international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

النمذجة الرقمية ودورها في تصميم وتنفيذ مجسمات النحت الوظيفي

Digital Modeling and Its Role in Designing and Applying 3D Functional sculpture models

أ.د/ عبدالمؤمن شمس الدين القرنفيلي
أستاذ النحت الفراغي والميداني وعميد كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها، Abdelmoemen.abdelkhalek@fapa.bu.edu.eg
د/ ساره عبدربه محمد عبده
رئيس قسم النحت والتشكيل المعماري والترميم، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها، S.mohammed@fapa.bu.edu.eg
م/ هاجر عبد المنعم طه غنيم
معيدة بقسم النحت والتشكيل المعماري والترميم، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها، hagar.abdelmonem@fapa.bu.edu.eg

ملخص البحث

التكنولوجيا الرقمية من أهم العوامل التي تؤثر على تطور الفنون، حيث توفر أدوات وتقنيات جديدة تساهم في تحسين وتطوير عملية الإبداع. ومن بين هذه التقنيات المبتكرة نجد تقنية النمذجة الرقمية التي تستخدم في مجال النحت لإنشاء قطع فنية ثلاثية الأبعاد بدقة وواقعية عالية. فقد لجأ مصمم النحت إلى توظيف هذه التقنية الرقمية لخدمة المنتج النحتي لينعكس ذلك على الفكر التصميمي والتنفيذي له. فاستخدم المصمم تكنولوجيا الحاسب وتقنياته من نمذجة المجسمات النحتية كوسيلة لخدمة عمليته الإبداعية. ونحن هنا بصدد إلقاء الضوء على أحد أهم أساليب النمذجة في عصر الرقمية والتي يمكن استخدامها في تحويل الأفكار الإبداعية لمصمم النحت لصورة مادية لها وجودها في الواقع الافتراضي الرقمي ثم إلى منتج يخاطب المدركات الحسية للإنسان وله وجود واقعي وملموس. حيث يسعي البحث إلى إظهار مدى المساهمة التي يمكن للتقنيات المبتكرة القائمة على الحاسب أن تجلبها إلى مصمم النحت. والتعرف على خامات وتقنيات النمذجة الرقمية وتطويعها لخدمة مصمم النحت. وقد توصل البحث إلى أنه يمكن استخدام النمذجة الرقمية في انتاج مجسمات النحت الوظيفي ذات التفاصيل النحتية غاية في التعقيد والتي يصعب تشكيلها بالطرق التقليدية بكل سهولة مع تنوع الخامات المستخدمة.

كلمات دالة

النمذجة الرقمية Digital Modeling، النحت الرقمي Digital Sculpture، مجسمات النحت الوظيفي Functional sculpture model

Paper received September 22, 2024, Accepted December 6, 2024, Published on line March 1, 2025

المقدمة Introduction

إن تصميم المنتجات لا يقتصر على إنشاء عناصر وظيفية فحسب؛ إنه شكل من أشكال الفن يتضمن توازنًا دقيقًا بين الجماليات والوظائف. حيث تتحدد أساليب التصميم والملامح الشكلية للمنتجات كلاً حسب الطبيعة الوظيفية له. فنلاحظ أنه عند تصميم المنتجات الاستخدامية الخفيفة المتعلقة بأدوات الزينة أو الاستخدامات البسيطة تكون أكثر مرونة عند تصميم شكلها حيث يراعي فيها الحاجة الجمالية للمظهر العام (محمود، 2019). ومن ضمن أساليب التصميم التي تلقي ميولاً للإنسان تلك التي تعتمد على الأجسام العضوية ثلاثية الأبعاد أو التشكيلات والابداعات النحتية ذات الطابع الحر والغير مقيدة بقوانين هندسية وتكون مبنية على علاقات مرنة. رغم أن ذلك الأسلوب من التصميم يتطلب المزيد من الجهد لتقريب المسافة بين الطبيعة والمنتجات، ولكن في النهاية يعطي مرئيات شكلية ووظيفية مبتكرة (إبراهيم، 2019).

ولكننا نلاحظ أن المنتجات ذات التصميمات النحتية قد تكون ذات تصميمات عضوية بسيطة أو تمتلك تفاصيل وتشكيلات جمالية ذات تفاصيل معقدة، ولكن التكنولوجيا الرقمية والتطور المستمر في أدوات التصميم بالحاسب حرر العملية الإبداعية أكثر فأكثر ليسهل تشكيل كل الأفكار بغاية السهولة. حيث يعد إنشاء المجسمات النحتية باستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد نقله نوعية لفن النحت لما تحمله هذه البرامج من مميزات من ضمنها السرعة في التعبير عن الأفكار وعدم اهدار الوقت وانجاز التصميم بدقه في وقت محدد. وكل هذه الميزات تنتج من خلال بيئة افتراضية تفاعلية للفنان وبأدوات تشبه إلى حد كبير تلك المستخدمة في الاستوديو الواقعي للنحت. حتى أصبحت الأعمال النحتية التي تبلورت من رؤى الفنان المعاصر وأدواته الرقمية تحمل طابع معاصر ومعبرة عن روح العصر. فهروباً من الاختزال للعناصر إلى تعقيدات وتفاصيل متناهية، ومن التركيز على طرق الإنشاء إلى ابتكار مجسمات خالية من القيود من حيث الحجم والوزن والثقل. وبهذا فإن استخدام برامج التصميم والنمذجة باستخدام الحاسب الآلي أعطى الفرصة للفنان لحرية التفكير والابداع، حتى أصبحت تلك التقنيات جزء لا يتجزأ من أدوات مصمم النحت لصياغة فكر العملية التصميمية.

ولم تتوقف التكنولوجيا عند هذا القدر لتشارك أيضاً في سد حاجة العملية الإنتاجية وتجسيد التصميمات الإبداعية المعقدة تصميماً ودقيقة التفاصيل. فمع وجود الكثير من المعوقات في تصنيع وتجسيد التصميمات الإبداعية لمنتجات النحت الوظيفي ذات اللمسات النحتية دقيقة التفاصيل، ومع الحاجة لسرعة الإنتاج والتنفيذ بدون وضع القيود على العملية التصميمية؛ فكان لازماً علي مصمم النحت البحث عن آليات لحل تلك المعوقات. حيث تعتبر أنظمة التصنيع بالحاسب (CAM) هي الحل الأكثر فاعلية لحل تلك المعوقات، وبما أن الحاسب يعتبر أداة تتيح للمصمم الوصول لحلول غير محدودة لترجمة أفكاره والوصول بها إلى مراحل التنفيذ والإنتاج، فقد أحدثت هذه الحلول التي يوفرها هذا النظام ثورة في الجوانب التقليدية لأنظمة التنفيذ والإنتاج.

ومن هنا يمكن القول إنه كان لظهور تقنية النمذجة الرقمية أثراً واضحاً على عمليات تصميم المنتجات النحتية؛ التي بدورها يسرت مراحل العملية التصميمية والانتاجية للمنتجات النحتية. حيث تتيح هذه التقنية المبتكرة لمصممين النحت إحياء رؤيتهم الإبداعية في بيئة افتراضية قبل ترجمتها إلى واقع مادي يخاطب المدركات الحسية للفنان. وكل هذه الميزات بجانب كون استخدام تقنية النمذجة الرقمية مع فن النحت يعزز من استدامة العملية الإبداعية ويقلل من استهلاك الموارد ويساهم بشكل كبير في حماية البيئة سواء في عملية التصميم أوالتصنيع للمنتج النحتي الوظيفي. (Abdoh, S. A, 2024)

CITATION Abdelmoamen El-karanfeily, et al (2025), Digital Modeling and Its Role in Designing and Applying 3D Functional sculpture models, International Design Journal, Vol. 15 No. 2, (March 2025) pp 55-63

مشكلة البحث Statement of the Problem

تتلخص مشكلة البحث فيما يلي:

- الصعوبات التي يواجها مصمم النحت والتي تحده عن حريه تحقيق أفكاره وتركيز جهوده على الناحية الذهنية والابداعية بدون التفكير في قيود العملية الإنتاجية للمجسمات النحتية ذات الطبيعة الاستخدامية الخفيفة والتي يمكن الوصول لها بتطويع التقنيات الرقمية في وقت أقل وبدقة عالية.

أهداف البحث: Research Objectives

- تهدف الباحثة إلى إظهار مدى المساهمة التي يمكن للتقنيات المبتكرة القائمة على الحاسب أن تجلبها إلى مصمم النحت.
- التعرف على خامات وتقنيات النمذجة الرقمية وتطويعها لخدمة مصمم النحت.

منهج البحث: Research Methodology

- يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي للتعرف على كل ما يخص النمذجة الرقمية من خامات وتقنيات التصنيع- المنهج التجريبي للتأكد من الملائمة الفنية التنفيذية لهذه التكنولوجيا.

الإطار النظري: Theoretical Framework

1- النمذجة الرقمية Digital Modeling:

النمذجة هي الاكتشاف والتعرف على السمات والصفات والمهارات والخصائص وصياغتها في شكل رمزي، مع القدرة على تكرارها أو نقلها أو إظهارها. وعملية النمذجة عبارة عن تطبيق لعدة مهارات وقواعد للوصول إلى نموذج يعبر عن السياق المطروح. حيث يعتبر الحاسب الآلي أحد الأدوات المستخدمة لتمثيل نموذج كأحد أساليب النمذجة.(محمود، عبد الله, 2016)

النمذجة الرقمية هي أحد أساليب النمذجة التي يتم فيها استعمال الحاسب الآلي في تمثيل أشياء أو محاكاة لتتابع وتسلسل العمليات لمنتج ما. فتخيل استخدام الطين المتتالي لبناء مجسم ثلاثي الأبعاد أو المعالجات المتتابعة بالإزالة لإنشاء نموذج خشبي، كل هذه عمليات متتابعة تتم لإنشاء مجسم وكذلك هو الحال باستخدام الحاسب الذي يتم فيه بناء النموذج عن طريق تتابع العمليات في أحد التطبيقات الذي يكون تمثيلاً ومحاكاه لديناميكية النظام الحقيقي. وخلال عملية النمذجة الرقمية يتم تحويل فكرة واسكتش التصميم ثنائي الأبعاد إلى نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد نتفاعل معه بصريا على شاشة الحاسب أو ملموس كمنتج نهائي.

فالنمذجة الرقمية في النحت هي عملية إنشاء منحوتات افتراضية ثلاثية الأبعاد باستخدام التكنولوجيا. تماماً كإنشاء منحوتات من الجص بمطرقة وإزميل، ولكن في هذه العملية تستخدم الكمبيوتر والماوس ولوحة المفاتيح، من خلال برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد التي تتعامل مع الأسطح والمجسمات.

.(Martínez Perales, A. J., 2020)

في عالم النحت، هناك العديد من الفنانين الذين لجأوا لاستخدام النمذجة الرقمية ثلاثية الأبعاد في انتاجهم الفني كلاً بصورته الخاصة. فيمكن تمييزهم إلى مجموعات:

- فئة من الفنانين الذين يؤسسون إبداعاتهم على عملية رقمية تماماً بنمذجة ثلاثية الأبعاد ليعرضوا أعمالهم على شاشات على هيئة صور ثنائية البعد أو في صورة مطبوعات ورقية. كما يمكن أن تشمل هذه الفئة أيضاً الفنانين المتخصصين في الرسوم المتحركة وإنشاء الشخصيات. شكل رقم (1).
- فئة من الفنانين الذين يستخدمون النمذجة الرقمية كجزء من عملية الانشاء، حيث قاموا بدمج الإجراءات الرقمية في طريقتهم في بناء أعمالهم لجعل عملية البناء أسهل وأرخص. شكل رقم (2).
- فئة من الفنانين الذين كان لديهم تغيير كبير، سواء في طريقة الانشاء أو في النتائج التي تمكنوا من تقديمها بفضل استخدام الأدوات ثلاثية الأبعاد في جميع المراحل من التصميم إلى الانتاج المادي والتي قدمت الحلول لإبداعات كان من المستحيل تحقيقيها باستخدام التقنيات التقليدية. شكل رقم (3).

شكل 1 عمل بعنوان Rose Gold Release للفنان Chad Knigh يحاكي فيه الطبيعة- 2020

شكل 2 أحد أعمال النحاتة (Bridgette Mongeon) المنفذ بالمزج بين النحت التقليدي والتكنولوجيا الرقمية

شكل 1 عمل للفنان Bruce Beasley بعنوان Coriolis 23منفذ بالكامل بالتكنولوجيا الرقمية- 2013

وبوجود هذه الأداة المثالية للمصمم والتي ساهمت في سد الفجوة بين نطاق النظرية الشفوية والتطبيق العملي وحققت تطوراً وتقدماً هائلاً في عمليتي التصميم والانتاج فكانت السبب في توفير الكم الهائل من الجهد والوقت المبذولين لإخراج منتج.

فكانت التكنولوجيا الرقمية بمثابة حلقة الوصل بين عمليتين مختلفتين كلا منهما كانت تتم على حده لتجمع بين التصميم والتنفيذ رقمياً. وأصبحت النمذجة الرقمية جزءًا لا يتجزأ من عملية النحت، فالفنان المعاصر الذي يبحث عن وسائل جديدة ينتج من خلالها أعمالا نحتية تواكب التقدم التكنولوجي وتساير روح العصر كان نتاج ذلك بداية استخدام الحاسب في تصميم وتنفيذ المنحوتات وبتطور مفهوم الفنان وتعبيره وأسلوب الأداء في عمله حدث تغيير في المفاهيم والأسس الفنية وظهور أسلوب جديد لفن النحت وهو النحت الرقمي، والذي سرعان ما سمح للفنانين بإبداع نماذج ثلاثية الأبعاد بتفاصيل أدق لم تكن ممكنة من قبل.

2- النحت الرقمي Digital Sculpture

يعتبر النحت الرقمي مزيجاً بين التكنولوجيا والابداع ليولد نمطاً جديداً من الفنون يتجسد عن طريق وسيط رقمي وهو تطبيقات الحاسب ليعطى عنصراً بصرياً جديداً في أرض الواقع، يتم فيه استخدام الفضاء الافتراضي كميدان للإبداع ثم تتم عملية التنفيذ في حيز واقعي. ليجمع النحت الرقمي بين تقنية النمذجة الرقمية والنحت، ويخلق المنحوتات عبر تكنولوجيا الحاسب. فهو نوع من النحت وفي الوقت نفسه هو أيضًا فرع من فن الحاسب. حيث يعرف النحت الرقمي بأنه ممارسة فنية تتضمن إنشاء نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج وأجهزة متخصصة. تشبه عملية النحت الرقمي النحت التقليدي فهي لها القدرة على تصميم عمل نحتي، ولكن بشكل رقمي، مع ميزة إضافية تتمثل في القدرة على إنشاء أشكال معقدة ومعالجتها في بيئة افتراضية. فالمنحوتات الرقمية الناتجة من أساليب التشكيل وبرامج النمذجة التي تعتمد على تطبيق

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

العمليات الحسابية تهيمن عليها الأشكال المجردة وتعطي الفرصة لإنشاء منحوتات بتجليات جديدة ومع ذلك، فإن النحت الرقمي لا يقتصر فقط على هذا النوع من النمذجة للتعبير عن سحر النحت ويمكن الحصول على ابداعات نحتية عن طريق برامج النمذجة التي تستخدم المحاكاة للنحت الواقعي التقليدي، لذلك، يجب أن يتطور النحت الرقمي في كلا الاتجاهين ليوفر أنماطاً مختلفة من خلال الجمع بين هذين الأمرين.

(Deng, W., Chen, Y., & Hu, S. J , 2013)

حيث تتجذر بدايات النحت الرقمي في رسومات الحاسب والنمذجة ثلاثية الأبعاد، والتي تم تطويرها منذ الستينيات. فكانت بداية ظهور الأشكال الأولى لفن النحت الرقمي مع ظهور تطبيقات التصميم على الحاسب ليطلق عليه في هذا الوقت النحت بمساعدة الحاسب "Computer assisted sculpture". ففي نهاية الستينات كان Charles Csuri يستخدم معادلات رياضية مخزنة على شريط مثقوب للتحكم في آلة CNC لصنع أشكال نحتية وذلك في عام 1968 (Paul,C., 2003). وأيضاً بدأ المهندسون مع مهندس الفنون بيير بيزييه (Pierre BÉZIER) في استوديو رينو (Renault) للنمذجة (الشركة الفرنسية لصناعة السيارات) برسم أشكالاً مجردة على برامج التصميم وتحقيق تلك المنحوتات في صورة منحوتات خشبية باستخدام ماكينات التحكم الرقمي بمساندة هنري لارينج Henri Lagrangeودانييل فيرنت Daniel Vernet في الفترة خلال الفترة من 1968 إلى 1970. ومع بداية التسعينات توالت المنظمات الدولية من قبل فنانين النحت الذين يستخدمون التقنيات الرقمية لإنتاج أعمالهم النحتية، ليبدأ بذلك النحت الرقمي الدخول في عالم الفن ويسارع في الانتشار.

.(LAVIGNE, C.1998)

ومن هذا المنطلق يمكن حصر عملية انتاج المنتج النحتى باستخدام تقنية النحت الرقمي في مبحثين رئيسيين وهما التصميم بمساعدة الحاسب الآلي CAD والتصنيع بمساعدة الحاسب الآلي CAM.

3- التصميم بمساعدة الحاسب الآلي(CAD) Computer Aided Design

يشير الاختصار CAD إلى Computer Aided Design أي التصميم بمساعدة الحاسب حيث يشمل أي عملية تصميم تستخدم الحاسب لإنشاء، أو تطوير، أو تعديل، أو تحليل التصميم. فالتصميم بمساعدة الحاسب هو أسلوب يندمج فيه كلاً من المصمم والحاسب كفريق لحل مشاكل التصميم، فكلاً يساهم بدوره وأدواته لدعم العملية التصميمية وحتى يصل بالمنتج في النهائية إلى الغاية المطلوبة لكي يؤدي دوره ووظيفته علي أكمل وجه.

وقبل أن نتطرق إلى برمجيات وتقنيات التشكيل التي يستخدمها المصمم في صياغة أفكاره الإبداعية، يجب ألا نغفل دور المصمم في المرحلة ما قبل النمذجة ثلاثية الأبعاد وتشكيل المنتج والتي يطلق عليها مرحلة ما قبل الإنتاج (Pre-production).

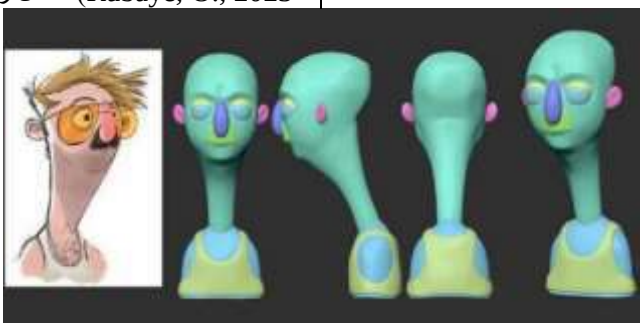
1-3 مرحلة ما قبل الإنتاج (Pre-production).

مرحلة ما قبل الإنتاج هي المرحلة الأولى من عملية الإنشاء حيث يتم وضع الأساس للمشروع. إنها مرحلة التخطيط التي تتم قبل بدء الإنتاج الفعلي، وهي خطوة حاسمة في ضمان أن المنتج النهائي يلبي النتيجة المرجوة. خلال مرحلة ما قبل الإنتاج، يبدأ المصمم ثلاثي الأبعاد بتحديد أهداف وغايات المشروع وإذا تتطلب يعمل بشكل وثيق مع العميل أو الفريق لتحديد الأهداف المطلوبة. كما يقوم أيضًا بإنشاء رسومات تقريبية وفنية ولوحات تفصيلية للمساعدة في تصور المنتج النهائي. بالإضافة إلى التخطيط وتصور المشروع، يتضمن الإنتاج المسبق أيضًا تحديد المواصفات والمتطلبات الفنية للمشروع. يتضمن ذلك تحديد البرنامج المطلوب استخدامه، وإعداد سير العمل ومسارات العمل فيبدأ بجمع المراجع التي تساعد على إنشاء التصميم. فعملية جمع المراجع هي عملية بناء مجموعة أو مكتبة معظمها من الصور والمعلومات المتعلقة بالنموذج القادم الذي سيتم تصميمه. كما يتم ملاحظة كافة مشاكل التصميم ووضع أسئلة واجابات على سبيل المثال ما هو حجم العمل أو الملمس المستخدم هل هو أملس أو خشن وهل المجسم متماثل أم غير متماثل وهكذا فمن هنا يتم تحديد الأدوات والتقنيات التي سيتم استخدامها أثناء عملية النمذجة. فعملية النمذجة الرقمية هي ببساطة عملية حل المشكلات البصرية وفن وضع استراتيجية ستستخدمها لرؤية النموذج من البداية إلى النهاية.

فبعد الانتهاء من جمع المراجع وملاحظة المشكلات وحلها يكون المصمم قد اتخذ قرار استخدام أي الأدوات الأنسب لتصميم المشروع. ولكن قبل أن ننتقل إلى الحديث عن هذه الأدوات فيجب ذكر مرحلة مهمة للمصمم تلي اختيار الأدوات وهي مرحلة مشتركة مع أغلب برامج التصميم وهي بناء الهيكل الأولي للعمل "Blockout".

1-1-3 بناء الهيكل الأولي للعمل "Blockout"

تعد هذه المرحلة مرحلة أساسية في عالم النمذجة ثلاثية الأبعاد فهي تلعب دوراً كبيراً في تشكيل نموذج ناجح. حيث تأتي هذه المرحلة في بداية إنشاء العمل وبعد جمع المراجع (Burns, J. L., 2015) فهي بمثابة الهيكل العظمي للمجسم تماماً مثل وضع الكركاز وكتلة الطين قبل الشروع في نحت المجسم من الطين وخطوطه الرئيسية ووضع كافة التفاصيل فهي مرحلة أساسية قبل عملية التشكيل. قد تتم هذه المرحلة في ذات البرنامج أو في برنامج آخر. وخاصة عند الاعتماد على أسلوب التشكيل بالنحت أو المجسمات الأولية، فهذه الخطوة تعد أساساً قوياً لبناء تفاصيل أكثر تعقيداً حيث تحدد التركيب العام والنسب والعلاقات المكانية بين العناصر المختلفة. (AL-Rubaye, O., 2023)، شكل رقم (4)



شكل 4 يوضح كيفية تشكيل الهيكل الأولي Blockout من أشكال هندسية أساسية بسيطة

2-3 برمجيات وتقنيات التشكيل بالنمذجة الرقمية:

تتنوع الطرق والتقنيات التي تستخدم لإنشاء النماذج الرقمية ومعالجتها في الفضاء الافتراضي فهذه الطرق تتراوح بين تقنيات بسيطة ومباشرة مثل نمذجة الكتلة ونمذجة المضلع وبين التقنيات الأكثر تعقيداً مثل أسلوب NURBS وأسلوب النحت وكل هذه طرقًا شائعة لإنشاء نماذج وتصميمات CAD. في حين أن هناك بالتأكيد أوجه تشابه وتداخل لهذه التقنيات، هناك بعض الاختلافات أيضاً بين هذه التقنيات.

1-2-3 أسلوب البناء Build Out

يطلق عليها أيضاً نمذجة المضلع (Poly modeling) وتعد أقدم طرق النمذجة الرقمية. تتضمن هذه التقنية بناء الشكل بداية من المضلع "Polygon" حيث يحتوي النموذج على مجموعة من

المضلعات المتصلة التي تكون الشكل. حيث نبدأ بإنشاء أحد المضلعات وبمجرد اكتماله تبدأ في بناء مضلع آخر باتجاه منطقة أخرى وهكذا حتى تكتمل الشبكة (يوسف، 2015) تشمل هذه الطريقة نوعان إما عن طريق إنشاء نقاط لتكوين مضلعات أو عن طريق سحب حواف المضلعات " Extend" لتكوين مضلع جديد. حيث يعتبر هذا النوع من التشكيل فعالاً في تصميم الألعاب لأن هذا النوع يتطلب عدداً قليل من المضلعات لتمثيل سطح الكائن وينتج عن هذا نماذج خفيفة تتناسب مع تقنية (real-time rendering) في ألعاب الفيديو(Vaughan,W, 2011) . ومن البرامج التي يتم فيها استخدام هذه الطريقة من التشكيل برنامج Blender وMaya و 3D Max وModo. وهذه المجموعة من البرامج التي تستخدم بشكل واسع في التصميم وأعمال الرسوم المتحركة والبيئات الموجودة في الخلفيات التلفزيونية وكذلك في عمليات تصميم النحت.

2-2-3أسلوب التشكيل بالنماذج الأولية Primitive modeling

هو أحد أساليب التشكيل الشائعة التي يسهل من خلالها تشكيل أي شكل من الكتل المحيطة بنا التي لا حصر لها، حيث يتم فيها الجمع بين عدة أشكال أولية مثل المكعب والأسطوانة والكرة والمخروط وذلك لتكوين شكل أكثر تعقيداً. غالباً ما تكون الأشكال الناتجة عبارة عن كتل صلبة هندسية فهذه الطريقة غير ملائمة للأشكال العضوية (العرنوس، رضوان، جودة، 2022). كما يمكن تشكيل النموذج من شكل أولي واحد مثل (Box) وتسمي هذه الطريقة Box Modeling. فيتم استخدام توسيع المضلعات أو شطف المضلعات الفردية أو المجموعات المكون للشكل. ومن البرامج الشائعة التي يتم فيها استخدام هذه الطريقة من التشكيل برنامج SketchUp وبرنامج Tinkercad.

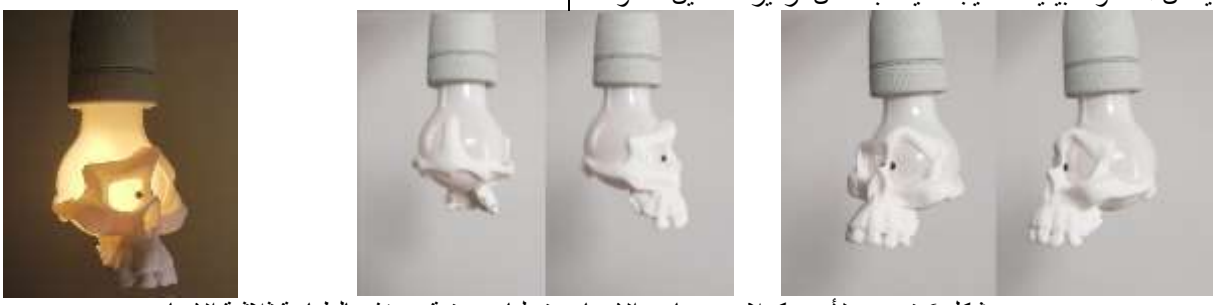
3-2-3 أسلوب النمذجة البار مترية (NURBS)

يعتبر أسلوب التشكيل NURBSأو Non-Uniform Rational B-Splines (المصطلح المشتق من منحنى بزير) (جودة، رضوان، العرنوس، 2020) أو نمذجة منحنى، أسلوباً يعتمد على البرمجة والرياضيات في التصميم والذي يهدف إلى إنتاج تصوير رياضي دقيق للمنحنيات والأسطح ذات الشكل الحر في رسومات الحاسوب. ففي البرامج التي تعتمد أسلوب النمذجة NURBS يتم استخدام الدوائر والأقواس والمنحنيات بنقاط تحكم متصلة لإنشاء أشكال ثلاثية الأبعاد معقدة بتحريك هذه النقاط أو المسافات بينها. فلا يمكنك بسهولة إنشاء منحنى سلس تمامًا باستخدام النمذجة متعددة الأضلاع، حيث يقوم الحاسوب دائمًا بحساب المضلعات كخط مستقيم بين نقطتي تحكم. أما في أسلوب التشكيل NURBS تعتبر الأسطح الناجمة من التشكيل غاية في النعومة وهذا يجعلها مناسبة للأشكال العضوية والأعمال الفنية التجريدية ومناسبة للتصنيع بال CNC لأنها تتطلب منحني سلسل تماماً من أجل إنشاء منتجات عالية الجودة (غنيمة، 2014). تستخدم هذه الطريقة بشكل فعال في تصميم المنتجات ولتصميم هياكل السيارات وأجسام الطائرات وقطع الأثاث. ومن البرامج الشائعة التي يتم فيها استخدام هذه الطريقة من التشكيل برنامجي Rhino وSoildThinking.شكل رقم (5) لأحد تطبيقات برنامج Rhinoceros في تصميم وحدات إضاءة مستوحاة من أشكال الشعاب المرجانية المختلفة وتنفيذها بتقنية SLS وخامة النايلون للفنانJohn Mauriello .

شكل 5 مجموعة من وحدات اضاءة من تصميم الفنانJohn Mauriello ، برنامج Rhinoceros، SLS، نايلون.

4-2-3 أسلوب التشكيل بالنحت (النحت الرقمي)

يعد التشكيل بالنحت أو النحت الرقمي أسلوباً جديداً للنمذجة الرقمية وهو أقرب ما يكون لأسلوب النحت التقليدي، فيسمح هذا الأسلوب بالتشكيل الحر للأشكال بدون التركيز على المضلعات وأماكنها وإنما التركيز على التشكيل الكلى للشبكة باستخدام الفرش التي تسمح بالتحريك والبناء والثني الأمر الذي يسمح بتكوين طوبولوجيا (Topology) الشكل بكل مرونة. هذا يجعل الفنان يشعر وكأنه يشكل المنحوتة بيديه مما يجعله يصب كامل تركيزه لتشكيل منحوتة تتسم بالدقة والواقعية. (حامد أبو خشبه، 2018). ومن البرامج الشائعة التي تعتمد أسلوب النحت الرقمي في التشكيل برنامج ZBrush وMudbox وSculpris و 3D Coat و Meshmixer شكل رقم (6) لأحد تطبيقات برنامج ZBrush في تصميم أحد مكملات وحدات الاضاءة بتفاصيل نحتية يتم تثبيتها على مصابيح LED. ومنفذة بطباعة ثلاثية الابعاد للفنانة Kai Bracher.



شكل 6 تصميم لأحد مكملات مصابيح الإضاءة بتجليات نحتية ومنفذة بالطباعة ثلاثية الابعاد.

4- التصنيع بمساعدة الحاسب الآلي (CAM) Computer Aided Manufacturing

يشير الاختصار CAM إلى Computer Aided Manufacturing أي التصنيع بمساعدة الحاسب والذي يعني استخدام الماكينات في عملية التصنيع من خلال تطبيقات الحاسب الآلي لإنتاج مجسمات. فيمكن تعريفه على أنه العملية التي يتم فيها استخدام نظم الحاسب كوسيلة للصنع ولتحويل ملفات التصميم CAD إلى أوامر رقمية لتشغيل الآلات إلكترونياً ومن ثمَ تصنيع التصاميم بأحد الأسلوبين الحفر أو البناء.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

بعد عملية التصميم ثلاثي الأبعاد CAD وصولاً إلى عملية التصنيع المادي يمر النموذج بعدة خطوات أساسية وهي

1- تحويل النموذج الرقمي المصمم بالحاسب إلى امتداد آخر حتى يتثنى التعرف عليه من قبل تطبيق CAM والتنسيق الأكثر استخدامًا هو STL والذي يعتبر أساسياً لربط أنظمة CAD وRP. وأيضاً مع إمكانية استخدامه وربطه بأنظمة التحكم الرقمي CNC.

2- وبعد ذلك يتم التحقق من صحة البيانات وفحصها جيداً لتفادي وجود أي عيوب قد تظهر بعض انتهاء عملية التشكيل.

3- تحويل الملف إلى لغة الآلة G-Codeعن طريق إنشاء مسار للآلة (Tool Path) وتحويل المسار إلى بيانات يمكن قراءتها أو القيام بعملية التشريح Slicing لتحويل التصميم إلى شرائح.

4-1 النمذجة بماكينات التفريز CNC Milling

ماكينات التفريز CNC Milling هي نوع من آلات CNC المبرمجة والتي تستخدم تقنية القطع في عدة محاور Multi-Axis Milling. وتعرف بلغة الصناعة (الفريزة). وهي متخصصة في تشكيل النماذج بالإزالة. حيث يتم التشكيل عن طريق إزالة الماكينة لحجم محدد من المادة الخام من قوالب بأنواع الخامات المختلفة اعتماداً على مقدار التفاصيل المطلوبة؛ وذلك من خلال حركات محكومة لأدوات الماكينة وفقاً للاتجاهات والقياسات المحددة والصادرة على هيئة تعليمات مشفرة ومجموعة من الأكواد(G-Code) من برامج التصنيع CAM.(حسن، سنبل، مسلـم، 2018)

4-2 النمذجة بالإضافة (التصنيع بالإضافة)

يشير التصنيع الإضافي Additive manufacturing (AM) إلى مجموعة من التقنيات المستخدمة لبناء النماذج المادية من بيانات CAD ثلاثية الأبعاد. وذلك بربط المواد الخام إما عن طريق صهرها أو ربط المسحوق أو تصليد السوائل وبناءها طبقة تلو الأخرى. ويوجد أنواع مختلفة من عمليات التصنيع بالإضافة كلاً منها لها اتجاه مختلف من إعداد المواد، وتقنية توليد الطبقة، وظاهرة تغير حالة المادة، ونوع المادة، ومتطلبات التطبيق. ويمكن تلخيص عمليات التصنيع بالإضافة AM وتصنيفها وفقًا للنوع من المواد الخام المستخدمة التي يبني منها النموذج. وهي كالآتي:

4-2-1 عمليات تتأسس على المادة الصلبة

تشمل تقنيات التصنيع بالإضافة التي تكون فيها المواد الخام في حالة صلبة. فيمكن أن تكون الخامة على هيئة خيوط، أو أسلاك، أو صفائح، أو كريات الصغيرة. ومن بين العديد من طرق التصنيع بالإضافة الأكثر شيوعًا والقائمة على المواد الصلبة تقنية البناء بالترسيب المنصهرFused Deposition Modeling (FDM) التي تعتمد على الخيوط (Filament)، وتقنية تصنيع المجسمات المصفحة laminated object manufacturing (LOM) والتي تعتمد على الصفائح المعدنية أو صفائح البوليمر.

4-2-2 عمليات تتأسس على المادة السائلة

تشمل تقنيات التصنيع بالإضافة التي يكون فيها الشكل الابتدائي للمواد في حالة سائلة. فيمكن من خلال المعالجة تحويل السائل إلى الحالة الصلبة. ومن أهم تقنيات AM القائمة على السوائل تقنية ستريوليثوجرافي stereo lithography (SLA) والمعالجة الضوئية الرقمية Digital Light Processing (DLP).

4-2-3 عمليات تتأسس على المسحوق

في تقنيات AM القائمة على المسحوق، تكون المواد الخام المدخلة في حالة مسحوق. من بين العديد من تقنيات AM القائمة على المسحوق، تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد three dimensional printing (3DP)، والتلبيد بالليزر الانتقائي Selective Laser Sintering (SLS)، والصهر بالليزر الانتقائي selective laser melting (SLM) من التقنيات الأكثر شيوعاً.

ومع تطور تكنولوجيا التصنيع بالإضافة وتنوع خاماتها، اتجه المزيد من الفنانين إلى استخدام هذه الطريقة لإنتاج أعمالهم النحتية. عند استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء المنحوتات، فإن اختيار مواد الطباعة له أهمية قصوى. حيث تتلخص المواد المتاحة للطباعة للأعمال النحتية بشكل أساسي من مواد معدنية وبوليمر. وبالمقارنة، فإن المواد المعدنية تكلف تكاليف طباعة باهظة وتتطلب مواصفات فنية أعلى، في حين تتميز مواد البوليمر بتكاليف طباعة أرخص نسبيًا ومتطلبات أقل لتكنولوجيا الطباعة وظروفها. علاوة على ذلك، يمكن للمبدعين تخصيص ألوان مواد البوليمر وفقًا لاحتياجاتهم، وبالتالي تقديم تأثيرات بصرية أفضل لفن النحت المطبوع. ولذلك، فإن مواد البوليمر هي عادة الخيار المفضل للفنانين المعاصرين في استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء فن النحت. وتشمل مواد البوليمر الأكثر استخدامًا لمنحوتات الطباعة ثلاثية الأبعاد مواد خيوط البوليمر البلاستيكية الحرارية thermoplastic polymer filament، والراتنجات الحساسة للضوءphoto sensitive resins (UV resins)، ومساحيق البوليمرpolymer powders . ومن أشهر البوليمرات المستخدمة للإنتاج النحتي نجد بوليمر ABS وPLA والاكريليك والنايلون وبوليمرات البولي استر والبولي كربونات وأيضاً البولي بروبيلين (Gao, C., Wang, F., Hu, X., & Zhang, M., 2023).

الدراسة التجريبية التطبيقية:

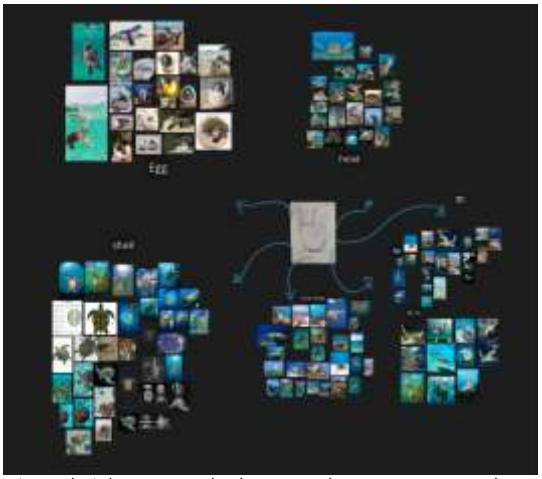
تم عمل دراسة لتطبيق تقنية النمذجة الرقمية في عملية التصميم والإنتاج لمجسم نحتي وظيفي لأحد الوحدات المكتبية المستخدمة كمنظم للأقلام ولأدوات المكتبية الأخرى، حيث تم استخدام أحد برامج النحت الرقمي (Z Brush) كوسيلة لعملية التصميم والنمذجة في البيئة الافتراضية. وأيضا تم عمل محاكاة لأحد الخامات والبيئة الواقعية في برنامج (Autodesk Maya) و(Arnold). وتم الاستعانة ببعض تقنيات التصنيع بالإضافة في انتاج النموذج المادي وهي تقنية البناء بالترسيب المنصهر Fused Deposition Modeling (FDM)وتقنية المعالجة الضوئية الرقمية Digital Light Processing (DLP). وفيما يلي شرح لخطوات الدراسة:

1- عملية التصميم :

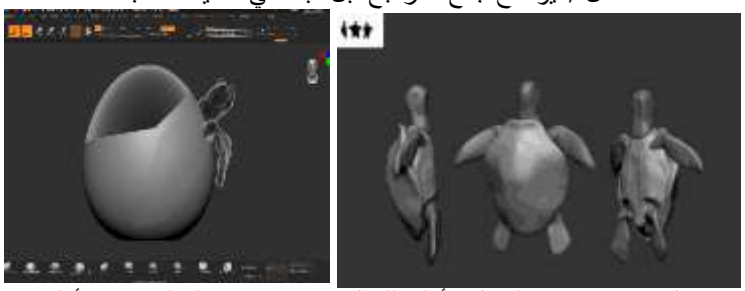
في البداية تم وضع اسكتش للتصميم ثنائي الأبعاد للوحدة المكتبية وتم استلهام عناصر التصميم من الطبيعة لأحد الكائنات البحرية (السلحفاة البحرية)، حيث يتمثل التصميم في حركة السلحفاة خروجاً للحياة من بيضتها وسط الرمال إلي البحر مراعية وجود فراغ ليعمل كوظيفة استخدامية في تنظيم الأدوات المكتبية.

ثم تم جمع المراجع والصور اللازمة لإتمام عملية النمذجة الرقمية للتصميم وذلك قبل الشروع في بناء الهيكل الأولي له والبدء في عملية النحت الرقمي على برنامج ZBrush باستخدام مجموعة متنوعة من فرش النحت وبعمليات مشابهه لعملية النحت التقليدية. شكل رقم (7)، (8)، (9).

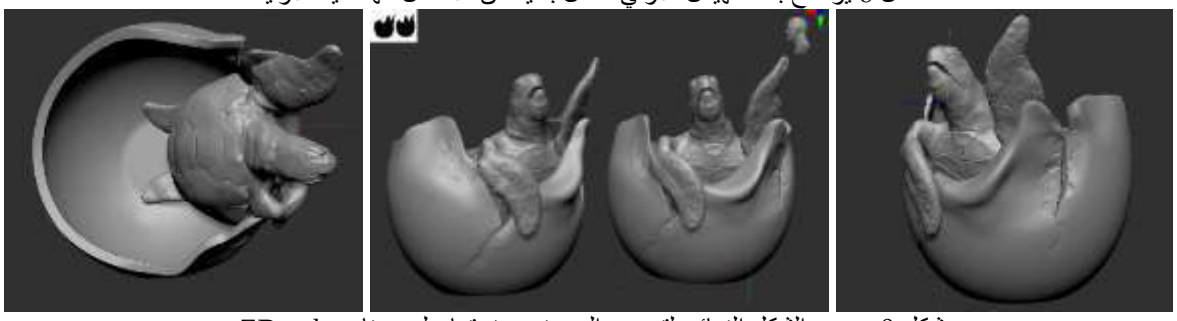
كما تم عمل محاكة للتصميم من خامة الحجر ووضعة في البيئة الافتراضية وإجراء عملية الإظهار Rendering وذلك باستخدام برنامج Maya,Arnold شكل رقم (10).



شكل 7 يوضح جمع المراجع قبل البدء في عملية النمذجة



شكل 8 يوضح بناء الهيكل الأولي للعمل بداية من الاشكال الهندسية الأولية



شكل 9 يوضح الشكل النهائي لتصميم الوحدة بعد نحتها على برنامج ZBrush.

شكل 10محاكاة التصميم لخامة الحجر ووضعه في بيئته الإفتراضية باستخدام برنامج Maya- Arnold.

2- عملية التنفيذ:

تم تصدير الملف CAD إلى صيغة STL حتى يتثني قراءتها من قبل برنامج CAM.تم فحص الملف للكشف عن أي عيوب أثناء عملية التصميم وإصلاحها على برنامج Blender.شكل رقم (11).

تم تنفيذ نسختين مختلفتين من العمل على النحو التالي:

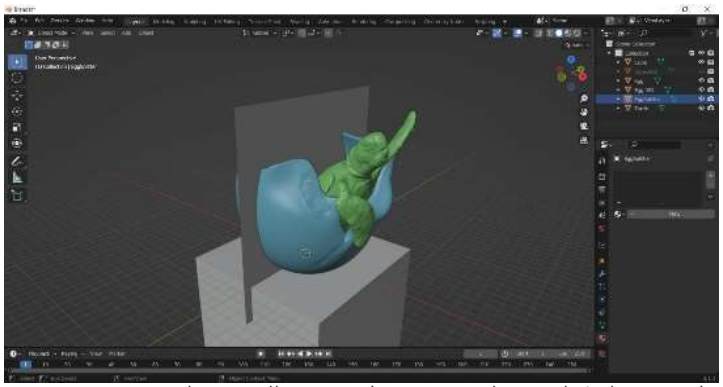
أ- الأولي تم تنفيذها كقطعة واحدة عن طريق تقنية الطباعة FDM وتم اختيار خامة البلاستيك PLA ذات اللون الجنزاري، ثم تم ضبط سمك طبقة الطباعة 0.2 mm وتحديد شكل الدعامات Tree Support والحشو المستخدم للتصميم ثم تحويل البيانات إلى ملف G-Code حتى يتم طباعته. شكل رقم (12).

ب- الثانية تم تنفيذها على هيئة قطعتين منفصلتين مع الجمع بين تقنيتي طباعة مختلفة وهما

- تقنية FDM للجزء الخاص ببيضة السلحفاة وباستخدام خامة بلاستيك PLA وخيوط الطباعة ذات اللون الأبيض الرخامي مع استخدام برنامج CAM المناسب Simplify3D لضبط اعدادات الطباعة وتحويل الملف إلى G-Code. شكل رقم (13)و(14).
- تقنية DLP للجزء الخاص بالسلحفاة بخامة Standard ABS-like resin ذات اللون الرصاصي مع استخدام برنامج CAM المناسب للطابعة CHITUBOX لضبط اعدادات الطباعة وتحويل الملف إلى G-Code. شكل رقم (15)و(16).

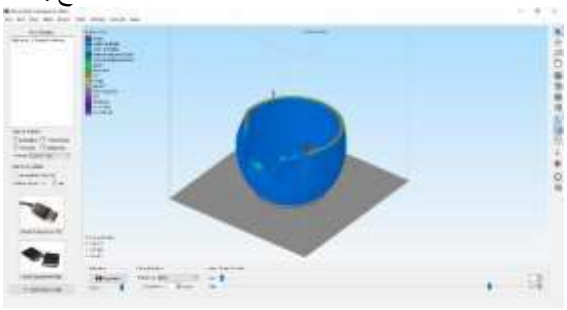
وفي النهاية تم تطبيق التشطيب النهائي على القطعة في أماكن إزالة الدعامات ورش القطعة الخاصة بالسلحفاة برش " دوكو" لون أخضر. شكل رقم (17).

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.



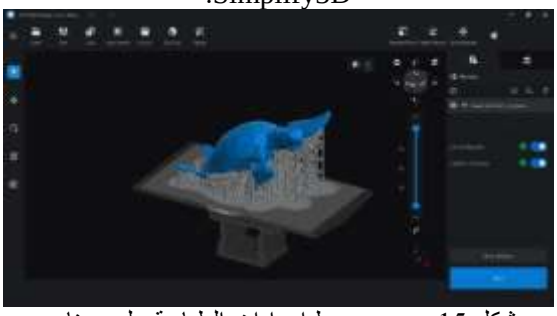
شكل 11 معالجة العيوب الموجودة في الMesh للمجسم على برنامج Blender.

شكل 12 المنتج بعد الطباعة بتقنية FDM وخامة pla



شكل 13 ضبط اعدادت الطباعة واستخراج G-Code على برنامج Simplify3D.

شكل 14 الجزء الأول من التصميم بعد طباعته بتقنية FDM وخامة PLA ذات الشكل الرخامي.



شكل 15 يوضح ضبط اعدادات الطباعة على برنامج CHITUBOX واستخراج G-Code.

شكل 16 الجزء الثاني من التصميم بعد طباعته بتقنية DLP وخامة Standard ABS-like resin

شكل 17 الشكل النهائي للوحدة المكتبية بعد التشطيب النهائي

النتائج والتوصيات: Results & Recommendation

1- يمكن استخدام النمذجة الرقمية في انتاج مجسمات النحت الوظيفي ذات التفاصيل النحتية غاية في التعقيد والتي يصعب تشكيلها بالطرق التقليدية بكل سهولة مع تنوع الخامات المستخدمة.
2- استخدام برامج النحت الرقمي تحسن وتزيد من راحة الفنان وراحة إنشاء عمل نحتي بشكل كبير، وبالتالي توفير قوته في عملية الإبداع بحيث يكون لدى المصمم المزيد من الطاقة للتفكير.
3- النحت الرقمي يوفر فرصة التعديل على التصميم بكل سهولة مع الحفاظ على كافة النسخ قبل التعديل.
4- تقنيات التصنيع بالإضافة التي تتأسس على السائل ذات جودة طباعة أفضل من التي أساسها المواد الصلبة حيث تتناسب أكثر مع المجسمات ذات التفاصيل الدقيقة.
5- التصنيع بالإضافة يعتبر من التقنيات صديقة للبيئة بما يحقق الاستدامة حيث لا يوجد هدر في الخامات المستخدمة.
6- ارتفاع تكلفة المنتج تبعاً لارتفاع أسعار الآلات والخامات مقارنة بأسعار الخامات المستخدمة في طرق التصنيع التقليدية.
7- ندرة تقنيات البناء بالمسحوق المعدني وكذلك ارتفاع سعر المنتج المعدني.
8- ضرورة الاهتمام بدراسة مدي إمكانية استخدام تقنيات التصنيع بالإضافة في الإنتاج الكمي للمجسمات النحتية ذات الطابع الوظيفي.

المراجع: References

1- محمود، أحمد محمود أحمد نافع. (2019). أساليب الانتاج بين المعايير الهندسية واعتبارات التصميم.. تم الاسترداد من (http://isaa.aaciaegypt.com/handle/123456789/10 63)
2- ابراهيم، وسام أنسى. (2019). التفاعل بين عناصر التصميم فى الاتجاه العضوى كمدخل لتصميم المنتج. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية, (15)4 , 666-682.
3- عبده، سارة عبدربه محمد. (2024). النحت والذكاء الإصطناعي: التلاقي بين الإبداع البشري والآلات. مجلة التصميم الدولية14(1)، 475-480.
4- محمود، خالد عوض ميرغني، وعبد الله، أشرف قسم السيد. (2016). تطوير إستخدام النمذجة والمحاكاة وتقنيات الواقع الافتراضي في الدراسات المستقبلية (رسالة دكتوراه). جامعة أم درمان الإسلامية، أم درمان.
5- سامي منصور, ه., & هبة. (2018). التصنيع بالأضافة ودورها في التصميم الداخلي المستدام المحاكي للطبيعة Additive. بحوث في العلوم و الفنون النوعية, (2)5, 317-346.
6- يوسف، دينا ناجى تميم مرسى (2015): تطور التقنيات وأثرها على التصميم في العملات التذكارية، رسالة ماجستير، كلية الفنون الجميلة – جامعة الاسكندرية.
7- العرنوس، شيرين السعيد، رضوان، احمد حسني، جودة، & أيمن علي. (2022). مدى تأثير استخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد في تطوير التصميم الخزفي المعماري. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية, (31)7 , 104-119.
8- جودة، أيمن علي، رضوان، أحمد حسني، العرنوس، & شيرين السعيد. (2020). مدى تأثير التطور الرقمي للتصميم البارامتري على تصميم الوحدات المعمارية الخزفية. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية, (20)5 , 16-34.
9- غنيمة، مي محمد مصطفى (2014م)، دور التقنيات المستحدثة في تصميم نحت الجوائز، رسالة ماجستير، كلية الفنون الجميلة – جامعة الاسكندرية.
10- حامد أبو خشبه، س.، & سامح. (2018). برامج التصميم ثلاثية الأبعاد ومدى تأثيرها على الأعمال النحتية الرقمية. المجلة العلمية لجمعية امسيا–التربية عن طريق الفن, (16)4 , 356-378.
11- حسن، ب. ن. ا., بسمه نبيل احمد, سنبل, نادر بدوي احمد, مسلّم & ,وفاء عمر. (2018). تقنيات التصنيع الرقمي وأثرها على العمارة الداخلية في القرن 21 .مجلة البحث في التربية وعلم النفس 33(3)، 142-163.
12- Martínez Perales, A. J. (2020). La escultura digital: El nuevo cincel de la escultura.
13- Deng, W., Chen, Y., & Hu, S. J. (2013). Analysis of current situation of digital sculpture development. Advanced Materials Research, 690, 3482-3485.
14- Paul, C. (2003). Digital Art, Thames & Hudson. London Journal.
15- LAVIGNE, C. (1998). La sculpture numérique. Computer Arts, (4).
16- Lavigne, C. (1995). pour Une nouvelle renaissance, les Retrouvaille de l'Artiste et des l'Ingénieur. 166, 20–26. http://christianlavigne.free.fr/presse/1995-FLUX.pdf
17- Mongeon, B. (2015). 3D technology in fine art and craft: Exploring 3D printing, scanning, sculpting and milling. CRC Press. http://christianlavigne.free.fr/presse/2016-Bridgette_MONGEON-3DPrinting.pdf
18- LAVIGNE, C., & VISSER, M. (2012, June 14). Proceedings of AEPR'12, 17th European Forum on Rapid Prototyping and Manufacturing. Cybersculpture: Materials, Processes and History of Sculpture in the Digital Age. https://www.arsmathematica.org/AFPR/AEPR-2012/AEPR2012-text12-CL-MV.pdf

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is properly cited.

19- Burns, J. L. (2015). Defining the Modeling Standard for 3D Character Artists.
20- AL-Rubaye, O. (2023). Stylized 3D scene using Blender.
21- Gao, C., Wang, F., Hu, X., & Zhang, M. (2023). Research on the analysis and application of polymer materials in contemporary sculpture art creation. Polymers, 15(12), 2727.
22- Vaughan, W. (2011). Digital modeling. New Riders .
23- https://ar.3dprintneer.com/3d-printing-materials, Access to 22 OCT.2024. At 1:12 PM.
24- https://thewhiteroom.gallery/art/release-by-chad-knight ,Access to 18Aug.2023 12:48 AM
25- https://creativesculpture.com/process/digital/ Access to 19Aug.2023 2:06 Am.
26- https://www.brucebeasley.com/portfolio/coriolis/ Access to 20Aug.2023 3:12 Am.
27- https://www.pinterest.com/pin/239260604581 8062 /Access to 10 Jan.2024. At 11:00 PM.
28- https://www.artstation.com/artwork/WBw962 Access to 3 Nov.2024. At 1:30 P