

النحت الرقمي وأثره على إبداع النحات المعاصر

DIGITAL SCULPTURE AND ITS IMPACT ON THE CREATIVITY OF THE CONTEMPORARY SCULPTOR

يارا جمال بخاتي

قسم النحت – كلية الفنون الجميلة – جامعة حلوان، جمهورية مصر العربية

Yara Gamal Bakhaty

Sculpture Department, Faculty of Fine Arts, Helwan University, Egypt

yarabakhaty11@gmail.com

المخلص

سعت الباحثة إلى زيادة التعريف بالنحت الرقمي وتقنياته وأدواته المستخدمة بداية من برامج متخصصة في التصميم الثنائي والثلاثي الأبعاد و ما لهم من أنواع مختلفة و إصدارات متعددة بالإضافة إلى إعطاء بعض النماذج لكل منهم وصولاً إلى ماكينات التحكم الرقمي ال (CNC) والطباعة ثلاثية الأبعاد ومدى تأثير هذه التقنيات على إبداع النحات المعاصر وإلى أى مدى أضافه إلى المجال النحتي وغيره من المجالات الحياتية، وأعدمت الباحثة في بحثها على المنهج الوصفي التحليلي، وقسمت الباحثة البحث إلى أربعة محاور أولهم النحت الرقمي ومفهومه وثانيهم تقنياته المتعددة من برامج وماكينات وثالثهم الإبداع الفني ورابعهم النحاتين الرقميين ونماذج من أعمالهم النحتية الرقمية، ومن خلال البحث سيوضح للقارئ أهمية الدور الذي لعبته التقنية الرقمية الحديثة والسبب كونها سيطرت على المجال النحتي المعاصر، بالإضافة للتأثير القوي على النحات المعاصر لما تقدمه من تسهيلات وإمكانيات قوية تمكن النحات من تحقيق رؤيته الإبداعية وفلسفته الفنية لكنها منفذة بطريقة حديثة وتقنيات متطورة تواكب العصر بعيداً عن الطرق التقليدية المعتادة.

الكلمات المفتاحية

النحت الرقمي، تقنية ال (CNC)، برامج النحت الرقمي

ABSTRACT

The used, beginning with specialized programs in two- and three-dimensional design, and their different types and multiple versions, in addition to giving some models on each of them, up to numerical control machines (CNC) and three-dimensional printing and the extent of their impact These techniques are based on the creativity of the contemporary sculptor and to what extent is it added to the sculptural field and other areas of life. of their digital sculptures, And through the research, researcher sought to increase the definition of digital sculpture and its techniques and tools it will become clear to the reader the importance of the role played by modern digital technology and the reason for its dominance in the contemporary sculptural field, in addition to the strong influence on the contemporary sculptor because of the facilities and strong capabilities it provides that enable the sculptor to achieve his creative vision and artistic philosophy, but it is executed in a modern way and with advanced techniques that keep pace with the times away from the usual traditional ways.

KEYWORDS

digital sculpting; CNC technology; Digital sculpting software ;

١. المقدمة

لقد كان الفن النحت النصب الوفير الهائل من التطور التكنولوجي ، فظهور التكنولوجيا الرقمية أدى الى ظهور ما يسمى بالنحت الرقمي و ببرامج النحت الرقمي والآلات الطباعة ثلاثية الأبعاد وكلاهما مكمل للأخر فأصبحت البرامج تستخدم في تصميم القطع النحتية نظراً لما تتمتع به هذه البرامج من إمكانيات وأدوات ممتازة تمكن النحات من تصميم أعماله النحتية بدقة وجودة عالية كما أن فائدتها لا تتوقف عند هذا الحد بل أنها تمكن النحات أيضاً من عمل نموذج تخيلي لعمله النحتي قبل بدء تنفيذه وأضافه التعديلات الضرورية له ومن أهم هذه البرامج (Z brush ,3Dmax ,Maya ,Sculptures) .

ومن هنا يبدأ دور ماكينات ال CNC و الطابعات الثلاثية الأبعاد والتي بدورها تتصل بهذه البرامج النحتية عن طريق الحاسب الآلي ومن ثم تبدأ هذه الآلات والماكينات بتنفيذ ما تم قراءته من خلال البرنامج وعلى حسب الخامة المحددة ؛ فنجد العمل النحتي مجسم لدينا في الواقع بعدما كان مجرد صورة رقمية على برنامج و جهاز الحاسب الآلي ، والجدير بالذكر أن تلك العمليات الحديثة المستخدمة في تنفيذ القطع النحتية دون عن غيرها من الوسائل التقليدية تساعد الفنان على توصيل رسالته وعلى تحقيق القيم الجمالية لمنحوتاته وعلى تنفيذ أفكاره الإبداعية في صورة أعمال نحتية .

١,١ مشكلة البحث

- مامدى أهمية النحت الرقمي كتقنية حديثة في فن النحت المعاصر؟
- ما هو تأثير تقنيات النحت الرقمي على إبداع النحات المعاصر؟

٢,١ أهمية البحث

- أن يكون النحات على دراية بالتقنيات التكنولوجية الحديثة وإثراء أدواته النحتية والتقنية
- ألقاء الضوء على النحت الرقمي كونه تقنية نحتية حديثة

٣,١ فروض البحث

- مزامنة العصر الحديث بما يحمله من تطور تكنولوجي يعود بالنفع على الأعمال الفنية من خلال استخدام هذه المعطيات والتقنيات لمعالجة المشكلات التنفيذية والتصميمية للعمل النحتي
- عمل النحت الرقمي على تسهيل وتحقيق رؤية الفنان الإبداعية والتعبيرية وتصويراته الذهنية

٤,١ مسلمات البحث

- وجود تقنيات حديثة تساعد على تطبيق العملية الإبداعية لدى النحات المعاصر ومجال النحت والتشكيل المجسم
- فهم وإستخدام التقنيات الرقمية الحديثة بشكل يساعد الأعمال النحتية على التقدم السريع المرن لما لها من تأثير قوى وواضح على إثراء الأعمال النحتية

٥,١ أهداف البحث

- توضيح ما المقصود بالنحت الرقمي وبالتقنيات الرقمية الحديثة في فن النحت
- كيفية الأستفادة من التقنيات الرقمية في المجال النحتي
- مدى تأثير النحت الرقمي على إبداع النحات المعاصر

٦,١ منهج البحث

المنهج المتعلق بدراسات البحث هو المنهج الوصفي التحليلي وتم استخدامه للتعرف على كل ما يخص النحت الرقمي في جميع مجالاته .

٢. مصطلحات البحث

- تقنية النحت الرقمي: كل عمل نحتي مصمم ومنفذ على الحاسب الآلي باستخدام البرامج الرقمية ثلاثية الأبعاد وتم إنتاجه بواسطة التقنيات الحديثة ماكينات CNC سواء كانت طباعة ثلاثية الأبعاد أو حفر بالليزر
- تقنية ال CNC: هي اختصار ل (Computerized Numerical Control) وهي عبارة عن مجموعة من التعليمات في صورة رموز وأرقام يتم قراءتها بواسطة الماكينة وتحولها إلى نبضات كهربائية تحرك المحركات الكهربائية وأدوات القطع لتنفيذ العمليات الميكانيكية (هذه العمليات التي بدورها تنفذ النماذج النحتية الثنائية والثلاثية الأبعاد وتتم هذه العملية بمساعدة برمجيات خاصة تعرف بأسم (G-Code)
- برامج النحت الرقمي : هي البرامج المتخصصة في تصميم الأعمال النحتية الثنائية والثلاثية الأبعاد والتي تتوفر على جهاز الكمبيوتر

٣. ماهية النحت الرقمي ونشأته Digital Sculpting

النحت الرقمي هو مزيج بين التكنولوجيا والإبداع يتجسد في تغيير ثقافة التعبير ويعطى عنصراً بصرياً جديداً، أي التصميم المجسم المنفذ على برمجيات الكمبيوتر وتم إنتاجه باستخدام التقنيات الحديثة المتعلقة بالكمبيوتر سواء الليزر أو تقنيات الحفر والقطع الحديثة أو الطباعة ثلاثية الأبعاد" (دعاء جمال محمد السعيد، ٢٠١٩) و "شأنه شأن الفنون الحديثة لا يمكن تحديد حقبة بدايته بشكل دقيق ولكن يمكن القول بأن بواذره بدأت في فترة الستينيات من القرن الماضي تزامناً مع ابتكار تطبيقات الحاسوب وتحديداً في أستوديو ريدو (Rido) للنمذجة؛ حيث قام بعض المهندسين بتصميم بعض الأعمال النحتية من خامة الألمونيوم، والخشب والأستعانة بماكينات ال (CNC) وفي مطلع التسعينيات قام مجموعة من نحائي الولايات المتحدة الأمريكية وهم (Tim Diffeld) ، (Rob Fisher) ، (Brude Beasley) بعمل بعض النقاشات لإنشاء منظمة (الحاسبات والنحت) تعرف باسم (CSF) اختصاراً (Computer and Sculpture Foundation)، والهدف منها هو التركيز وألقاء النظر على النحت الرقمي والوسائل والتقنيات الحديثة المستخدمة في النحت؛ وبالفعل تم تأسيسها بين عامي ١٩٩٢: ١٩٩٤ م . وقامت بعمل العديد من المؤتمرات العالمية التي ساعدت على ظهور وانتشار النحت الرقمي ثم قام الفنانان الفرنسيان (Christian Lavigne) و(Alexandre Vitikne) في عام ١٩٩٢ بتأسيس المجموعة الفنية الدولية (The International Artistic Group) حيث كانت تهدف إلى نشر التوعية بالتقنيات النحتية الحديثة والتشجيع على استخدامها بشكل أوسع" (دعاء جمال السعيد، ٢٠٢١) (بتصرف)، وعند القيام بتنفيذ عمل نحتي بالتقنية الرقمية يمر بمرحلتين تختلف كل منهما عن الآخرين من حيث الغرض.

٤. مراحل تنفيذ العمل النحتي الرقمي

٤، ١ مرحلة التصميم وتتم هذه المرحلة في صورتين، الصورة الأولى تتم في حالة الرغبة في إعادة تنفيذ نموذج نحتي يوجد في الواقع بواسطة تقنية ال CNC فيتم إدخال صورة رقمية للنموذج النحتي داخل الحاسب الآلي من خلال بعض الأدوات أهمها الماسح الضوئي (Scanner) ومن ثم إدخاله على برامج النحت الرقمي كما نرى في شكل رقم (1)، أما الصورة الثانية فيتم فيها تصميم العمل النحتي باستخدام البرامج المتخصصة والتي تعرف باسم البرامج ثلاثية الأبعاد وهي البرامج التي يتم فيها تعديل أو تصميم النماذج الفنية الثلاثية والثنائية الأبعاد، وتعتمد هذه المرحلة بشكل أساسي على الكمبيوتر والذي يتم إعطائه البيانات من خلال البرنامج الرقمي المستخدم؛ والذي بدوره يقوم بمعالجة هذه البيانات على حسب الأوامر التي تم إعطائها له وللبرنامج ومن ثم إخراجها على شاشة الحاسب الآلي في صورة عمل فني رقمي ثلاثي أو ثنائي الأبعاد (معلومات)، وهذه البرامج تختلف وتتنوع إصداراتها وإستخداماتها بما يخدم التصميم الفني المطلوب.



شكل رقم (1) مسح ضوئي لعمل نحتي، <https://www.google.com/search=isch&tbs>

٥. أشهر برامج النحت الرقمي

١,٥ Z_Brush

"يعد ال Z_Brush واحد من أهم وأشهر البرامج للنمذجة الرقمية بل أشهرهم ويتم استخدامه في تصميم العمل الفني ذي البعدين، والثلاثة أبعاد وأصدرت مئة عدة إصدارات أولهم عام ١٩٩٩ وكانت نسخة أولية ثم صدرت نسخة تجريبية في عام ٢٠٠٢ و٢٠٠٧ وأخيرا إصدار في مارس عام ٢٠٢١ من خلال شركة بيكسولوجيك ولم يصدر له إصدار بعد ذلك " (WWW zbrushcentral.com) يتمتع برنامج Z_Brush بالعديد من الأدوات والإمكانيات التي تمكن النحات من التصميم بشكل دقيق وسلس مع سهولة وضع التفاصيل والتأثيرات وإبراز المسطحات والمستويات؛ كما أنه يوفر للنحات سهولة تعديل الأخطاء حيث يتم تصميم العمل الفني على عدة طبقات بالإضافة إلى كونه عمل على جميع أنواع أجهزة الحاسب الآلي ولا يقتصر استخدامه على الأعمال التشكيلية النحتية فقط بل يتم استخدامه في تصميم الشخصيات الكرتونية والأفلام، والألعاب ثلاثية الأبعاد ومن أفضل مميزاته أيضا أنه يعمل مع نظامي الويندوز والأبل، ويتمتع برنامج الزى برش بعدة أدوات مميزة تعطيه القوة التي تميزه عن باقي برامج النحت الرقمي لظهور العمل الفني في شكل أقرب ما يكون للواقع على سبيل المثال يتوفر داخل البرنامج أداة تعرف باسم (Fiber Mesh) والتي من خلالها يمكن إعطاء تأثير للشعر والفراء بالإضافة إلى أدوات يمكن من خلالها التحكم في درجات السطوع والعتامة للمسطحات تعرف باسم (BPR) وخاصية (Cavity Mixer) وينتج أيضا خاصية تشوه المسطحات من خلال الأدوات (Transpose Curve) و (Anclip) ويتم استخدامها بشكل أكبر في مجال السينما بالإضافة إلى سهولة إجراء العديد من الأوامر على عدة أعمال في نفس الوقت مثل (Duplicate, Hide, Delete, Rotate, Move) بالإضافة إلى وجود أداة هامة تعمل على الضبط التلقائي لحواف العمل الفني وظهور الشكل الفني بشكل أفضل وتعرف باسم (Zremeshe) وتم تزويد نظام جديد في الإصدارات الحديثة للبرنامج يعرف باسم نظام ال (Mailbox) والذي يزيد من معدل سرعة التصميم أضعاف من ذي قبل، كما أنه يتمتع بخاصية يمكن من خلالها إضافة سمك كبير للمسطحات وذلك ضروري في حالة الطباعة الثلاثية الأبعاد (3d printer) أنظر شكل رقم (2)



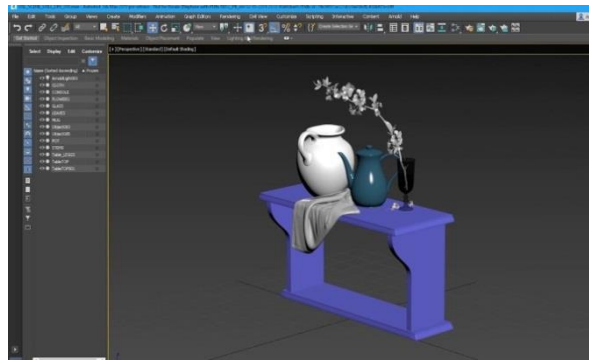
شكل رقم (2) واجهة برنامج Z-Brush، <https://pin.it/3t7BbO2>

٢,٥ Sculptures

يعد هذا البرنامج نموذج مشابه لبرنامج ال Z_brush من ناحية الأدوات والإمكانيات التي تسهل عملية النحت والسحب لكنه يعتبر أصغر حجما من ال Z_brush وهذا ما يميزه، ولقد أصدر أول نسخة مئة في عام ٢٠١١ من قبل نفس الشركة التي قامت بإصدار ال Z_brush شركة pixologic على يد (Tomas Patterson)

3D Max 3.5

"واحد من أهم برامج النحت الرقمي وكان يعرف باسم 3DStudio max وهو متخصص في النحت الثلاثي الأبعاد والألعاب والأفلام، وفي البداية تم إنشاء 3DStudio max بواسطة (Gary yost) و (Yost group) وتم إصداره من خلال شركة Autodesk ومن ثم قامت شركة Autodesk بشراء آخر إصدار له وتغيير اسمه ليصبح 3Ds max، وبعد تحديثه وإصدار الإصدار السابع له قامت Autodesk بتغيير الاسم ليصل إلى شكله النهائي والحالي (July- kelyl.murdock- July- 2023) ومع كل إصدار للبرنامج يتم إضافة أدوات حديثة تساعد في التصميم بشكل أفضل، بالإضافة إلى توفر العديد من الأدوات التي تتيح إعطاء الخواص للمسطحات كاللون والبروز بالإضافة إلى إعطاء المؤثرات كالرياح والجازبية وأشعة الشمس والتنوع في الإضاءة والشفافية وغيرها من المساعدات التي تعطي واقعية للمشهد علاوة على ذلك وجود خاصية الإظهار ال (Render) التي تعطي الشكل النهائي للتصميم بأعلى جودة ممكنة أنظر الشكل رقم(3)



شكل رقم (3) واجهة برنامج 3D MAX ، <https://www.google.com/search?q&tbm>

Maya 4.5

"برنامج من ضمن برامج النمذجة الرقمية وتم إدارته من قبل شركة ألياس، وبعد شراء شركة أوتو ديسك له أصبح من ممتلكاتها وذلك في عام ٢٠٠٥، ويمكن من خلاله محاكاة المجسمات التي توجد في الواقع من حولنا بالإضافة إلى تمتعه بوجود خاصية التحريك للمجسمات أو الشخصيات المنفذة من خلاله، زيادة على ذلك وجود بعض الخواص الديناميكية مثل تأثير المياه والسوائل والشعر وذلك من خلال نظام ديناميكي يقوم المستخدم بتحديد خواصه" (عبد الحافظ، محمد كمال ٢٠٠٦،

3Dcoat 5.5

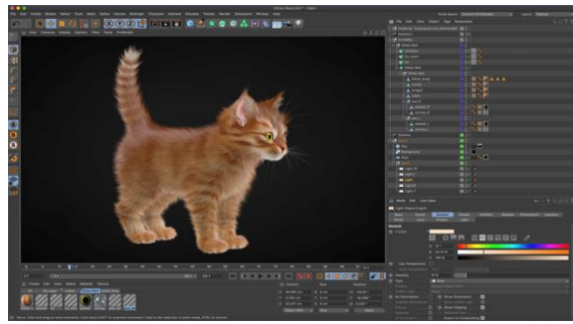
واحد من برامج النحت الرقمي يستخدم في تصميم جميع المجسمات بأسلوب ال Voxel، وتم إصدار آخر نسخة له في يوليو ٢٠١٦، ويتيح البرنامج جميع الأدوات التي تمكن النحات من تحقيق عمله الفني المجسم فيتوفر فيه إكساء العمل الفني بمؤثر عضوي أو صلب كالمعادن؛ كما أنه يتيح خاصية التعديل على الأعمال التي تم تصميمها في البرامج ثلاثية الأبعاد الأخرى من خلال الإضافات التي تسمى Applinks، والجدير بالذكر أن البرنامج من إنتاج شركة Pilgway. شكل رقم (4)



شكل رقم (4) واجهة برنامج 3Dcoat ، <https://www.goog/search?q9%86>

Cinema 4D 6.5

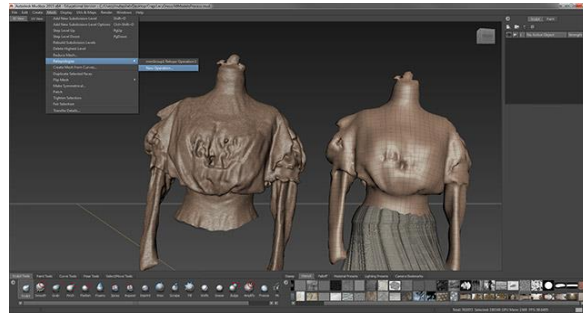
"برنامج يتم من خلاله الرسم والنحت الثلاثي الأبعاد بالإضافة إلى التحريك وإعطاء جميع المؤثرات والأحترافية في تصميم الملابس والأقمشة، تم إصدار أول نسخة له عام ١٩٩٠ من قبل شركة ماكسون الألمانية" (Maxon Computer GMBH) وتتميز إصداراته بأضافة كل ما هو جديد وخاصة في النمذجة وإعطاء الأدوات التي تساعد على وصول التصميم لأكثر واقعية من خلال خاصية ال (Advanced render) ، ويتميز بسهولة استخدام أدواته، والتعرف على واجهته وعدم تعرضه للتعطل المفاجئ مثل البرامج الأخرى، ويتميز أيضا بوجود برنامج آخر بداخله يعرف باسم (Body paint 3D) مهمته التلوين والرسم بأحترافية، بالإضافة إلى وجود خواص هامة في عمليات التحريك وهم (Auto Rigger) (Auto keying) ، يتميز أيضا بأنه لا يحتاج إلى أجهزة حاسب آلي قوية فهو يعمل بأقل الإمكانيات الشكل رقم (5)



شكل رقم (5) واجهة برنامج Cinema 4D ، <https://tinyurl.com/3cbzbct3>

Mud box 7.5

"هذا البرنامج متميز عن غيره من برامج النمذجة الرقمية؛ فهو ليس برنامج تصميم فقط بل أنه طابعة ثلاثية الأبعاد أيضا تم أنشاءه بواسطة شركة (Sky matter) التي أسست على يد (David Cardwell) و (Tibor madjor) و (Andrew camenish) وتم إصداره و استخدامه أول مرة عام ٢٠٠٥ ، وفي عام ٢٠٠٦ تم استخدامه في إنتاج فيلم (King Kong) فهو يعد بداية قوية لتطبيق يتم استخدامه في التصميم والتنفيذ. شكل رقم (6)



شكل رقم (6) واجهة برنامج Mud box ، <https://tinyurl.com/3yafpdv7>

٦. مرحلة التنفيذ

هي مرحلة إخراج العمل النحتي ووجوده بشكل ملموس على أرض الواقع بعد تصميمه على برامج النحت الرقمي، وتتم هذه المرحلة باستخدام بعض أدوات وآلات الإخراج بأجهزة ال CNC أو الطابعات ثلاثية الأبعاد وتختلف تقنية التنفيذ في كل منهم عن الأخرى ففي حالة آلة ال CNC يتم اتباع الخطوات الآتية:

- أول خطوة تنقسم إلى قسمين إما أن يقوم الفنان بعمل نموذج مصغر للعمل الفني وإدخاله إلى الحاسوب بواسطة الماسح الضوئي، أو يقوم النحات بإنشاء عمل فني من نقطة البداية باستخدام البرامج الرقمية المتخصصة .
- يقوم الحاسب الآلي بإرسال الأوامر إلى الماكينة من خلال البرنامج الخاص بها وقراءتها وتحويلها إلى لغة رقمية ومن ثم تبدأ الماكينة بالعمل من خلال استخدام الأسطوانات والبنط مع ضبط البنط في الإحداثيات ولكل جزء يتم

- نحتة بنطة خاصة به وذلك لاختلاف المقاسات والأبعاد، وتختلف طريقة التنفيذ من ماكينة لأخرى فالطابعة ثلاثية الأبعاد تختلف عن آلة القطع بالليزر تختلف عن آلة الحفر بالماء .
- في حالة التماثل يتم وضع الكتلة في صورة مثبتة على الماكينة في مستوى مناسب لها حتى يسهل دورانها في جميع الاتجاهات .
- بعد الإنتهاء من العمل الفني يتم رفعه من الماكينة وأضافه بعد الإضافات النهائية وذلك طبقاً لرؤية النحات لإعطاء العمل الفني الروح الفنية، أنظر الشكل رقم (7)



شكل رقم (7) اليد، رخام، نحت رقمي ببرنامج Zbrush وماكينة CNC، بواسطة علي سعد الله على، مصر

والجدير بالذكر أن ماكينات CNC تتعدد أشكالها وأنواعها ما بين المخارط والتفرز والراوتر وماكينات القطع بالماء والليزر والبلازما، ويتوقف استخدام كلاً منهم على حسب الخامة المستخدمة في العمل النحتي، فالمخارط وماكينات التفرز يتم استخدامهم في المعادن أما ماكينات القطع بالماء يتم استخدامها في أغلب الخامات سواء لينة أو قاصيه من بلاستيك و زجاج ومعادن وغيره والأمر غير متوقف على أنواع الماكينات فقط بل على البنط المستخدمة في الماكينة أيضاً فالبنط المستخدم في الأحجار تختلف عن غيرها المتخصصة في قطع الأخشاب والمعادن مع استخدام الماء في عملية التبريد نظراً لما تتعرض له البنط من حرارة مرتفعة أثناء عمليات القطع والحفر وتختلف أيضاً البنط من ناحية السمك والطول فيتراوح سمكها ما بين (١ مم إلى ١٢ مم) .

أما "الطابعة ثلاثية الأبعاد" وهي طريقة لإنتاج النماذج الثلاثية الأبعاد بواسطة آلة طباعة حيث يمكن خلق نموذج نحتي كامل في عملية واحدة من خلال استخدام خامات مختلفة، ويتم بطريقة ترسيب الطبقة فوق الطبقة أو ما يعرف بعملية التصنيع بالإضافة (Additive Manufacturing) "هود ليبسن، ميلبا كيرمان ترجمة زياد ابراهيم، ٢٠١٣) وتتميز الطباعة الثلاثية الأبعاد بعدة مميزات أهمها إعطاء الفنان الحرية في استخدام أكثر من خامة باختلاف خواصهم الفيزيائية والكيميائية في العمل النحتي الواحد، بالإضافة لكونها توفر الوقت والمجهود والمال والخامات المتنوعة كالبلاستيك والأوراق والأحجار والمواد المعدنية غير القابلة للصدأ والتي تستخدم بشكل أساسي في فن الميدالية والعملة، بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة، وتنقسم هذه التقنية إلى نوعين:

أولاً. طريقة التليد الانتقائي بالليزر: وهذه الطريقة يتم فيها استخدام شعاع ليزر يخرج من الطابعة ويتم وضع الخامة المراد عمل النموذج النحتي منها في صورة مسحوق مضغوط ومسطح ومن ثم تبدأ الطابعة بطباعة النموذج على حسب البيانات المعطاة والتصميم المطلوب في صورة طبقات تلتصق ببعضها البعض .

ثانياً. طريق البناء بالترسيب المنصهر: ويتم في هذه الطريقة تغذية الطابعة من خلال فوهة بالمواد المعدنية أو البلاستيكية المنصهرة (خامة العمل الفني) ويتم نفث هذه الخامة من خلال الفوهة والتي تتصلب بمجرد خروجها من الفوهة حتى يتم خلق النموذج النحتي وتعمل هذه الفوهة من خلال التحكم بها عن طريق برنامج على الحاسب الآلي وفي حالة تنفيذ عمل نحتي رقمي بتلك التقنية يتم أتباع النقاط الآتية:

- تصميم النموذج النحتي المراد طباعته من خلال برامج النمذجة الرقمية كما ذكرنا في الفقرات السابقة
- قراءة التصميم بواسطة الطابعة من خلال إتصالها بجهاز الحاسب الآلي
- تحديد الخامة المستخدمة للعمل الفني وذلك من خلال إدخالها إلى الطابعة من خلال فتحة مخصصة أو وضع القطعة الخام على الطاولة الخاصة بالطابعة سواء كانت الخامة معادن أو حجر أو بلاستيك أو أوراق .
- تبدأ الطابعة بعملية الطباعة من خلال رص طبقة فوق الأخرى وبمساعدة فتحة محمولة برأس الطابعة أو من خلال الحفر والتشكيل المباشر للقطعة حتى يتكون النموذج المراد طباعته

والجدير بالذكر أنه على الرغم من اعتماد التقنية الحديثة على البرامج والآلات في تنفيذ العمل الفني ألا أن ذلك لا يؤثر بالسلب على عملية التفاعل المباشر المعتادة بين الفنان والعمل النحتي كما يحدث بالطرق التقليدية وذلك لما يقوم به النحات من تفاعل بينه وبين العمل في عدة مراحل كالفنش والبايتنة علاوة على ذلك التفاعل البصري الذي يحدث بين الفنان والمنحوتة أثناء التصميم والطباعة أو الحفر، فالتقنية الجديدة لا تعنى فقد أهلية الفنان في اتصاله بعمله الفني بل يحدث التفاعل المعتاد الذي يصل به الفنان إلى التعبير عما بداخله من خلال القطعة النحتية كما يحدث في النحت بالطرق التقليدية، والجدير بالذكر أيضاً أن التقنية الرقمية الحديثة أضافت إضافة إيجابية كبيرة في عملية التحكم في حجم المنتج الفني بمنتهي السهولة واليسر وذلك من خلال ضغطة زر واحدة يتم من خلالها التحكم في حجم العمل سواء التكبير أو التصغير من خلال برامج التصميم والطباعة، مثال على ذلك (تمثال داوود) والذي تم عمل مسح ضوئي له وأخذ نسخه رقمية منه وتنفيذ العديد من النسخ الخاصة به بأحجام مختلفة ويرجع الفضل في ذلك لما تقدمه التقنية الحديثة من سهوله في التحكم في عنصر الحجم

٧. استخدامات النحت الرقمي

والجدير بالذكر أن تقنية النحت الرقمي لا تستخدم في المجال النحتي فقط بل تستخدم في مجال فني آخر وهو مجال الرسوم المتحركة فجميع الشخصيات الكرتونية الشهيرة تم نحتها بواسطة برامج النحت الرقمي التي تم ذكرها في الفقرات السابقة مثل شخصية الكرتون الشهيرة (King Kong) أنظر الشكل رقم (8) وأيضاً شخصيات (Avatar) أنظر شكل رقم (9) ولم يتوقف الإستخدام عند المجال الفني فقط بل تم إستغلالها في العديد من المجالات كالمجال الطبي والمجال الصناعي مثل الأحذية والملابس والمجوهرات وفي الهندسة المعمارية والطائرات والسيارات ومراكب الفضاء والإلكترونيات والروبوتات ، ويلقى النحت الرقمي الكثير من تفاعل الجمهور وذلك لما يتيح من تلامس بين المتلقى والعمل النحتي بالإضافة إلى السماح للمشاهد بالحركة والسير بين العمل النحتي، أنظر الشكل رقم (10)



شكل رقم (9) شخصية الرسوم المتحركة أفاتار
<https://tinyurl.com/5hzz939y>



شكل رقم (8) شخصية الرسوم المتحركة كينج كونج،
<https://tinyurl.com/rz35ejf>



شكل رقم (10) عمل نحتي رقمي تفاعلي

٨. مفهوم العملية الإبداعية النحتية

لطالما كان الفعل الإبداعي وكيفية حدوثه محل تساؤل لدى الباحثين طوال العقود السابقة فالعملية الإبداعية تتم في عدة مراحل مرتبة ومتسلسلة وتحدث هذه المراحل بشكل تلقائي ومنطقي بمجرد ما يطلق المبدع العنان لخياله حيث يرى الفنان التشكيلي والفيلسوف روللوماي (Rollomay) الذي تبني فكرة العملية الإبداعية وكيف تحدث في كتابه "شجاعة الإبداع" أن العملية الإبداعية التي تحدث للفنان عبارة عن مواجهة وتفاعل بين قطبين، القطب الأول هو الفنان وذاته والقطب الثاني هو العالم المحيط به، ومن خلال هذه المواجهة تطرأ فكرة فنية فريدة بديعة؛ ومن ثم تندمج هذه الفكرة مع الوسيط ليولد العمل الفني النحتي البديع الذي يتميز عن غيره ولقد قسم الباحث فكتور لوفنفيلد هذه العملية الى نوعين وهما:

الإبداع الكامن (Actual Creativity) أعتقد أن الترجمة الصحيحة لهذا العنوان (الإبداع الفعلي) والمقصود به القدرات الإبداعية التي يتمتع بها الفرد بداخله سواء تم نموها وظهورها على أرض الواقع في صورة إبداعات أم لا.

الإبداع الفعلي (Potential Creativity) أعتقد أن الترجمة الصحيحة (الإبداع الكامن)

والإبداع الفعلي ما هو إلا إبداع كامن تم تنميته وتطبيقه وأدى وظيفته وكما ذكرنا في بداية الفقرة كون العملية الإبداعية الفنية لا تحدث عن طريق الصدفة ولا تتم في لحظة، بل تمر بعدة مراحل متسلسلة فلقد حاول الكثير تصنيف وترتيب هذه المراحل، ولكن أشهر محاولة هي محاولة الباحث والاس (Wallas) الذي رتبهم في أربعة مراحل وهم: " (ألكسندرة روشكا، ٢٠١٦)

أولاً مرحلة الأعداد والتحضير

تعد هذه المرحلة أول مرحلة تمر بها العملية الإبداعية الفنية واتفق جميع الباحثين على مدى أهمية هذه المرحلة حيث يتم فيها تحضير العقل بشكل كافي في مناخ مناسب وبيئة عمل مناسبة وجمع المعلومات والدراسات والخبرات والعمل الذهني العميق والجهد المتواصل والتفاعل مع المواقف والمشكلات في المجال الفني وكلما زاد الجهد المبذول في تجميع المعلومات وفهم عناصر المشكلة والتفاعل بين الفنان وبيئته كلما خلقت أفكار أكثر أبداعاً .

ثانياً البروغ

تأخذ هذه المرحلة ثوانى أو دقائق أو أيام أو شهور ويقوم فيه الفنان بالتخلص من كل الأفكار الفرعية والثانوية التي ليس لها أهمية تخص الموضوع والبعد عن كل ما هو تقليدي ومعتاد فيه وعلى الرغم من أنه قد يبدو على الفنان أنه تطرق الى مواضيع جديدة ولكن في حقيقة الأمر فهو ينظر الى الموضوع من منظور آخر ويعمل على الوصول الى الفكرة الفريدة من خلال طرق غير نمطية ومألوفة

ثالثاً الأستبصار (الإشراق)

تحدث هذه المرحلة في لحظة بعينها فهي الشرارة التي يصل فيها الفنان الى الفكرة الإبداعية ويمكن القول بأنه الإلهام الذي يأتي داخل عقل الفنان فيؤدي إلى حدوث الومضة الإبداعية واكتمالها ولا تأتي هذه المرحلة إلا بعد التحضير الطويل والجهد المنظم الرامي في المرحلتين السابقتين وكلما كانت العوامل الخارجية لدى الفنان من بيئة عمل وذهن حاضر جيدة كلما أتت هذه المرحلة بشكل أسرع .

رابعاً التحقيق

تعد هذه آخر مرحلة في العملية الإبداعية حيث يتم فيها صقل الفكرة الإبداعية وتعديلها والتحقق منها وإخضاعها تحت الإختبار ومن ثم بلورتها في صورتها الكاملة النهائية ويجب على المبدع في أثناء هذه المرحلة أن يتمتع بالثبات الذهني والقدرة على تقييم الاتجاه العقلي والمرونة ومواصلة الجهد والنشاط حتى يتم الوصول إلى أفضل إخراج ممكن للفكرة الإبداعية والجدير بالذكر أن هذه المراحل غير مقتصرة على العملية الإبداعية الفنية فقط بل على الإبداع بوجه عام مع وجود اختلافات بسيطة في هذه المراحل بين كل مجال وغيره

وعملية الإبداع الفني تتأثر بشكل كبير بالعديد من المؤثرات، هذه المؤثرات قد تؤثر بشكل إيجابي أو سلبي وتتنوع ما بين كونها عوامل فردية أو عوامل اجتماعية ، فالعوامل الفردية تختلف من فنان لآخر فكل فنان يتمتع بصفات تختلف عن غيره من باقي الفنانين وكل فنان نشأ في بيئة تختلف عن بيئة غيره ، فالأفراد الذين يتمتعون بالمرونة والذكاء والحساسية والاستقلال والمثابرة في العمل والخيال الواسع لديهم القدرة على الإبداع أكثر من أقرانهم الذين يعتمدون على المحاكاة والتقليد والاتباع والالتزام بالأنماط المتداولة ، كما أن البيئة التي ينشأ فيها الفنانين بداية من الأسرة وحتى المجتمع لها تأثير كبير جدا فكلما كانت البيئة المحيطة تشجع على حرية إبداء الرأي لدى الأفراد والتشجيع والدعم الدائم لهم كلما تمتع هؤلاء الأفراد بقدرات إبداعية أكثر من أولئك الذين نشأوا في بيئة متسلطة ناقدة تقمع الحرية ، كذلك التعليم له تأثير لا يستهان به فالتعليم القائم على التسامح وتوفير الفرص وتقبل الاختلاف يقوى من السلوك الإبداعي لدى الفنان عن غير من التعليم الذي يعتمد على التلقين وعدم التفكير

والإعتمادية، ومن خلال ما سبق نرى أن العملية الإبداعية الفنية لها مقومات تساعد على تطورها وتنميتها هذه المقومات يجب ان يتمتع بها الفنان المبدع ألا وهي :

- الطموح والطلاقة
- حرية التعبير والدافعية
- فطرة الفنان وذكائه وقدراته الذهنية والفنية
- خبرة الفنان ومهاراته والمناخ المناسب

٩. النحاتين الرقميين

٩،١ الفنان روبرت مايكل سميث (Robert Micheal Smith)

هو نحات أمريكي رائد نشط معاصر في النحت الرقمي والواقع الافتراضي والمنحوتات المطبوعة بالألآت ثلاثية الأبعاد تقاعد سميث من التدريس في اغسطس ٢٠١٩ بعد ٤٠ عام من العمل الأكاديمي في العديد من المؤسسات على الصعيد الوطني والدولي بما في ذلك ٢٠ عاما كأستاذ مشارك في الفنون الرقمية والتصميم في معهد نيويورك للتكنولوجيا، شارك سميث في العديد من المعارض العالمية مثل معرض الحجر الرقمي في متحف بكين توداي للفنون ومتحف شنجهاى دولون للفن الحديث ومعرض ونزهو للفنون ومعرض في متحف اوتوديسك ديزاين في سان فرانسيسكو ، وعمل سميث كمدير مجلس إدارة للعديد من المنظمات غير الربحية مثل مؤسسة مركز النحت الدولي ولا يزال مديراً ومؤسساً مشاركاً لمجلس إدارة مشروع (DigitalStone) ، ألقى سميث العديد من المحاضرات في الكثير من الجامعات والمؤتمرات الدولية وظهر في العديد من المقالات والكتب الدولية مثل كتاب بروس واند بعنوان " فن العصر الرقمي " ، وفي مقابلة حية مع الفنان من خلال تقنية الزوم تم طرح عليه بعض الأسئلة أولهم عن كيف يرى النحت الرقمي كتقنية حديثة ؟

فأجاب بأنه : "يرى النحت الرقمي تقنية حديثة معاصره و هامة تصفى لفن النحت الكثير من الغنى و بعد هام في العصر الحالي " وعند سؤالة عن مدى تأثير النحت الرقمي على العملية الإبداعية للفنان وهل تعتبر داعم للعملية الإبداعية أم تنتقص منها ؟

فأجاب بأن : " النحت الرقمي يعد داعم للعملية الإبداعية للفنان كونه يسهل عليه تحقيق رؤيته الإبداعية أكثر من الطرق التقليدية " وعند سؤالة عن هل النحت الرقمي خطر على بقاء الإبداع النحتي كونه يقلص دور الفنان أم هو مجرد أداة جديدة ؟ فقد أفاد: "بأن النحت الرقمي لا يشكل أي خطر على العملية الإبداعية لأن مصدرها هو عقل الفنان وقال بأن النحت الرقمي أكثر من مجرد أداة، بل هي منظور معاصر ومستقبلي " وعند سؤاله عن هل لتلك التكنولوجيا الجديدة قيم جمالية جديدة خاصة بها ؟

أفاد بأن: " النحت الرقمي يضيف قيم جمالية وطرق جديدة للرؤية والتصميم ويعطى مزيداً من التلقائية في تصميم العمل النحتي الرقمي وأيضا في تنفيذه " وعند سؤالة عن ماذا أضاف النحت الرقمي للفنان والفن بوجه عام من وجهة نظر الفنان ؟ فقد أضاف بأن:

" النحت الرقمي زود الفنان بحرية في التصميم والتنفيذ وكأنه يقفز من طائرة مقاتلة في السماء وأنه أصبح من السهل تصميم وتنفيذ منحوتات أكثر تعقيداً وبتفاصيل دقيقة وبخامات صعبة وعديدة مثل الحجر ومثلما قام به برنيني ليكون أفضل من ذي قبل كما انها تمكنهم كناحتين من القيام بالتجربة الفنية بشكل أسرع من ذي قبل بالإضافة الى سهولة تبادل الأفكار ، كما مكنته التقنية الحديثة بشكل شخصي من العمل مع علماء الطب واستخدام الخلايا البشرية الحية كمادة نحتية كما أنه يتيح إمكانية التصميم دون القلق بشأن الجاذبية والكتلة والبنية كما حدث مع جميع المنحوتات السابقة عبر التاريخ كما أنه يمكنه من العمل على جميع الأحجام بسهولة وأدراك المنحوتات التي في خيالهم ورؤيتها بصريا قبل التنفيذ " .

وتتميز أعمال روبرت الرقمية بالدقة والرزانة والنقل فنجذ في الشكل رقم (11) الذي يمثل نجم بحرى طبقا لخيال النحات والمصمم بواسطة برنامج (z brush) و المنفذ بالتقنية الرقمية بواسطة الطابعة ثلاثية الأبعاد مدى التوازن بين الكتلة والفراغ والدقة في تنفيذ الأضلع بشكل منتظم ومتساوى بالإضافة الى إعطائه لون جلد الإنسان مما يضيف شعور بالواقعية وكأنها نجمة بحرية حقيقية أما الشكل رقم (12) والذي يمثل شكل عشوائى من وحي خيال الفنان هذا العمل النحتي المصمم بواسطة برنامج (z brush) وعلى الرغم من صعوبة خامته (الرخام) إلا أن بعض ماكينات ال CNC مصممة خصيصا للنحت في الخامات الصعبة كالرخام فنرى مدى التأثير الإيجابي الذي تقدمه التقنية الحديثة في تسهيل عمليات تنفيذ الأعمال النحتية ذات الخامات الصعبة أكثر من ذي قبل ويظهر العمل النحتي متمتعا بقدر كبير من الدقة والتشابة بين النوتوات التي تخرج من جسم العمل النحتي مع الحفاظ على اللون الطبيعي لحجر الرخام أما في الشكل رقم (13) الذي يمثل مجموعة من القطع المتلاحمة البلاستيكية من نجم البحر نفذ العمل النحتي بواسطة برنامج (z brush) وتم تنفيذها من خلال الطابعة ثلاثية الأبعاد ويعطى

العمل النحتي الإيحاء بالحركة ويتمتع بالتوازن بين الكتلة والفراغ والترابط بين العناصر، ونلاحظ حرص النحات على إعطاء العمل اللون الأبيض لما يتناسب مع مكان عرضه على الشاطئ.



شكل رقم (13) Stellar Cluster
ABS Plastic،Frag
نحت رقمي ببرنامج Zbrush وطباعة
ثلاثية الأبعاد، بواسطة روبرت مايكل
سميث، ٢٠١٩



شكل (12) Randomooreator، رخام، نحت
رقمي ببرنامج Zbrush وماكينه حفر
cnc بواسطة روبرت مايكل سميث، ٢٠١٩



شكل (11) Star Child
ABS Plastic،Regenesis، نحت
رقمي ببرنامج Zbrush وطباعة ثلاثية
الأبعاد، بواسطة روبرت مايكل
سميث، ٢٠١٥

٢,٩ لورانس أرجنت (lurance Argent)

نحات رقمي إنجليزي ولد في يناير ١٩٥٧ وعرف بمنحوتاته الرقمية الضخمة الغربية في الاماكن العامة، وأبرز هذه الأعمال الدب الأزرق الذي يبلغ ارتفاعه ٤٠ قدم الموجود في مركز مؤتمرات دنفر والأرنب جامبو بينها. درس الفن في معهد مليونر الملكي للتكنولوجيا في أستراليا وحصل على ماجستير الفنون الجميلة في عام ١٩٨٦ من مدرسة رينهارت للنحت في معهد ماريلاند وتولى منصب مدرس في كلية الفنون وتاريخ الفن بجامعة دنفر في عام ١٩٩٣ وحصل على لقب أستاذ فخري في عام ٢٠١٧ وكان أرجنت من أوائل المؤيدين للنحت الرقمي وتوفي في أكتوبر ٢٠١٧ وفي حوار سابق للفنان عام ٢٠١٣ لمجلة (Colorado Homes and Life Styles) قال أن "الفن فرصة لأحتضان السلام والفضول" ونرى أعمال أرجنت الرقمية تتميز بالضخامة وكبر الحجم فنجد في عمله النحتي الدب في شكل (14) حجم الدب يصل الى ٤٠ قدم ويغطي المبنى بأكمله، ونستطيع القول بأن التقنية الرقمية الحديثة ساعدت في تنفيذ هذا الحجم من خلال وضع تخيل وتصور للعمل النحتي في بيئته الافتراضية أثناء تصميمه على برنامج (z brush) ومن ثم الإستعانة بمسطحات من الزجاج وتقطيعهم بماكينات ال CNC وصب شرائح من البوليمر بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد ومن لحام كل منهم في الاخر أما في الشكل رقم (15) فنجد العمل النحتي الرقمي الأرنب الذي تم تصميمه بواسطة برنامج (z brush) يعطي العمل النحتي الإيحاء بالحركة للمتلقى لظهوره في حركة قفزة، تم تنفيذه بنفس التقنية للعمل السابق ويظهر فيه مدى التوازن بين الكتلة والفراغ المحيط به.



شكل رقم (15) الأرنب "قفزة"، الألومنيوم والزجاج، ألياف زجاجية
بلاستيك نحت رقمي ببرنامج Z brush، طباعة ثلاثية الأبعاد، المنفذ
لورانس أرجنت، ٢٠١١

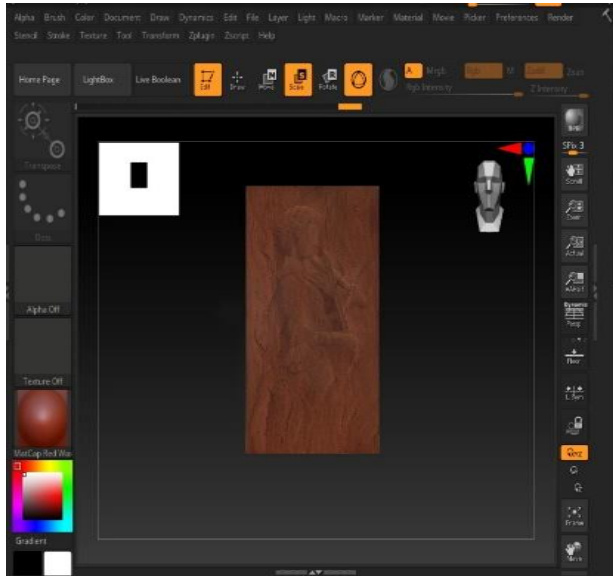


شكل رقم (14) الدب "أنا أرى ما تعنيه" علامه تجارية لدنفر، خرسانة
بوليمر، نحت رقمي ببرنامج Z brush وتقنية cnc المنفذ لورانس
أرجنت، ٢٠٠٥

ولقد تعددت الأبحاث العلمية المهتمة بالتقنية الرقمية الحديثة فقد تطرق للموضوع العديد من الفنانين أمثال دعاء جمال فراج في بحثها (الرقمية كالغة تشكيليه جديدة) وأيضاً الفنانة منال هلال أيوب في بحثها (الطينة الرقمية كوسيط إبداعي في عالم النحت الافتراضي) وأيضاً الفنانة مي محمد مصطفى غنيمه في بحثها (دور التقنيات المستحدثة في تصميم الجوائز).

١٠. تجربة الباحث:

لقد قامت الباحثة بعمل تجربة عملية لعمل نحتي باستخدام التقنية الحديثة وذلك بمساعدة برنامج التصميم (Z brush) وماكينة التنفيذ راوتر ال CNC ويتضمن العمل الفني فتاة عازفة (عازفة الكمان) شكل رقم (١٦)، في وضعية البروفيل بمساحة ٣٠*٥٠ واستطاعة الباحثة من خلال أدوات برنامج الزي برش بتصميم الفتاة ونحت كتلة العمل الفني من وجه وكتلة شعر وذراع وبدن شكل رقم (١٧)، باستخدام اداة تعرف باسم (Arrastar) مع اضافة تفاصيل العمل الفني من يد واقمشة وكذلك الاداة الموسيقية من خلال الاداتين (Arcilla)(Brosha) مع استخدام الاداة (Doblar) للتأكيد ع المستويات الاقل ارتفاعا مع اختيار الباحثة لخامة الخشب في التصميم من خلال ال (Materials) وذلك لوضع تصور للعمل من خلال الشاشة والتصميم الرقمي قبل التنفيذ فالواقع ع الخامة ذاتها ولقد قامت الباحثة بإعطاء الاوامر للبرنامج المتخصص للربط بين جهاز الحاسب الآلي والجهاز المسؤول عن عمل ماكينة الراوتر CNC لبدء تنفيذ العمل مع استخدام سمك البنط المناسب لسماكة وارتفاع العمل الفني مع متابعة مراحل العمل بشكل دوري، وقد لاحظت الباحثة من خلال التجربة العملية للتقنية الرقمية الحديثة عدت أمور هامة وهي استخدام التقنية الرقمية الحديثة يعمل علي تقليل الكثير من الوقت والجهد والمادة كما انه يساعد في وضع تخيل للعمل النحني قبل الشروع في تنفيذه من خلال برامج التصميم مما يسهل علي النحات تجنب العديد من الاخطاء والتي قد تظهر عند التنفيذ بالطرق التقليدية وبالتالي يصعب اصلاحها بالإضافة الي سهولة التحكم في حجم العمل الفني والقدرة على الاحتفاظ بنسخة رقمية تستطيع الباحثة من خلالها بعمل العديد من النسخ لنفس العمل الفني باختلاف الحجم والخامة.



شكل رقم (١٧)، عازفة الكمان، نموذج أولي للعمل الفني مصمم على برنامج zbrush، تجربة الباحث



شكل رقم (١٦)، عازفة الكمان، خشب، نحت رقمي برنامج zbrush، وماكينة حفر cnc، تجربة الباحث

١١. النتائج

- إن النحت الرقمي يعد داعم قوى للنحات لما يقدمه من مميزات وتسهيلات تساعده على التعبير والتنفيذ لما يدور في خاطره
- النحت الرقمي يدعم العملية الإبداعية للنحات من خلال بسط العديد من البرامج والآلات والأجهزة التي يتم من خلالها ظهور هذه العملية من مجرد فكرة الى منتج مادي ملموس بشكل أسهل من ذي قبل
- النحت الرقمي يتمتع بالعديد من الأدوات التي تسهل على النحات تحقيق القيم الجمالية والنحتية والتصميمية المتعارف عليها

- لا يكتمل النحت الرقمة كتنقية حديثة إلا برؤية وفلسفة النحات الفنية والإبداعية

١٢. التوصيات

- زيادة المعرفة والوعى والمتابعة بكل ما هو جديد فى عالم التكنولوجيا والتقنيات والفنون الرقمية
- حث الباحثين والدراسين وكل من له علاقة بالفنون التشكيلية على الإتصال بالتقنيات الرقمية الحديثة والأستفادة من مميزاتها وما تقدمه من تسهيلات
- وضع مناهج دراسية للتقنيات الرقمية الحديثة من برامج رقمية فى أقسام النحت بجامعة وأكاديميات الفنون التشكيلية
- عمل دورات تدريبية مستمرة للتدريب على كيفية أستخدام أجهزة ال CNC والطباعة ثلاثية الأبعاد وتقنيات الحفر بالليزر
- أن يكون النحات على دراية كاملة بأن التقنيات الرقمية وسيط وآليات عالية الأداء لكنها لا تستطيع تقديم فن بمفردها دون رؤية وأبداع النحات الرقمة

١٣. المراجع

• المراجع العربية

- ألكسندرو روشكا، ترجمة غسان عبد الحى أبو فخر، ٢٠١٦، الأبداع العام والخاص، دار الاصدار العلمى للنشر والتوزيع ص٤٤،٤٥
ثروت عكاشة، ١٩٩٣، فن النحت فى مصر القديمة وبلاد ما بين النهرين، دار المصرية اللبنانية للنشر
دعاء جمال محمد السعيد، ٢٠١٩، النحت بين الواقع الافتراضى وفلسفة النحات المعاصر، رسالة دكتوراة، جامعة دمياط، ص٦٩
دعاء جمال محمد السعيد، ٢٠٢١، الرقمية كلغة تشكيلية جديدة فى فن النحت_مجلة الفنون والعلوم الانسانية_ ٧_ص٩٣،٩٢ (بتصرف)
روبرت جيلام سكوت، ٢٠١٤، ترجمة عبد الباقي محمد ابراهيم، محمد محمود يوسف، عبد العزيز محمد فهميم، أسس التصميم، مركز الدراسات التخطيطية والمعمارية، القاهرة، ص١٦
هود ليبسن، ميلبا كيرمان ترجمة زياد ابراهيم، ٢٠١٣، الطباعة ثلاثية الأبعاد، مؤسسة هنداوى، القاهرة، ص٢١ (بتصرف)

Reference –

- Kelyl.murdock, July 2023, 3d max 2024 basic guide, software development center publication; p100
www.zbrushcentral.com
3D computer animation, modeling, simulation, and rendering software
https://en.wikipedia.org/wiki/Cinema_4D
Maxon Computer GmbH
<https://www.maxon.net/en>
Mudbox
https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Mudbox