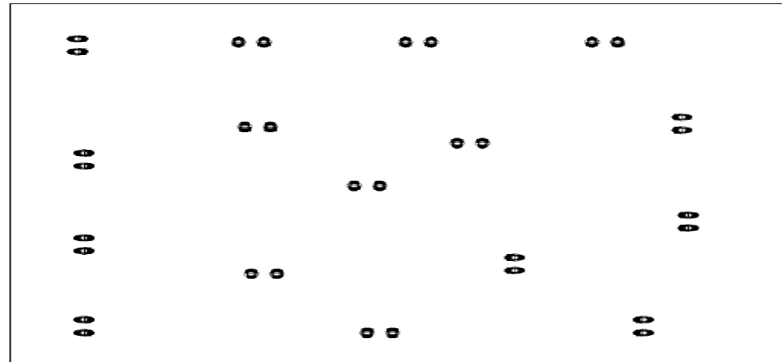




(B)

الشكل (١٥): يبين الشكل A-١٥ خريطة الثقوب والشكل B-١٥ خريطة عمل المثقب بدأ من نقطة البداية مقارنة نظام المثقب المصمم مع المثقب اليدوي:

أيضا تم إجراء عملية المقارنة بين المثقب اليدوي والمثقب المؤتمت من خلال إنجاز مجموعة من الثقوب المتتالية المبينة في الشكل (16) كما يبين الشكل (17) المثقب اليدوي المستخدم في عملية المقارنة.



الشكل (16): خريطة الثقوب لاختبار المقارنة

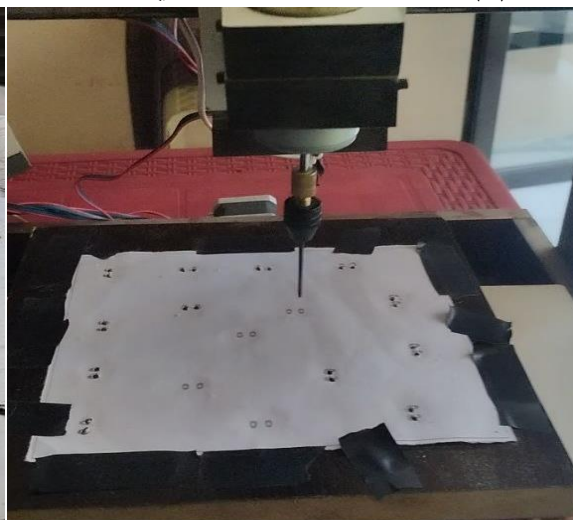


الشكل (17): المثقب اليدوي المستخدم في عملية المقارنة

عند الثقب بالمثقب اليدوي تم طباعة خريطة الثقوب على ورقة وتثبيتها على سطح القطعة الخشبية المراد ثقبها وبالتالي اختصار الوقت المخصص لتعليم مكان الثقوب. يبين الشكل (18) الثقوب المنفذة، حيث يبين الشكل (A) الثقوب المنجزة بالمثقب اليدوي، بينما يبين الشكل (B) الثقوب المنجزة بالمثقب التقليدي.



(B)



(A)

الشكل (١٨): يبين إنجاز الثقوب باستخدام المثقب المؤتمت والشكل B يبين إنجاز الثقوب بالمثقب اليدوي

تم حساب الوقت المستغرق في انجاز خريطة الثقوب بإهمال وقت التحضير للمثقب حيث احتاج المثقب اليدوي إلى ٥ دقائق و ٥٥ ثانية لإنجاز الثقوب أما بالنسبة للمثقب المؤتمت فقد احتاج إلى ٢ دقيقة و ٢٧ ثانية فقط، أي تمكن المثقب المؤتمت من تخفيض الزمن اللازم لإنجاز المهمة بنسبة 58.6%.

اختبار عمق الثقب:

تم تحديد عمق الثقب بشكل مسبق في المثقب المؤتمت وهو 3mm عند إجراء الاختبار على عينة خشبية، وقد تم تحقيقه بدقة عالية، أما بالنسبة للمثقب اليدوي فإن دقة عمق الثقوب يعتمد على تقدير عامل المثقب وخبرته، وهذه النتائج تبين تفوق المثقب المؤتمت على المثقب العادي من حيث السرعة والدقة.

الاستنتاجات والتوصيات:

١. يتميز المثقب المصمم بسرعة في الأداء، حيث أن أداء المثقب المصمم أسرع بمقدار 58.6% من المثقب اليدوي.
 ٢. إن التحكم بسرعة عملية الثقب باستخدام تقنية PWM يوفر إمكانية التعامل مع الأنواع المختلفة من المواد، والحصول على ثقوب نظيفة غير مشوهة.
 ٣. تتيح أتمتة عملية الثقب الحصول على دقة في العمل مما يحسن العملية ويزيد جودة المنتج.
 ٤. دقة عالية في عمق الثقوب وصلت إلى ٩٩% مما يحسن العملية ويزيد جودة المنتج.
- ونظراً لهذه النتائج الجيدة فنقترح أن يتم العمل مستقبلاً على النقاط التالية:
١. تصميم المثقب بحجم أكبر وباستخدام محركات كبيرة باستخدام خوارزمية التحكم ذاتها من أجل القيام بعمليات الثقب الصناعية الكبيرة والتي تحتاج إلى قوة أكبر.
 ٢. استخدام متحكمات أكثر تطوراً لتحسين أداء المثقب.

المراجع:

- [1] M.H.Aziz, 2012, Real-time Algorithm for Detection of Breakthrough Bone Drilling, International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors.
- [2] G.Niranjan , A.Chandini , P.Mamatha, 2013, Automated Drilling Machine with Depth Controllability, International Journal of Science and Engineering Applications.
- [3] Mr R. D. Mardane, Prof. U.D.Gulhane, Dr. A.R.Sahu, 2016, Design & Fabrication of Automated Attachment For Positioning Bed Of Drilling Machine With Respect To Cad Model , IJARIE.
- [4] Md. M. Hasan, Md. R. Khan, A. T. Noman, H.Rashid, N.Ahmed, SM. T. Reza, 2019, Design and Implementation of a Microcontroller Based Low Cost Computer Numerical Control (CNC) Plotter using Motor Driver Controller, International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering.
- [5] M.M.Aung, N.N.Oo, M.T.Oo, 2019, CNC Drilling Machine for Printed Circuit Board, International Journal of trend in Scientific Research and Development.
- [6] P.Kapase, P.Choudhari, B.Khobragade , L.Gaidhane, H.Barapatre, Dr.A.C.Waghmare, 2021, Automatic Drilling Machine Based on PLC, International Research Journal of Engineering and Technology.
- [7] M.N. Khan, M.S.Ansari, Md I.Ansari, , M.M.Alam, 2022, Fabrication and Automation of Drilling Machine by Using Arduino, Conference Series Materials Science and Engineering.
- [8] Saiful Bahri Mohamed, 2023, "Design and Development of 3-Axis Benchtop CNC Milling Machine for Educational Purpose", International Journal of Integrated Engineering.
- [9] M.Lombard, 2013, SolidWorks 2013 BIBLE.
- [10] N.Hatem, Y.Yusof, A.Z.A.Kadir, K.Latif, M.A.Mohammed , 2021, Interpreting the G-code of drilling Machining to use in open CNC Controller Machine, Journal of Physics: Conference Series.