كليــة التربية النوعية
CULTY OF SPECIFIC EDUCATION

أثر تكامل التقنيات الرقمية المتقدمة في دعم الإبداع والجوانب الوظيفية للنحت المعاصر

The Impact of Integrating Advanced Digital Technologies on Supporting Creativity and the Functional Aspects of Contemporary Sculpture

إعـــداد

م/ أسماء محمد محمد عمر

باحثة ماجستير قسم النحت والتشكيل المعماري كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها

إشــراف

أ.د/ عبد المؤمن شمس الدين القرنفيلي
أستاذ النحت الفراغي والميداني وعميد كلية الفنون التطبيقية السابق- جامعة بنها

أ.م.د/ سارة عبد ربه محمد
أستاذ مساعد بقسم النحت والتشكيل المعماري والترميم، كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها

مايو ٢٠٢٥ م

أثر تكامل التقنيات الرقمية المتقدمة في دعم الإبداع والجوانب الوظيفية للنحت المعاصر

The Impact of Integrating Advanced Digital Technologies on Supporting Creativity and the Functional Aspects of Contemporary Sculpture

إعـــداد
م/ أسماء محمد محمد عمر[١]
إشراف
أ.د/ عبد المؤمن شمس الدين القرنفيلي* أ.م.د/ سارة عبد ربه محمد**

الملخص:
شهد مجال النحت الوظيفي في العقود الأخيرة تحولًا جذريًا بفضل التقدم المتسارع في التقنيات الرقمية، التي لم تقتصر على تسهيل عمليات التصميم والتنفيذ، بل أعادت تشكيل فلسفة النحت من حيث آليات الإبداع وأدوات الإنتاج. ففي حين اعتمد النحت التقليدي على أدوات يدوية وخامات طبيعية، مما قيد حرية المصمم في تصور الشكل النهائي، أصبح بالإمكان حاليًا عبر برمجيات التصميم ثلاثي الأبعاد إنشاء نماذج دقيقة قابلة للتعديل ضمن بيئة افتراضية تفاعلية. كما ساهمت تقنيات المسح الضوئي في رقمنة النماذج وتحليلها وإعادة توظيفها، ما دعم ابتكار تصميمات جديدة تستند إلى مرجعيات مادية. وأتاح الواقع الممتد بجميع أنواعه (XR) بيئة تفاعلية تمكن من معاينة النماذج في سياقها الوظيفي قبل تنفيذها، مما قلل من الأخطاء وحسن الكفاءة. كذلك

[١] باحثة ماجستير قسم النحت والتشكيل المعماري كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها
* أستاذ النحت الفراغي والميداني وعميد كلية الفنون التطبيقية السابق- جامعة بنها
** أستاذ مساعد بقسم النحت والتشكيل المعماري والترميم، كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها

أصبح الذكاء الاصطناعي أداة فعالة في تحليل التصميمات واقتراح حلول مبتكرة استنادًا إلى البيانات والأنماط، مما وسع آفاق الإبداع.
يتناول هذا البحث أثر تكامل هذه التقنيات لإنتاج مجسمات ذات كفاءة وظيفية وجمالية، كما يرصد نماذج ناجحة لهذا التوظيف، مع الإشارة إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد باعتبارها وسيلة فعالة لتحويل النماذج الرقمية إلى مجسمات مادية دقيقة. ويقترح البحث تصورًا متكاملًا لتوظيف هذه التقنيات في مجالي التصميم والإنتاج، لتعزيز الكفاءة والجمال والوظيفة. ويختتم بتوصيات لتطوير الممارسات الفنية والمناهج التعليمية استنادًا إلى نتائج الدراسة.

Abstract:

In recent decades, the field of functional sculpture has witnessed a radical transformation due to the rapid advancement of digital technologies, which have not only facilitated design and implementation processes but also reshaped the philosophy of sculpture in terms of creative mechanisms and production tools. While traditional sculpture relied on manual tools and natural materials—limiting the designer's freedom in envisioning the final form—today, 3D design software enables the creation of precise, modifiable models within interactive virtual environments.
Scanning technologies have also contributed to digitizing, analyzing, and reusing models, supporting the development of new designs based on physical references. Extended Reality (XR) in all its forms has played a significant role by providing interactive environments that allow the evaluation of models in their functional context prior to physical implementation, thus reducing error rates and enhancing design efficiency. Likewise, Artificial Intelligence

has become an effective tool in analyzing designs and generating innovative proposals based on data and pattern analysis, expanding the horizons of creativity.
This research examines the impact of integrating these technologies to produce sculptural forms that combine both functional and aesthetic efficiency. It also highlights successful examples of such integration, with a particular focus on 3D printing as an effective means of translating digital models into precise physical objects. The study proposes an integrated vision for employing these technologies in design and production to enhance efficiency, aesthetics, and function. It concludes with a set of recommendations aimed at improving artistic practices and educational curricula in light of the study's findings.

الكلمات المفتاحية:
النحت الرقمي ، المسح الضوئي ، الواقع الممتد XR ، الذكاء الإصطناعي AI ، الطابعة ثلاثية الأبعاد.

المقدمة:

شهدت ممارسات النحت تطورًا ملحوظًا خلال العقود الأخيرة، نتيجة للتقدم التكنولوجي السريع الذي أثر بشكل عميق على فلسفة وتقنيات النحت. فقد انتقل النحت من الاعتماد على الأدوات اليدوية والخامات الطبيعية إلى استخدام البرمجيات الرقمية وتقنيات التصنيع الحديثة، مما أتاح إمكانيات غير محدودة في التصميم والإنتاج (Bozdemir, 2024). كان النحت التقليدي يعتمد بشكل أساسي على المهارات الحرفية واستخدام الأدوات اليدوية، مما كان يتطلب وقتًا وجهدًا كبيرين. وقد كانت هذه الممارسات محدودة من حيث القدرة على تصور النتيجة النهائية بدقة قبل التنفيذ الفعلي، مما قد يؤدي إلى أخطاء وتعديلات مكلفة(Zhang, 2023) . ولكن مع ظهور البرمجيات ثلاثية الأبعاد مثل ZBrush (Zebra Brush) و Rhino (Rhinoceros 3D) و Blender (Open-source 3D Modeling and Animation Software)، وغيرهم، أصبح بإمكان النحاتين تصور وتعديل النماذج النحتية ضمن بيئة افتراضية، مما أتاح تحكمًا كاملاً في الشكل والحجم والتفاصيل. وقد ساهمت هذه البرمجيات في تسريع عملية التصميم وتقليل الأخطاء البشرية (السعيد، ٢٠٢١). كما أدى استخدام تقنيات المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد (3D Scanning) إلى تحويل النماذج الواقعية أو اليدوية إلى بيانات رقمية قابلة للتحرير والمحاكاة، مما سهل توثيق النماذج وإعادة توظيفها ضمن تصميمات جديدة (Alrashidi et al., 2024) . كما أحدثت تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D Printing) ، ثورة في طرق إنتاج المجسمات النحتية، حيث سمحت بإنشاء نماذج معقدة بدقة عالية (Zhao, 2021). كما ساهمت تقنيات الواقع الممتد (Extended Reality - XR)، بما في ذلك الواقع الافتراضي (Virtual Reality - VR)، والواقع المعزز (Augmented Reality - AR) ، والواقع المختلط (Mixed Reality - MR)، في خلق بيئة تفاعلية غامرة تتيح معاينة المجسم النحتي في سياقه الوظيفي الحقيقي قبل التنفيذ الفعلي. هذا التطور قلل من نسبة الأخطاء ورفع من كفاءة التصميم، وساهم في خفض التكاليف (Viganò, 2008). كما دخل الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence - AI) على خط التصميم كأداة فعالة في تحليل

التصميمات المعقدة، وتقديم بدائل متنوعة، بل وتوليد مقترحات تصميمية إبداعية تعتمد على تحليل البيانات والأنماط البصرية. هذا التوجه وسع آفاق المصمم وفتح مجالًا لا نهائيًا من الاحتمالات الشكلية والوظيفية. لكن بالرغم من الفوائد العديدة للتقنيات الرقمية، إلا أن هناك تحديات مرتبطة بتكامل هذه التقنيات في ممارسات النحت التقليدية، مثل الحاجة إلى تدريب متخصص، وتوفير البنية التحتية المناسبة، وتجاوز الحواجز الثقافية تجاه استخدام التكنولوجيا في الفن (Abdoh, 2024).

مشكلة البحث:

على الرغم من التقدم العلمي الهائل في مجال التقنيات الرقمية، مثل برمجيات التصميم ثلاثي الأبعاد، وتقنيات المسح الضوئي، وأدوات الواقع الممتد بجميع أنواعه (الواقع الافتراضيVR ، المعززAR ، والمختلطMR)، إضافة إلى برامج وتطبيقات الذكاء الاصطناعي وتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، لا يزال هناك قصور في التكامل الفعلي بين هذه الأدوات بما يخدم إنتاج مجسمات نحتية وظيفية تتمتع بأقصى درجات الكفاءة الجمالية والعملية. ففي كثير من الحالات، تستخدم هذه الأدوات بشكل منفصل، دون تحقيق رؤية تكاملية تسمح بمحاكاة واختبار المجسمات رقمياً من حيث الشكل والوظيفة قبل تنفيذها فعلياً، مما يؤدي إلى هدر في الوقت والتكلفة، ويحد من فرص الابتكار. كما تبرز محدودية في دمج هذه التقنيات ضمن المناهج التعليمية الخاصة بالنحت والتصميم، وهو ما يعيق الجيل الجديد من المصممين عن استثمار هذه الأدوات المتقدمة بالشكل الأمثل.

ومن هنا، تنبع مشكلة البحث في التساؤلات التالية:

١. كيف يمكن أن يؤدي تكامل التقنيات الرقمية إلى تصميم أعمال نحتية تجمع بين الوظيفة والجمال بكفاءة عالية؟

٢. كيف يساهم هذا التكامل في رفع مستوى الإبداع، تحسين الأداء الوظيفي، واختبار التصميم افتراضيًا قبل التنفيذ، مما يقلل من التكاليف والأخطاء المحتملة؟

فروض البحث:

تفترض الباحثة ما يلي:

١. توظيف التقنيات الرقمية مثل برمجيات النمذجة ثلاثية الأبعاد و XR، الذكاء الاصطناعي، والطباعة ثلاثية الأبعاد يسهم في رفع كفاءة النحت الوظيفي وتحسين دقته، و يحقق توازنًا بين الوظيفة والجمال في المجسم النحتي.

٢. استخدام بيئات افتراضية تفاعلية يساعد على معاينة النموذج واختباره قبل تنفيذه، مما يقلل الأخطاء ويخفض التكاليف.

أهداف البحث:

يهدف البحث إلي:

١. تصميم أعمال نحتية تجمع بين الجمال والوظيفة بإستخدام التقنيات الرقمية المتقدمة.

٢. استكشاف إمكانيات توظيف XR والذكاء الاصطناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد في تعزيز الإبداع والكفاءة الوظيفية.

٣. تحديد النماذج الناجحة في تطبيق هذه التقنيات داخل المجال الفني.

٤. اقتراح تصور متكامل لتوظيف هذه الأدوات ضمن عملية تصميم وإنتاج نحت وظيفي متوازن.

٥. صياغة توصيات تدعم تطوير البرامج التعليمية والممارسات الفنية في ضوء نتائج البحث.

منهج البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التجريبي معًا، وذلك بهدف دراسة أثر التقنيات الرقمية على ممارسات النحت الوظيفي. حيث يقوم المنهج الوصفي

التحليلي بتحليل الدراسات والنماذج المعاصرة التي توظف البرمجيات ثلاثية الأبعاد وتقنيات التصنيع الرقمي في تصميم المجسمات النحتية، بالإضافة إلى دراسة الإمكانات التقنية والفنية لهذه الوسائط. أما المنهج التجريبي، فقد تم توظيفه من خلال قيام الباحثة بتصميم مجموعة من النماذج النحتية الوظيفية باستخدام برمجيات التصميم ثلاثي الأبعاد مثل ZBrush و 3ds Max، ومن ثم تنفيذ هذه النماذج ماديًا باستخدام طابعة FDM (Fused Deposition Modeling)، معتمدة على خامة PLA. وقد أتاحت هذه التجربة اختبار الفرضيات البحثية بشكل عملي، وتقييم فعالية التقنيات الرقمية في تحقيق التكامل بين الشكل الجمالي والوظيفة في العمل النحتي.

المحورالأول: الإطار النظري للبحث:

١. شهدت ممارسات النحت تحولاً كبيراً خلال العقود الأخيرة، نتيجة للتقدم التكنولوجي السريع الذي أثر بشكل عميق على فلسفة وتقنيات النحت. فقد انتقل النحت من الاعتماد على الأدوات اليدوية والخامات الطبيعية إلى استخدام البرمجيات الرقمية وتقنيات التصنيع الحديثة، مما أتاح إمكانيات غير محدودة في التصميم والإنتاج. هذا التحول أدى إلى إحداث نقلة نوعية في فلسفة النحت، حيث تغيرت أساليب التفكير والإبداع وتوسعت أفق المصممين، مما مكنهم من تحقيق أفكار وتصاميم كانت غير قابلة للتحقيق في الماضي (Reiss, Price, & Evans, 2014).

٢. **النحت التقليدي:** قبل تطور التكنولوجيا، كانت ممارسات النحت تقتصر على الأدوات اليدوية والخامات الطبيعية، مما كان يتطلب وقتًا وجهدًا كبيرين(Bozdemir, 2024). كان النحاتون يعتمدون على المهارات الحرفية في الرسم والنحت المباشر، حيث يتم العمل على المواد باستخدام الأدوات اليدوية مثل المطرقة والإزميل، وكان من الصعب تصور النتيجة النهائية بدقة قبل التنفيذ الفعلي. هذا الإجراء كان يستغرق وقتًا طويلاً وكان معرضًا للخطأ، مما قد يؤدي

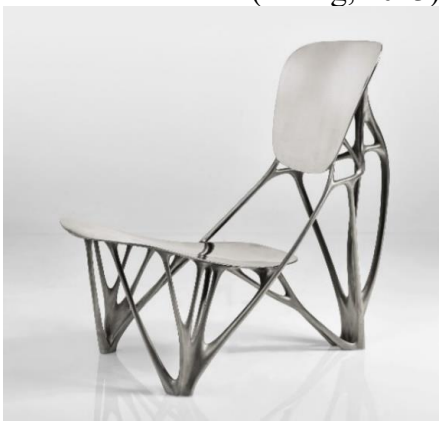
إلى ضرورة إجراء تعديلات مكلفة خلال عملية التنفيذ. من جهة أخرى، كانت قدرة المصمم على تعديل الشكل أو الحجم أو التفاصيل محدودة في مرحلة التصميم الأولية، مما أضاف إلى التحديات التي يواجهها النحاتون في إتمام أعمالهم (Zhang, 2023).

٣. **النحت الرقمي:** يعرف النحت الرقمي بأنه عملية تشكيل الأجسام والمجسمات ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج حاسوبية متخصصة، تتيح للفنان محاكاة تقنيات النحت التقليدية بأساليب رقمية، مع التحكم الكامل في الشكل، الحجم، والخامة ضمن بيئة افتراضية (عبد الله الشيخ، ٢٠٢٤). وقد أدى ظهور تقنيات الحوسبة وتطور البرمجيات ثلاثية الأبعاد مثل ZBrush، Rhino، و Blender وغيرهم إلى إحداث تحول جذري في أساليب النحت، حيث أصبح بإمكان النحاتين تصور وتعديل النماذج بدقة عالية، واستكشاف احتمالات تصميمية واسعة لم تكن ممكنة في السابق . لم تعد أدوات النحت الرقمي تقتصر على تسهيل عمليات التصميم، بل أتاحت أيضًا إمكانيات غير مسبوقة للتجريب، التعديل الفوري، والمحاكاة الواقعية. ففي حين أن النماذج التقليدية تتطلب وقتًا وجهدًا كبيرين لإعادة تشكيلها، يتيح النحت الرقمي تصور النماذج وتعديلها لحظيًا ضمن بيئة ثلاثية الأبعاد، مما قلل من نسبة الخطأ، ورفع من مستوى الدقة والإبداع في المنتج النهائي(السعيد، ٢٠٢١) . ولعل من أبرز النماذج التطبيقية على هذا التحول، مجموعة من الفنانين الذين وظّفوا النحت الرقمي بشكل متميز في أعمالهم:

٣.١ جوريس لارمان (Joris Laarman)

مصمم هولندي شهير بدمجه بين الفن والتقنيات المتقدمة، أبرز أعماله **"كرسي العظام Bone Chair"** الذي صممه باستخدام خوارزميات مستلهمة من أنظمة النمو

العظمي في الطبيعة، بالتعاون مع برنامج **CAD** متطور، وطُبع لاحقًا بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد المعدنية (Zhang, 2023).



شكل(١) كرسي العظام (Bone Chair) جوريس لارمان(Joris Laarman)

٣.٢ خرام علوي (Khurram Alavi)

نحات ومصمم رقمي باكستاني ، عمل على تصميم تمثال Master Chief المستوحى من لعبة Halo باستخدام برنامج .ZBrush يتميز عمله بالدقة العالية في التفاصيل التشريحية والملمس الرقمي، وقد جسد باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بعد مرحلة النمذجة الرقمية (Alavi, 2023).

شكل(٢) تمثال ماستر تشيف (Master Chief) خرام علوي (Khurram Alavi)

٣.٣ درور بنشترت (Dror Benshetrit)

مصمم إسرائيلي-أمريكي، قدم عملًا لافتًا بعنوان "Vase of Phases"، فازة تبدو كأنها تحطّمت وأعيد ترتيبها، تم تطويرها بالكامل باستخدام تقنيات التصميم التوليدي وبرامج المحاكاة، ثم طُبعت باستخدام مواد خزفية بتقنية ثلاثية الأبعاد (Groys, 2014).

شكل(٣) Vase of Phases درور بنشترت (Dror Benshetrit)

٣.٤ جواكيم فرومنت (Joachim Froment)

مصمم فرنسي يدمج بين الطباعة الثلاثية الأبعاد والاستدامة، أطلق مشروعه START COLLECTION باستخدام مواد معاد تدويرها، وبرمجيات مفتوحة المصدر. صمم أثاثًا ووحدات زخرفية عبر تقنيات النمذجة المعمارية الرقمية، معتمدًا على برامج مثل Grasshopper و Blender (Froment, 2024) .

شكل(٤) تصاميم ثلاثية الأبعاد للأثاث المطبوع من النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها جواكيم (Joachim Froment) فرومنت

كل هذه النماذج تظهر بوضوح كيف أن التحول الرقمي في النحت لا يقتصر على محاكاة الأدوات التقليدية، بل يفتح آفاقًا جديدة من الإبداع والتجريب، ويعيد تعريف العلاقة بين الشكل والوظيفة في العمل الفني.

٤. **تقنيات المسح الضوئي والطباعة ثلاثية الأبعاد في النحت:** يعرف المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد بأنه تقنية رقمية تستخدم لالتقاط الشكل الهندسي والتفاصيل السطحية لكائن مادي وتحويله إلى نموذج ثلاثي الأبعاد رقمي يمكن حفظه، تحريره، أو إعادة إنتاجه باستخدام برامج التصميم والطباعة. وتعد هذه التقنية من الأدوات الأساسية في النحت الرقمي، حيث تتيح للنحاتين تحويل النماذج الواقعية أو اليدوية إلى بيانات رقمية قابلة للتحرير والتعديل. هذه العملية تسهم في الحفاظ على الأعمال الفنية التقليدية وتوثيقها بدقة، مما يسهل إعادة توظيفها في تصميمات جديدة أو دمجها ضمن نماذج مركبة ذات وظائف معاصرة (Alrashidi et al., 2024) . أما في

مجال الإنتاج، فقد أحدثت تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة في صناعة النحت، حيث توفر للنحاتين القدرة على إنشاء نماذج معقدة ودقيقة بتكلفة منخفضة(عبد العزيز، ٢٠٠٦). تتميز هذه التقنيات بمرونتها في استخدام مواد متنوعة مثل البلاستيك، الراتنج، المعادن، والسيراميك، مما يتيح إمكانيات واسعة في تشكيل الأشكال النحتية(Velayutham & Raman, 2024). وتعتمد هذه التقنيات على مبدأ النمذجة بالإضافة (Additive Manufacturing) ، حيث يتم بناء الشكل النحتي طبقةً بعد أخرى، مما يمنح مرونة عالية في تشكيل المجسمات دون الحاجة إلى قوالب تقليدية أو أدوات نحت يدوية. وتشير الدراسات إلى أن هذه التقنيات لا تقتصر على تحسين جودة الإنتاج، بل تسهم أيضًا في تقليل الهدر، تسريع عملية التصنيع، وخفض التكاليف، كما تفتح المجال لتجريب أشكال غير مألوفة تتسم بالدقة والتعقيد الهندسي، يصعب تنفيذها بالطرق التقليدية (Zhao, 2021).

٥. **الواقع الممتد (XR) وتأثيره على النحت الوظيفي:** يعرف النحت الوظيفي بأنه نوع من النحت يجمع بين القيمة الجمالية والفنية وبين الجانب العملي أو الاستخدامي، حيث ينتج الفنان أعمالًا نحتية تؤدي وظيفة محددة (مثل الأثاث أو الإضاءة أو العناصر المعمارية) إلى جانب كونها تعبيرًا بصريًا فنيًا (Gao & Xing, 2023). أما الواقع الممتد (Extended Reality - XR)، فهو مصطلح شامل يضم مجموعة من التقنيات التي تدمج العوالم الرقمية بالواقع الفيزيائي، وتشمل أساسًا الواقع الافتراضي (VR)، والواقع المعزز (AR)، والواقع المختلط (MR). تعد تقنيات الواقع الممتد من أبرز التطورات التي ساهمت في تحسين عمليات التصميم والتنفيذ في النحت الوظيفي، حيث تتيح للمصممين معاينة النماذج النحتية ثلاثية الأبعاد ضمن بيئاتها الحقيقية أو الوظيفية قبل تنفيذها. يمكن للنحات

مثلًا استخدام الواقع المعزز (AR) لعرض النموذج داخل مساحة فعلية كجزء من تصميم داخلي، أو استخدام الواقع الافتراضي (VR) لاختبار الشكل والحجم والعلاقات الفراغية في بيئة غامرة تفاعلية. هذا التكامل ساعد على تقليل الأخطاء التصميمية قبل التنفيذ، من خلال اختبار النماذج في سياقاتها الواقعية، مما أدى إلى تحسين دقة القرارات التصميمية، وزيادة كفاءة التعديلات، وخفض التكاليف الناتجة عن عمليات إعادة الإنتاج أو التعديل المتأخر (Viganò, 2008).

دور الذكاء الاصطناعي في تصميم النحت الوظيفي

يعرف الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence - AI) بأنه مجموعة من الأنظمة والخوارزميات التي تحاكي القدرات العقلية البشرية مثل التعلم، التحليل، التنبؤ، واتخاذ القرار، وذلك عبر معالجة كميات ضخمة من البيانات (Abo Elwafaa, 2023). وفي سياق النحت الرقمي، يستخدم الذكاء الاصطناعي لتوليد تصميمات جديدة، وتحليل الأنماط، واقتراح حلول إبداعية تتجاوز قدرات التصميم التقليدي. لقد أصبح الذكاء الاصطناعي أداة فعالة في تصميم النماذج النحتية الوظيفية، حيث يمكنه تحليل التصميمات المعقدة، واقتراح بدائل متعددة بناءً على خوارزميات التعلم العميق، كما يتيح للمصممين اكتشاف علاقات شكلية ووظيفية جديدة لم تكن واضحة من قبل (El Hajj, 2022). من بين التطبيقات البارزة التي تستفيد من تقنيات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال:

- **Runway ML**: لإنشاء تصاميم بصرية مدعومة بالتعلم العميق.
- **MidJourney و DALL E :** لتوليد تصاميم أولية مجازية يمكن تحويلها إلى نماذج ثلاثية الأبعاد.
- **Dream Fusion (Google) و Kaedim :** لتحويل الرسوم ثنائية الأبعاد إلى مجسمات ثلاثية الأبعاد قابلة للتعديل.

- **Rhino مع Grasshopper + AI Plugins:** لدمج الذكاء الاصطناعي في توليد التصميمات المعمارية والنحتية المعقدة وظيفيًا (مصطفى، ٢٠٢٣).

يساعد الذكاء الاصطناعي في توليد مقترحات تصميمية إبداعية، ويسهم في تقديم حلول ذكية لمشكلات تصميم يصعب حلها بالطرق التقليدية، مثل تحليل العلاقة بين الشكل والوظيفة، أو تحسين استغلال المواد. يفتح هذا التوجه آفاقًا واسعة أمام المصممين لتطوير أشكال وظيفية غير مسبوقة، ويعزز القدرة على ابتكار تصاميم متكاملة تلائم احتياجات العصر من حيث الوظيفة والجمال. وبالتالي، يساهم الذكاء الاصطناعي بشكل مباشر في رفع كفاءة عملية التصميم، وتوسيع أفق الإبداع، وتقليص الزمن اللازم للتنفيذ، مما يجعله أداة محورية في مستقبل النحت الوظيفي الرقمي (Abdoh, 2024).

شكل(٥) نماذج مقترحة لزجاجات عطور تم توليدها باستخدام أحد تطبيقات الذكاء الاصطناعي

شكل(٦) نماذج لوحدات إضاءة تم توليدها باستخدام أحد تطبيقات الذكاء الاصطناعي

التحديات التقنية والعملية في النحت الرقمي: على الرغم من المزايا الكبيرة التي جلبتها التقنيات الرقمية إلى مجال النحت الوظيفي، فإن هذا التحول لا يخلو من تحديات تقنية وعملية متعددة يجب التعامل معها بوعي وتخطيط. من أبرز هذه التحديات الحاجة إلى تدريب النحاتين والمصممين على استخدام الأدوات التكنولوجية المتقدمة مثل برمجيات النمذجة ثلاثية الأبعاد، والواقع الممتد، والذكاء الاصطناعي، وهي أدوات تتطلب مهارات تقنية متخصصة قد لا تتوفر لدى بعض الفنانين الذين اعتادوا على أساليب النحت اليدوي التقليدي. بالإضافة إلى ذلك، يبرز تحدٍ آخر يتمثل في ضعف البنية التحتية التقنية في بعض المؤسسات التعليمية أو الورش الفنية، حيث لا تتوفر دائمًا الطابعات ثلاثية الأبعاد، أو الماسحات الضوئية، أو أنظمة الواقع الافتراضي، مما يحدّ من إمكانية تعميم هذه التجربة الرقمية. كما أن التكلفة المالية لهذه التقنيات، سواء من

حيث شراء الأجهزة أو ترخيص البرامج، تشكل عائقًا أمام بعض الفنانين أو الجهات التعليمية (Mpofu et al., 2014). ومن الجانب الثقافي، هناك مقاومة من بعض الممارسين التقليديين، الذين ينظرون إلى التكنولوجيا بوصفها تهديدًا للمهارات اليدوية الأصيلة، أو كعامل يفقد العمل الفني قيمته التعبيرية(Santos Martín et al., 2024). ويضاف إلى ذلك، أن تكامل هذه التقنيات في البيئة الإنتاجية يتطلب تغييرًا جوهريًا في آليات العمل، وإعادة هيكلة طرق الإنتاج والتفكير التصميمي لتتوافق مع متطلبات النمذجة الرقمية، والطباعة ثلاثية الأبعاد، والبرمجة التفاعلية.

٦. **مقترح عملي للتغلب على التحديات:** لمواجهة هذه التحديات، يقترح تبني إطار عملي متكامل يهدف إلى دمج التقنيات الرقمية في ممارسات النحت الوظيفي بطريقة تدريجية ومستدامة. يرتكز هذا الإطار على التعاون بين النحاتين، المصممين، والمهندسين لتطوير حلول تقنية مرنة، وأدوات تصميم سهلة الاستخدام، تراعي الجانب الإبداعي والفني دون أن تفرض تعقيدًا تقنيًا غير مبرر. كما يتطلب الأمر تطوير برامج تعليمية وتدريبية متخصصة، تدمج فيها التقنيات الرقمية ضمن مناهج الفنون التطبيقية والجميلة، مع التركيز على تنمية المهارات الرقمية للنحاتين، وتمكينهم من استخدام البرمجيات مثل ZBrush، Rhino، Fusion 360، وBlender، إضافة إلى تقنيات الواقع الافتراضي والذكاء الاصطناعي في تصميم المجسمات.

إن دمج هذه التقنيات في التعليم والتدريب الفني لا يسهم فقط في تحسين كفاءة النحاتين، بل يساعد على بناء جيل جديد من الفنانين الرقميين القادرين على إنتاج أعمال نحتية معاصرة تجمع بين الجمال والوظيفة، وتستجيب لتحديات ومتطلبات المستقبل.

المحور الثاني: الدراسة التجريبية التطبيقية:

في الإطار العملي لهذا البحث، تم تنفيذ تجارب تصميمية لنماذج نحتية باستخدام برامج التصميم ثلاثي الأبعاد مثل ZBrush و3ds Max، بهدف استكشاف القدرات الإبداعية والوظيفية التي توفرها أدوات النحت الرقمي، مقارنة بالأساليب التقليدية.
تم تصميم النماذج رقمياً مستغلة إمكانيات هذه البرمجيات في التحكم بالتفاصيل الدقيقة وتعديل الأشكال بحرية تامة. بعد ذلك، تم تحويل النماذج إلى صيغة STL، وجرى اختبارها ضمن بيئة الواقع المختلط (Mixed Reality) ، ما أتاح معاينتها كما لو كانت مجسمات حقيقية موضوعة في بيئتها النهائية. ساعدت هذه المرحلة على اكتشاف عيوب وظيفية وجمالية لم تكن واضحة خلال التصميم الرقمي.
بناءً على هذه المعاينة التفاعلية، تم الرجوع إلى برامج التصميم وإجراء التعديلات اللازمة بدقة، ثم أعيد اختبار النموذج مرة أخرى قبل الوصول إلى الصيغة النهائية. بعد التأكد من كفاءة التصميم، تم تنفيذ النماذج باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد FDM (Fused Deposition Modeling)، والتي أثبتت فعاليتها في ترجمة النماذج الرقمية إلى مجسمات مادية دقيقة.

٢.١ النموذج الأول: (فازة على شكل ورقة ملتفة تحمل وجهًا تجريديًا)

الوصف العام للنموذج:

يتخذ النموذج شكل فازة عضوية تجريدية، تشبه ورقة ملتفة تغطي أحد جانبي وجه تجريدي محفور على سطحها، بحيث يظهر النصف الآخر فقط. يهدف التصميم إلى الدمج بين الوظيفة والجمال من خلال المزج بين البعد النحتي والزخرفي.

شكل(٧) نموذج نحتي وظيفي صمم على ZBrush ، وتمت معاينته بصيغة STL قبل تنفيذه بطابعة FDM بخامة PLA Plus

خطوات التصميم والتنفيذ:

١. مرحلة التصميم الرقمي:

- تم استخدام برنامج ZBrush للبدء بنموذج أساسي من نوع 3D Cube بسمك مناسب لجدار الفازة وعرض يسمح بالالتفاف.
- تم تفعيل أمر Edit للعمل على المجسم، ثم استخدام Make PolyMesh 3D لتحويل النموذج إلى صيغة قابلة للنحت.

- تم تطبيق Bend Deformer لخلق استدارة عضوية تحاكي شكل الورقة الملتفة.
- تم استخدام فرش النحت المختلفة مثل:
  - Move لتحريك الكتلة وتعديل الانحناءات،
  - Standard / DamStandard / ClayTubes / Mask Lasso لنحت ملامح الوجه التجريدي بدقة.

٢. مرحلة المعاينة والمحاكاة:

- بعد الانتهاء من النحت، تم تصدير النموذج بصيغة STL لمراجعته في بيئة محاكاة تشبه الواقع.
- تم فحص النموذج من حيث الإضاءة والظل وكشف العيوب المحتملة غير الظاهرة في بيئة برنامج النحت.
- أجريت التعديلات اللازمة في ZBrush حتى الوصول إلى الشكل النهائي المطلوب.

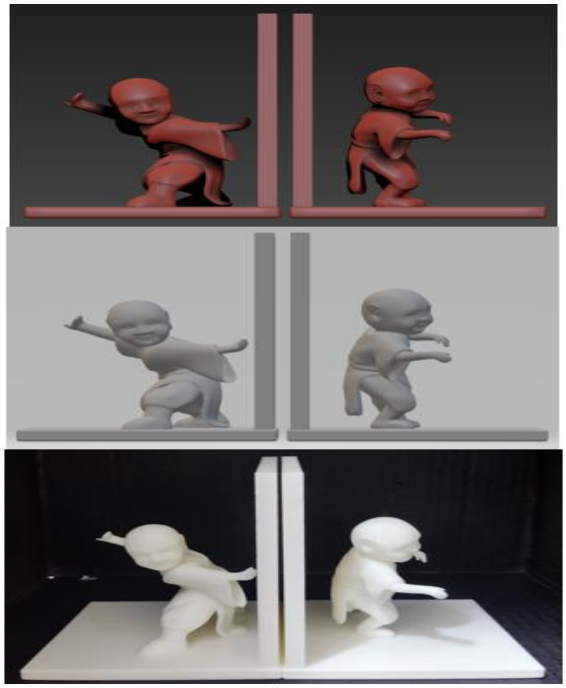
٣. مرحلة الطباعة:

- طبع النموذج باستخدام طابعة FDM بخامة PLA Plus لتحقيق صلابة وجودة سطح جيدة.
- بعد الطباعة، تم إجراء عمليات تنعيم للسطح لتحسين اللمسة النهائية وتعزيز المظهر الجمالي.

٢.٢ النموذج الثاني: (سنادتان للكتب على شكل طفلين يلعبان معًا ويختبئان خلف الحائط)

الوصف العام للنموذج:

تم تصميم السنادتين بشكل طفلين يتشاركان اللعب والاختباء خلف حائط، حيث يعكس التصميم الطابع الحيوي والمرح، ويجمع بين الوظيفة الواضحة (سنادات كتب) والتعبير النحتي التفاعلي.



شكل(٨) سنادتان للكتب، تم تصميمهما باستخدام برنامج ZBrush ، ومعاينتهما بصيغة STL بشكل شبه واقعي لتصحيح الأخطاء قبل التنفيذ باستخدام طابعةFDM

خطوات التصميم والتنفيذ:

١. مرحلة التصميم الرقمي:

- بدأ التصميم بإنشاء طفل واحد على برنامج ZBrush باستخدام Z Sphere لتشكيل هيكل أساسي (base mesh) قريب من الشكل المطلوب للرأس، الجسم، الأقدام، واليدين.
- بعد تكوين الهيكل الأساسي، تم الضغط على مفتاح "A" لتحويل الهيكل إلى شكل عادي يمكن التعديل عليه بواسطة الفرش المتنوعة داخل البرنامج.
- استخدمت فرش متعددة لإضافة التفاصيل الدقيقة مثل ملامح الوجه والملابس، مع تفعيل خاصية Dynamesh لزيادة نعومة المجسم وتسهيل التعديلات، وتم تنعيم السطح باستخدام فرشاة Smooth.
- تم نسخ الطفل الأول وتعديل وضعية اليد والحركة باستخدام أوامر Transform ليظهر الطفل الثاني في وضعية مختلفة، مع الحفاظ على التناغم بين الشكلين.

٢. إنشاء الجزء الهندسي للسنادة:

- تم تصميم قاعدة السنادة على شكل مكعب 3D بأبعاد مناسبة لتوفير ثبات ودعم عملي للكتب.

٣. مرحلة المعاينة والمحاكاة:

- تم تحويل التصميم إلى صيغة STL ليتم معاينته في بيئة محاكاة ثلاثية الأبعاد توفر رؤية شبه واقعية للنموذج، مما يسمح بالكشف عن أي عيوب أو أخطاء قد لا تظهر في برنامج التصميم.
- أجريت التعديلات النهائية بناءً على المعاينة لضمان دقة التصميم من حيث الشكل والوظيفة.

٤. مرحلة الطباعة والتشطيب:

- تم طباعة النموذج باستخدام طابعة FDM مع خامة PLA Plus لضمان جودة عالية وسطح ناعم.
- بعد الطباعة، خضع النموذج لعمليات التشطيب والتنظيف والتنعيم لتحسين المظهر النهائي.

٢.٣ النموذج الثالث: (شمعدان نحتي مستلهم من الأعمدة الحتحورية)

الوصف العام للنموذج:

يأخذ النموذج شكل شمعدان نحتي مستلهم من الأعمدة الحتحورية، يجمع بين الهيكل الهندسي الدائري والعناصر الزخرفية المنحوتة بدقة على الجزء العلوي. يهدف التصميم إلى المزج بين الطابع التاريخي والجمالي مع الوظيفة العملية للشمعدان.

شكل(٩) شمعدان، تم تصميم هيكله الرئيسي باستخدام برنامج 3ds Max، والجزء العلوي ببرنامج ZBrush، ثم تحويل النموذج إلى ملف STL لمعاينته بشكل شبه واقعي وتصحيح الأخطاء، قبل تنفيذه بطابعةFDM

خطوات التصميم والتنفيذ:

١. **مرحلة التصميم الرقمي:**

- تم استخدام برنامج 3ds Max لرسم مقطع عرضي (section) لشكل الشمعدان.
- تم تطبيق Modifier Lathe مع تعديل محور الدوران على محور Y إلى ٣٦٠ درجة لإنشاء الشكل الدوراني الكامل.
- لتفريغ الهيكل، تم رسم شكل مفرغ مشابه للفراغ المطلوب، واستخدام أمر Compound Object > ProBoolean لطرح هذا الشكل من الجسم الأساسي.
- تم تكرار العملية لإنشاء أربعة أعمدة دعم تحمل الجزء العلوي من الشمعدان.
- الجزء العلوي (الوجه الحتحوري) تم تصميمه باستخدام برنامج ZBrush ، مع استخدام فرش النحت مثل Mask Lasso و Dynamesh للنحت التفصيلي الدقيق.
- بعد الانتهاء من النحت، تم تصدير النموذج بصيغة OBJ ثم استيراده إلى 3d Max.
- تم نسخ الجزء العلوي أربع مرات وتركيبه على الهيكل الرئيسي، ثم تحويل كافة الأجزاء إلى مجموعة واحدة (Group) وتحويلها لصيغةSTL .

٢. **مرحلة المعاينة والمحاكاة:**

- تم استعراض النموذج بصيغة STL في بيئة محاكاة ثلاثية الأبعاد، مع إمكانية التفاف النموذج ورؤيته بشكل شبه واقعي لاكتشاف أي أخطاء تصميمية.
- أُجريت التعديلات اللازمة على النموذج في برامج التصميم حتى الوصول إلى الشكل النهائي المطلوب.

٣. **مرحلة الطباعة:**

- تم طباعة النموذج باستخدام طابعة FDM مع خامة PLA Plus لضمان الصلابة وجودة السطح.
- بعد الطباعة، خضع النموذج لعمليات التشطيب النهائية لتنعيم السطح وتحسين المظهر الجمالي.

النتائج:

١. أظهر البحث أن تكامل التقنيات الرقمية المتقدمة، مثل برامج التصميم ثلاثي الأبعاد (ZBrush، 3ds Max)، وتقنيات الواقع الممتد، والذكاء الاصطناعي، يسهم بشكل فعال في دعم الإبداع وتطوير الجوانب الوظيفية للنحت المعاصر.

٢. تم تصميم وتنفيذ نماذج نحتية وظيفية بدقة عالية باستخدام برامج التصميم ثلاثي الأبعاد والطباعة ثلاثية الأبعاد ، مما أثبت قدرة هذه التقنيات على تحويل الأفكار الرقمية إلى مجسمات مادية دقيقة وفعالة.

٣. ساعدت بيئات التصميم الرقمية التفاعلية في تعديل النماذج وتحسينها قبل التنفيذ، مما قلل من الأخطاء التشغيلية وساهم في خفض الوقت والتكاليف الإنتاجية.

٤. لوحظ أن الاستخدام غير المتكامل لهذه التقنيات يقلل من الاستفادة الكاملة من إمكانياتها، مما يشير إلى أهمية بناء بيئة عمل متكاملة بين أدوات التصميم، المحاكاة، والتنفيذ.

٥. أبرز البحث الحاجة إلى تعزيز برامج التعليم الفني لتشمل تدريبًا متخصصًا في التقنيات الرقمية، من أجل تمكين الجيل الجديد من النحاتين من مواكبة التطورات التقنية وتوظيفها بفعالية.

٦. خلصت الدراسة إلى أن التكامل بين الجانب الفني والتقني يشكل عاملًا حاسمًا في تحقيق توازن متكامل بين الإبداع الجمالي والوظيفة العملية في أعمال النحت المعاصر.

التوصيات:

١. يجب تطوير طريقة متكاملة تجمع بين كل هذه التقنيات الرقمية لتقديم أفضل نتائج في النحت الوظيفي.

٢. من المهم تحديث المناهج الدراسية وتضمين تدريب عملي على هذه الأدوات الرقمية الحديثة.

٣. إنشاء مختبرات وأماكن مجهزة تسمح بتجربة النماذج رقميًا قبل تنفيذها فعليًا.

٤. تشجيع التعاون بين الأقسام الفنية والتقنية لتبادل الخبرات وتطوير مشاريع مشتركة.

٥. دعم الأبحاث التي تدمج الذكاء الاصطناعي والواقع الممتد لتطوير حلول نحتية مبتكرة وفعالة.

المراجع:

- أبوالسعود، لينا محمد محمد. "برامج النحت الرقمي ودورها في تصميم نماذج ثلاثية الأبعاد لوسائط الميديا المرئية ". المجلة العلمية للدراسات التربوية والنوعية، كلية التربية النوعية جامعة بنها، العدد ٣٢ (مايو ٢٠٢٥).
- الربيعان، ديانا محمد عبد الله ".تأثير الذكاء الاصطناعي علي ادارة الاعمال في المنظمات :دراسة حالة علي تاثير الروبوتات في تحسين أداء ادارة المعرفة." *المجلة*

العلمية للدراسات التربوية والنوعية، كلية التربية النوعية جامعة بنها، العدد ٣٢ (مايو ٢٠٢٥).

- السعيد، دعاء جمال محمد. (٢٠٢١). الرقمية كلغة تشكيلية جديدة في فن النحت. مجلة الفنون والعلوم الإنسانية، كلية الفنون الجميلة، جامعة المنيا، (٧)،٩٢.

- عبد العزيز، حسان رشيد (٢٠٠٦). الطباعة ثلاثية الأبعاد (العبور السريع للمنتج). مجلة البحوث والدراسات في الآداب والعلوم والتربية، كلية المعلمين، جامعة الملك عبد العزيز، ٣)٥(، ٤.

- عبد الفتاح، محمد طارق. (٢٠٠٤). بناء المشغولة الخشبية الوظيفية في الفن المصري والفن الإسلامي والاستفادة منها في إعداد طلاب كلية التربية. رسالة دكتوراه، كلية التربية النوعية، جامعة القاهرة، ص ٤٤.

- عبد الله الشيخ، علي عبد الرحمن عبد الله) . ٢٠٢٤) . مداخل التكنولوجيا الرقمية كمدخل لإثراء الإمكانيات التشكيلية بفن النحت المعاصر . مجلة الفن والتصميم، جامعة عين شمس، ص. ٤٩.

- مصطفى، سماء أحمد وحيد. (٢٠٢٣). تقنيات وأدوات الذكاء الاصطناعي ومظاهر التغيير في دور تصميم المنتجات. مجلة التصميم الدولية، ١٣(٢)، ٢١٤.

References:

-Abdoh, S. A. (2024). Sculpture and AI: Intersection of human creativity and machines. International Design Journal, 14(1), 475-480.

-Abo Elwafaa, M. A. (2023). Vision in the applications of digital technology in arts development. International Journal of Multidisciplinary Studies in Art and Technology, 6(2), 71–95. ISSN 2735-4342.

-Alavi, K. H. Sketches/Work Dump. ZBrushCentral. https://www.zbrushcentral.com/t/khurram-h-alavi-sketches-work-dump/285845?page=18

-Alrashidi, N. F., et al. (2024). The Innovation of 3D Printing in Art Sculpture. Journal of Arts & Humanities, 13(June).

-Bozdemir, O. (2024). The history and future of ceramic sculpture: From ancient clay figures to modern 3D printing. Journal of Social Sciences, Gaziantep University, 23(2), 420.

-CAD Designer transforms Halo Chief into bobble heads. Wired. https://www.wired.com/2013/01/master-chief-bobble-head.

- 7. El Hajj, M. H. (2022). The future of digital arts. International Journal of Education and Learning Research, 5(1), 109–129.

-Froment, J. (2024). Strat Collection. Joachim Froment. Retrieved August 5, 2024, from https://www.joachimfroment.com/strats-furniture

-Gao, G., & Xing, K. (2023). Virtual sculpture for art education under artificial intelligence wireless network environment. International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies, 18(2), 1–17 .

-Groys, B. (2014). In the Flow. Verso Books.

-Mpofu, T. P., et al. (2014). Research on the impact and application of 3D printing technology. International Journal of Science and Research (IJSR), 3(6), 2150. Technological University Hyderabad, India.

-Reiss, D. S., Price, J. J., & Evans, T. S. (2014). Sculplexity: Sculptures of Complexity using 3D printing. arXiv.
-Santos Martín, F. J., Merino-Gómez, E., & San-Juan, M. (2024). Manufacturing of Sculpture in the Digital Age.
-Velayutham, A., & Raman, K. (2024). Sculpture in the modern era: Innovations in materials and styles. Journal of Visual and Performing Arts, 5(3), 155. India.
-Viganò, G. P. (2008). A virtual and augmented reality approach to collaborative product design and demonstration. In Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing (pp. 137–152). Springer .
-Zhang, K. (2023). Application of 3D modeling technology in sculpture design. In AI Methods and Applications in 3D Technologies (Chapter 17, pp. 221). Smart Innovation, Systems and Technologies, Volume 388.
-Zhang, K. (2023). Application of 3D modeling technology in sculpture design. In R. Kountchev, S. Patnaik, W. Wang, & R. Kountcheva (Eds.), AI Methods and Applications in 3D Technologies (pp. 221–234). Springer Nature.
-Zhao, B. (2021). Research on the application of ceramic 3D printing technology. Journal of Physics: Conference Series, p.3.