الاستِنساخُ بالتِّقْنِيَّةِ الرَّقْميَّةِ للمَنحوتاتِ البارزةِ ومَدَى الاستِفادةِ منها للحِفاظِ على المَوْروثِ المِصريِّ القَديمِ

د. سناء عبدالله رياض محمد خليف مدرس بقسم النحت – تخصص الميدالية – كلية الفنون الجميلة – جامعة الإسكندرية

ملخص البحث:

أتاحت التكنولوجيات المتقدمة وتِقنيَّاتُ الليزر إمكانية الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية؛ وذلك من خلال المسح ثلاثي الأبعاد «3D Scanning» عالي الدقة، وإنشاء نسخة طبق الأصل «facsimile» للقبور الأكثر عرضةً للخطر.

ولقد تطوَّرت الإجراءات والتقنيَّات على مستوى عملية الاستنساخ، وكذلك عملية الحفظ أو التوثيق للنحت البارز؛ حيث تم التطوير والدمج لمجموعة من التقنيات الرقمية المبتكرة، واستحداث ماسحات خاصة للمقابر الفرعونية للتسجيل الرقمي ثلاثي الأبعاد (بدرجة وضوح من 700–100 ميكرون) وتخزين الألوان1:1 للصور الرقمية (بدرجة وضوح من 600–800 نقطة لكل بوصة) لكل أسطح المنحوتات البارزة داخل مقابر سيتي الأول ونفرتاري وتوت عنخ آمون.

وتم جمع البيانات ثلاثية الأبعاد لإنشاء نسخة مطابقة للأصل للنحت البارز لكلٍّ من هذه المقابر الفرعونية؛ وذلك للأهداف التالية:

– الحفاظ علي المقابر الأصلية من الآثار المترتبة على حضور الزوار للمقابر.

– الأرشفة والمشاهدة لهذه المقابر بشكل ثلاثي الأبعاد؛ للاطلاع الثقافي على الحضارة الفرعونية.

– تدريب ونقل خبرات خاصة بوحدة المسح بالليزر التابعة للمجلس الأعلى للآثار.

ولقد عمدت هذه التقنيات إلى المحاكاة بدقة، ليس لتفاصيل مستويات النحت البارز فحسب، بل ومحاكاة عوامل الزمن والظروف، وكذلك محاكاة الألوان بتغيُّراتها، وهناك مؤسسات دولية كرست جهودها وإمكاناتها في ميدان المسح ثلاثي الأبعاد؛ لحفظ التراث الثقافي للحضارة الفرعونية وغيرها من حضارات العالم القديم والحديث.

وينقسم البحث إلى ثلاثة محاورَ رئيسةٍ؛ كالتالي:

المحور الأول: معدات الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية.

ويتضمن أجهزة مبتكره لإنجاز التصوير ثلاثي الأبعاد للنحت البارز داخل المقابر.

المحور الثاني: مراحل الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر.

ويشمل المراحل المختلفة للحصول على نسخة طبق الأصل من النحت البارز؛ بدايةً من المسح ثلاثي الأبعاد، مرورًا بالطباعة ثلاثية الأبعاد «3D Printing»، أو الحفر براوتر«CNC» وطريقة محاكاة التصوير والألوان على النحت البارز.

المحور الثالث: الآثار الإيجابية والسلبية للاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر.

ويتناول دراسةً للجوانب الإيجابية والسلبية للاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة؛ من حيث الحفاظُ علي الموروث المصري القديم، وكذلك السلبياتُ.

مشكلة البحث:

- تكمن مشكلة البحث في وجود بعض الصعوبات والتحديات في حالة الاستنساخ الرقمي ومحاولة الحصول على نسخة طبق الأصل بصورة مميَّزة ومقنِعة للمنحوتات البارزة داخلَ المقابر الفرعونية، تليق بحضارة المصري القديم, والتي قد تكون بديلًا لزيارة ومشاهدة المقابر المعرضة للخطر.
- كيفية الاستفادة من دراسة تقنيات التسجيل ثلاثي الأبعاد المبتكرة خصيصًا، وتوظيفها في عمليات استنساخ نسخةٍ طبق الأصل للريليف بالمقابر الفرعونية؛ للحفاظ علي الموروث المصري القديم.
- دراسة كيفية تطوير تقنيات الطباعة البارزة، وهي شكل من أشكال الطباعة ثلاثية الأبعاد؛ لتلائم عمل نسخة طبق الأصل بارتفاع النحت البارز المصري القديم بالمقابر.
- دراسة التقنيات المتَّبَعة؛ لتحقيق محاكاة الألوان على النسخة طبق الأصل للريليف المصري القديم.

أهداف البحث:

- التعرف على معدات وتقنيات ومراحل الاستنساخ الرقمي للريليف المصري القديم.
- كيفية دمج وتكامل أكثر من تقنية رقمية خلال عمليات الاستنساخ الرقمي.
- دراسة تقنيات محاكاة الألوان علي سطح النسخة طبق الأصل للريليف الفرعوني.

- دراسة الآثار السلبية والإيجابية للاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية.

أهمية البحث:

- دراسة تحليلية واستقصائية للاستنساخ بالتقنية الرقمية، مع بيان مدى الاستفادة منها في الحفاظ علي الموروث المصري القديم.
- دراسة تحليلية للآثار الإيجابية والسلبية للاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر.

فروض البحث:

يفترض البحثُ الآتيَ:

- التوصُّل إلى تقنيات وأجهزة جديدة ودقيقة تتناسب مع تنفيذ نسخةٍ طبق الأصل من المنحوتات البارزة للمقابر الفرعونية.
- التوصل إلى تطوير بعض تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد خصيصًا؛ لتناسب عمل نسخة طبق الأصل طبقًا لارتفاع الريليف بالمقابر الفرعونية.
- يفترض البحث إمكانية استحداث طُرُقٍ لمحاكاة ألوان الريليف المصري على سطح النسخة، ومحاكاة عوامل الزمن للألوان والريليف عمومًا؛ مما يُمَكِّنُ من عمل مستنسَخاتٍ رقمية متقدمة فائقة الدقة لا يمكن تنفيذها بالطرق التقليدية؛ للحفاظ على الموروث المصري القديم.

حدود البحث:

يتخذ الباحث من المنحوتات البارزة داخل المقابر الفرعونية (سيتي الأول – نفرتاري – توت عنخ آمون) بوادي الملوك حدودًا مكانية؛ لدراسة الأجهزة والتقنيات الخاصة بالتسجيل والاستنساخ ثلاثي الأبعاد للمنحوتات البارزة بهذه المقابر الفرعونية الثلاثة فقط، حيث تم استحداث أجهزة وتقنيات خاصة تتناسب مع ارتفاعات الريليف المصري القديم بداخلها، وهو الريليف المنخفض الذي تختلف أجهزة التسجيل والاستنساخ الخاصَّة به عن الريليف المرتفع في أماكنَ أخرى، وحضاراتٍ أخرى.
وكذلك التقنيات الخاصة بتسجيل ألوان الريليف، ثم تقنيات محاكاتها على سطح النسخة طبق الأصل.

مناهج البحث:

المنهج التحليلي، مقترنًا بالمنهج الاستقصائي؛ حيث يعتمد البحث على دراسة وتحليل واستقصاء تقنيات الاستنساخ الرقمي ومراحله؛ لعمل نسخة طبق الأصل للمنحوتات البارزة بمقابر المصري القديم.

المفاهيم والمصطلحات:

تكنولوجيا Technology

«تعني: التقنية المبنية على المفاهيم العلمية، وهي تطبيق المعرفة العلمية والهندسية؛ لتطوير منتجات جديدة»[1].

نظام الليزر ثلاثي الأبعاد قريب المدى close-range 3D laser system

هو نظام يُستخدم بحيث تكون المسافةُ بين الماسح والسطح أكبرَ من 8 cm وأقل من 100 cm؛ وذلك لتسجيل أسطح الريليف بتفاصيلَ كبيرةٍ، وعادةً ما ترتبط مسافة التسجيل بدقة النتيجة[2].

الماسح ثلاثي الأبعاد لوسيدا Lucida 3D Scanner

هو ماسح ضوئيٌّ ليزري عالي الدقة، مزوَّدٌ ببرنامج متكامل خاصٍّ به، يسجل معلومات الريليف كفيديو أبيضَ وأسودَ خام. وقد عمِلت مؤسسة FactumArte ومؤسسة Factum تحت إشراف Manuel Franquelo على تطوير ماسح الليزر Lucida ، وما زال تحت التطوير.
والماسح لوسيدا مثبت على روبوت X,Y , يكون الحد الأقصى لعمق المسح 25mm، والحد الأقصى لمنطقة المسح mm^2 480×480[3].

البيانات الخام Raw data

البيانات الخام هي نتاج عمليات التسجيل المتنوعة (الفيديو، أو التصوير الفوتوغرافي، أو الأشعة السينية، أو المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد) دون أيّ تطبيق لاحق للمعالجة يؤدي لإزالة معلومات؛ لذلك تكون البيانات الخام التي يتم إنتاجها عبارةً عن مقدار ضخم ومكثف من المعلومات، وهي الأكثر ملاءمةً لحفظ المعلومات على المدى الطويل[4].

---

(1) نوار ثابت أ.د، النانو تكنولوجيا وتطبيقاتها، العبيكان، الرياض، ط1، 2013، ص9.

(2) Factum Foundation& Factum Arte, The Lucida 3D Scanner: A Manual,P4

(3) Fausto Del Sette , Fabrizio Patané, Automated displacement measurements, Del Sette et al. Herit Sci ,2017,P2

(4) http://www.factumfoundation.org/pag/199/TECHNOLOGY

الدقة Resolution

يتم استخدام هذا المصطلح للإشارة إلى مستوى التفاصيل في الملف ثلاثي الأبعاد للريليف، وتكون المتغيرات الأساسية التي تؤثِّر في دقة معلومات الريليف هي العدسات وأجهزة الاستشعار ومنطقة البَدء للمسح الضوئي والبرامج وخوارزميات معالجة البيانات، ويتم تقييم الدقة عن طريق المطابقة بين البيانات الممسوحة والسطحِ الأصلي للريليف. وأجهزة المسح قريبة المدى تكون مطابقة جيدًا لسطح الريليف عن الماسحات الضوئية بعيدة المدى[1]

الترميم الرقمي Digital restoration

يشير إلى مشاريع الترميم التي أُجريت على المحفوظات الرقمية، فيمكن استعادة النحت البارز بالأجزاء المفقودةِ منه رقميًّا؛ من خلال العمل مع المختصين لتعديل البيانات ومسح الشظايا التي تم توزيعها في المتاحف والمجموعات الخاصة في جميع أنحاء العالم.

وبهذه الطريقة يمكن دمج البيانات لإنتاج نسخة طبق الأصل مستعادة رقميًّا من أصلٍ تالف أو مشتت[2]

الميكرومتر micrometer

هو وحدة لقياس أطوال الأشياء الصغيرة، يُرمَز إليه بـ µm. ويُسمَّى أحيانًا (ميكرون)، ويساوي جزءًا من مليون جزء من المتر الواحد، وهذا يعني أن الميكرومتر الواحد يساوي 1000 نانومتر، ويعني أن 1 ميكرومتر = 0.001 مليمتر[3]

ملف STL

هي بيانات صناعية معيارية متعلقة بالتصنيع بنُظُمِ الحذف والإضافة بالنمذجة السريعة، ويجب أن يتم التحويل لهذه الصيغة قبل أن يتم إرسال النموذج ثلاثي الأبعاد إلى الماكينة.

ويستخدم ملف STL سلسلة من المثلثات المرتبطة لإعادة إنشاء هندسة السطح للنحت البارز، وعند زيادة الدقة وتقريب أسطح النموذج ثلاثي الأبعاد لشكلٍ أفضلَ يتم استخدام المزيد من المثلثات، وبِناءً عليه يتم أيضًا زيادة حجم ملف STL[4].

مقدمــة البحث:

خلال السنوات الأخيرة أصبحت تكنولوجيا المسح ثلاثي الأبعاد 3D Scanning , والتصوير الفوتوغرافي المركب composite photography, أسلوبًا لاستنساخ وتوثيق وحفظ التراث الثقافي على المدي الطويل؛ حيث أدَّت مستويات الضرر للمواقع الأثرية, والناتج عن السياحة الجماعية والكوارث الطبيعية والحروب؛ إلى إعادة النظر في مدى أهمية النسخة طبق الأصل عالية الدقة high resolution facsimiles للتراث والآثار الفرعونية.

ومِن ثَمَّ فقد أتاحت التكنولوجيات المتقدمة وتقنيات المسح ثلاثي الأبعاد عالي الدقةِ الاستنساخَ الرقمي للمنحوتات البارزة داخل المقابر الفرعونية، وإنشاء نسخة طبق الأصل facsimile للريليف بالقبور الأكثرِ عرضةً للخطر؛ حيث تم التطوير والدمج لمجموعة من التقنيات الرقمية المبتكرة، واستحداث ماسحات خاصَّةٍ للمقابر الفرعونية.

ويتم تسجيل البيانات ثلاثية الأبعاد على درجة وضوح 100 ميكرون؛ حيث تسجل 100,000,000 نقطة بشكل مستقل لكل متر مربع, كما أجري تطوير نظام للتصوير الفوتوغرافي يسجل الألوان الباردة بمستويات منخفضة على الأسطح؛ بمعدل 1:1على درجة نقاء 600–800 نقطة لكل بوصة لكل أسطح المنحوتات البارزة داخل مقابر سيتي الأول ونفرتاري وتوت عنخ آمون، وتم جمع البيانات ثلاثية الأبعاد لإنشاء نسخة مطابقة للأصل للنحت البارز لكلٍّ من هذه المقابر[5]ويتناول البحثُ ثلاثةَ محاورَ أساسية؛ كالتالي :

- معدات الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية.
- مراحل الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر.
- الآثار الإيجابية والسلبية للاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر.

أولًا: معدات الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر

---

(1) كارلوس بيود,علياء إسماعيل, ترجمة محمود سالم, عبدالرحيم غابه, علياء إسماعيل, لوسيدا الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد الملف التعريفي الخاص بجهاز المسح ثلاثي الأبعاد, ص10.

(2) http://www.factumfoundation.org/pag/199/TECHNOLOGY

(3) محمد شريف الإسكندراني أ.د ، تكنولوجيا النانو، المجلس الوطني للثقافة و الفنون والأداب - سلسلة عالم المعرفة، 2010م، ص18.

(4) https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide

(5) فاكتوم آرت, عمل فاكتوم آرت في مقابر توت عنخ آمون, نفرتاري, سيتي الأول, مارس–مايو2009, ص4.

لقد قامت مؤسَّسة التكنولوجيا الرقمية لحفظ الآثار بتخصيص الأموال لتطوير جيل جديد من الماسحات الضوئية بالليزر، والتي تم تصميمها خصيصًا لتُستخدمَ في مِصرَ.

تُستخدم في مجال الحصول علي بيانات ثلاثية الأبعاد ماسحاتٌ تتضمن البعيدة والمتوسطة المدى وقريبة المدى, وفي مجال المسح ثلاثي الأبعاد للريليف تستخدم أجهزة المسح ثلاثي الأبعاد قريبة المدى. وقد يتم دمجُ بيانات كلٍّ من المسح ثلاثي الأبعاد قريبِ ومتوسط وبعيد المدى لعمل نسخة ريليف جداريات القبور.

إن الماسحات ثلاثية الأبعاد قريبة المدى (تعمل في مسافةٍ أكبرَ من 8cm، وأقل من100cm)، وتُستخدم لتسجيل سطح المنحوتات البارزة بتفاصيلَ كبيرةٍ.

ويمكن أن تُستخدم المُخرَجات الواردة من جهاز المسح ثلاثي الأبعاد في الدراسة أو التوثيق, ويمكن تجسيدها فى عمل نسخة طبق الأصل للريليف.

وتَستخدم أجهزة المسح قريبة المدى نظام إضاءة منظَّم، وتعمل بطريقة حساب المثلثات؛ فيتم تسجيل البيانات من خلال كاميرا أو اثنتين مع ضوء الليزر الأحمر؛ لينتج عن ذلك خريطة دقيقة لسطح الريليف[1].

ومن ثَمَّ فإن المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد قريب المدى Close-range 3D scanning ضروريٌّ للحصول على بيانات عالية الدقة للسطح الأصلي ورقمنة سطح الريليف؛ لإعادة تجسيده، وإنتاج صورة مطابقة للأصل facsimile للريليف المصري القديم.

ومن الماسحات ثلاثية الأبعاد قريبةِ المدى المستخدمة في هذا المجال:

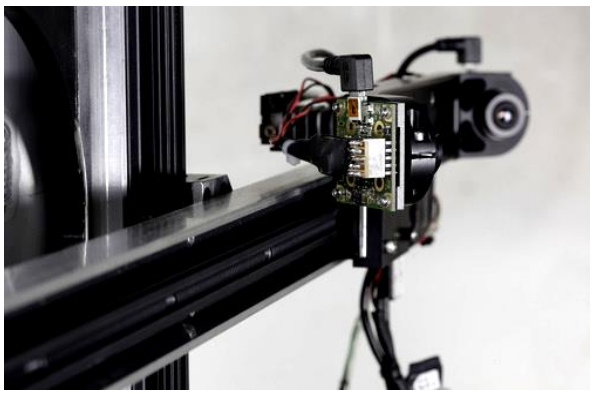
• ماسح الليزر ثلاثي الأبعاد لوسيدا 3D laser scanner (Lucida)

يُعَدُّ الماسح الضوئيُّ «لوسيدا» من ماسحات الليزر ثلاثية الأبعاد قريبة المدىclose-range 3D laser scanner، وهو مجهز بكاميرتين وشعاع ليزر واحد يُسجِّل معلومات العمق؛ سواء كانت ملفًا ثلاثيَّ الأبعاد، أو صورةً.

ويقوم الجهاز بتسجيل السطح عن طريق شعاعٍ أحمرَ دقيقٍ، يتحرك الشعاع على سطح الريليف فيسجل المنطقة التي يمر عليها، وذلك من خلال كاميرتين متمركزتين بزاوية 45 درجة من شعاع الليزر، ومن ثَمَّ يتم تخزين المعلومات ثلاثية الأبعاد في شكل فيديو خام.

ثم إن البيانات المخزنة فى شكل فيديو خام يمكن معالجتها بدقة عالية أو باستخدام تقنيات أكثر تطورًا فى المستقبل، وكذلك يمكنه حفظ الملف بصِيَغ TIFF 8bit, TIFF32bit,ris,AVI[2].

وكذلك تم تصميم الماسحة الضوئية (سيتي الأول) خصوصًا للمجلس الأعلى للآثار؛ لتسجيل المعلومات ثلاثية الأبعاد للحائط بغرفة دفن توت عنخ آمو والشكل (1) يبيِّن الماسح ثلاثي الأبعاد لوسيدا Lucida 3D Scanner الذي قام بإنشائه وتطويره المهندسُ الفنان مانويل فرانكيلو[3].



شكل رقْم (1): الماسح ثلاثي الأبعاد لوسيدا Lucida 3D Scanner

استُخدِم هذا الجهاز في المسح ثلاثي الأبعاد للريليف في مقبرة سيتي الأول؛ للحصول على بيانات عالية الدقة لسطح وملمس الريليف، دون اللون.

---

(1) Factum Foundation& Factum Arte, The Lucida 3D Scanner: A Manual,P4

(2) كارلوس بيود,علياء إسماعيل, ترجمة محمود سالم, عبدالرحيم غابه, علياء إسماعيل, لوسيدا الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد، الملف التعريفي الخاص بجهاز المسح ثلاثي الأبعاد, ص15.

(3) http://www.factumfoundation.org/pag/199/TECHNOLOGY

وهو ماسح ليزر عالي الدقة لأيّ سطحٍ أبعادُه 2.5D؛ لتسجيل الملمس والسطح للريليف المنخفض low–reliefs، واللوحات paintings (أعلى من 100 microns).

والجدول رقْم (1) يوضح أهم خصائص الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد لوسيدا [1].

جدول (1) خصائص الماسح الضوئي ثلاثي الضوئي الأبعاد لوسيدا

التقنية	ماسح ثلاثي الأبعاد يعمل بنظام حساب المثلثات في تسجيل البيانات
مسافة التسجيل	قريبة المدى (من 8 إلي 10 سم)
الدقة	100 ميكرون (10000 نقطة لكل سم^2)
المطابقة لسطح الريليف	عالية جدًّا
وقت المعالجة	من 4 إلى 6 ساعات لكل متر مربع، ويعتمد على قوة معالج الكمبيوتر وخبرة المستخدِم
صيغة مخرَجات الماسح	(shaded)TIFF 8bit, TIFF32bit,ris,AVI
أجزاء الماسح	هيكل الجهاز, وَحدة التحكم, كتلة المسح, مع جهاز الكمبيوتر
بيئة العمل	يجب أن يكون الجهاز مثبتًا جيدًا لا يهتز, مع انخفاض الإضاءة المحيطة
استخدامات الماسح	يُستخدم في تسجيل ومسح الريليف, الجداريات والنقوش الموجودة على الصخور, واللوحات، والخرائط

الماسح ثلاثي الأبعاد فارو FARO Focus 3D×330

يستخدم هذا الماسح إلى جانب الماسح ثلاثي الأبعاد قريب المدى للسطح كأداة تكميلية لعمل خامة دقيقة رقيقة، التي يتم تكوين السطح عليها بدقة.

ويستخدم برنامج نظام المعلومات الجغرافية لدمج البيانات من فارو –التصوير المساحي– مع بيانات أنظمة لوسيدا، وتستخدم هذه البيانات المُدْمَجة لعمل النسخة طبق الأصل[2].

والشكل رقْم (2) يعقد مقارنةً بين أعلى دقة ممكنة مع ماسحٍ ضوئيٍّ Faro LiDAR (على اليسار)، والتسجيل العادي باستخدام ماسح الليزر Lucida (على اليمين) [3].

شكل رقْم (2):
يعقد مقارنة بين أعلى دقة ممكنة مع ماسح ضوئي Faro LiDAR (على اليسار) وتسجيل عادي باستخدام ماسح الليزر Lucida (على اليمين), من مقبرة سيتي الأول

(1) Factum Foundation, Factum Arte, The Lucida 3D Scanner: A Manual,P234

(2) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P15

(3) Factum Foundation, Factum Arte, The Lucida 3D Scanner: A Manual,P224

ثانيًا: مراحل الاستنساخ الرقمي للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية

لقد تم التطوير والتوفيق أو الدمج لمجموعة من التقنيات الرقمية المبتكرة خصوصًا من أجل الحصول على بياناتٍ ثلاثيةِ الأبعاد للريليف الفرعوني داخل المقابر؛ مثل: مقبرة سيتي الأول، وتنفيذِه على ألواح، وتجميعه،

ومن ثَمَّ تقطيعه على أشكال غير منتظمة يتم تجميعُها مع إخفاء الفواصل، لتشكيل غرف المقبرة بالحفر بأدوات(CNC)، أو تنفيذِه بالطباعة ثلاثية الأبعاد، ثم تتم محاكاة الألوان.

وتشتمل عملية إنتاج نسخة مطابقة للأصل للمنحوتات البارزة على المراحل التالية:

◄ المرحلة الأولي: المسح ثلاثي الأبعاد للريليف الأصلي

إن أول مرحلة لإنتاج نسخة مطابقة للأصل للريليف الأصلي المصري القديم هي: الحصول على المعلومات ثلاثية الأبعاد لتضاريس السطح؛ عن طريق الماسح ثلاثي الأبعاد قريبِ المدى.

والشكل رقْم (3) يوضح عملية المسح ثلاثي الأبعاد للريليف داخل مقبرة سيتي باستخدام الماسح لوسيدا[1].

شكل رقْم (3): يوضح عملية المسح ثلاثي الأبعاد للريليف بمقبرة سيتي (قاعة الجميلات) باستخدام الماسح لوسيدا دون اتصال

ملحوظة:

قد يتم الترميم الرقمي ؛ مِن خلال عمل المسح ثلاثي الأبعاد للمنحوتات البارزة الموجودة بالمقابر، بالإضافة إلى المسح ثلاثي الأبعاد للأجزاء الناقصة من النحت البارز والموجودة في أماكنَ أخرى من العالم، ثم دمجها.

على سبيل المثال:

تم تسجيل الأجزاء المأخوذة من مقبرة سيتي الأول منذ اكتشافها من قِبَلِ بيلزوني* 1817 والموجودة حاليًا في مجموعة متحف بوسطن للفنون الجميلة، كما تم مسح الشظايا الأخرى الموجودة بأماكنَ أخرى بدقة حوالي 100 microns، ثم تم دمج هذه البيانات ثلاثية الأبعاد مع الأخرى المسجَّلة بالمقبرة في مصر؛ لعمل نسخة مكتملة.

والشكل رقْم (4) يوضح التسجيل باستخدام الماسح لوسيدا لجزءٍ من مقبرة سيتي بمتحف اللوفر، مع تسجيل جزءٍ آخرَ من مقبرة سيتي

شكل رقْم (4): المسح ثلاثي الأبعاد باستخدام لوسيدا لجزءٍ من مقبرة سيتي بمتحف اللوفر، مع تسجيل جزء آخَرَ من المقبرة نفسها بمتحف فلورنسا

(1) https://3dprint.com/194242/3d-scanning-3d-printing-tomb

بمتحف فلورنسا [1]، ومن ثَمَّ يمكن دمج كل هذه البيانات ثلاثية الأبعاد واستخدامها في عمل نسخة طبق الأصل لجداريات النحت البارز؛ بحيث تصبح مكتملة الأجزاء.

◀ المرحلة الثانية: استخدام بيانات المسح ثلاثي الأبعاد في إنتاج النسخة

بعد المسح يتم الحصول من الريليف الأصلي على المعلومات ثلاثية الأبعاد بصِيَغٍ مختلفة؛ مثل (.stl)، وهذه الصِّيَغُ تستخدم في إنتاج النسخة طبق الأصل، ومِن ثَمَّ يتم تحويل المعلومات الرقمية إلى نسخة الريليف المادي؛ باستخدام أيٍّ من أجهزة الإنتاج output devices(سواء تقنيات الحذف أو الإضافة)؛ مثل الحفر بـ(CNC) أو الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج نسخة مطابقة للأصل facsimile لجداريات النحت البارز الفرعوني بالتقنيات التالية:

أ- الحفر براوتر CNC

1. يتم تنفيذ الحفر بالراوتر CNC باستخدام برنامج ARTCAM؛ وذلك من خلال تحميل البيانات النقطية مباشرةً من الماسح دون إجراء تعديل عليها، مع حساب مسارات الأداة، ويتم الحفر وتخشين سطح المادة، وهكذا إلى أن يتم الوصول للمرحلة النهائية للعمل.

فعلى سبيل المثال:

في مقبرة سيتي الأول Seti I تم نحت معظم المقبرة في ألواح من مادة «البوليّ يورثين» polyurethane لحفر كلٍّ لوح منها بمقاس 1×2m تقريبًا، وقد استغرقت اللوحة ثلاثية الأبعاد بدقة 250 microns حوالَي 120 ساعةً تقريبًا. وبمجرد الانتهاء تم تجميع الألواح مع بعضها؛ لتُشَكِّلَ غرفًا كاملة، ثم تَمَّ تقطيعها لأجزاءٍ غيرِ منتظمة الشكل؛ بحيث يمكن نقلُها وتثبيتها في وصلات غير مرئية[2].

والشكل رقْم (5) يوضح النحت لنسخة جداريات المقبرة في ألواح من مادة «البولي يورثين» [3].

شكل رقْم (5):
نحت ريليف مقبرة سيتي الأول في ألواح من «البولي يورثين» باستخدام راوتر CNC

2. قد يتم الحفر براوتر CNC، ثم يتم عمل قالب سليكون للَّوحة التي تم حفرها- كما في الشكل رقْم (6).
3. يتم صب نموذج موجب من الجبس من خلال القالب السليكون.
4. يتم إنهاء لوحات الجبس باليد - كما في الشكل رقْم (7) [4].

---

* مستكشف إيطالي، وُلد في نوفمبر 1778م، ترك إنكلترا في عام 1812، قام بتحقيقات في معبد إدفو، وزار جزيرتي الفنتين وفيلة، وأزال الرمال التي طمرت معبد أبو سمبل (1817)، وقام بحفريات في الكرنك، وكان أول من نقب في الهرم الثاني بالجيزة، وأول أوروبي في العصر الحديث يزور الواحة البحرية، وفتح مقبرة سيتي الأول، ولا تزال تعرف بقبر بيلزوني وتوفي في ديسمبر 1823م عن 45 سنة

(1) http://www.factumfoundation.org/pag/241/Recording-the-Tomb-of-Seti-I

(2) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P25

(3) http://www.factumfoundation.org/pag/898/Re-materializing-Seti-I

(4) - https://books.google.com.eg/books?id=VgtBDgAAQBAJ&pg=PT163&dq=re++produce+tomb+seti+1,+Digital+Applications&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjjof7PjbbgAhVnoosKHRmYCS0Q6AEIJzAA#v=onepage&q=re%20%20produce%20tomb%20seti%201%2C%20Digital%20Applications&f=false

شكل رقْم (6):
عمل قالب سليكون للَّوحة التي تم حفرها براوتر CNC

شكل رقم (7):
إنهاء لوحات الجبس باليد

ب-**تكنولوجيا الطباعة البارزة The elevated printing technology**

هو مشروع من تطوير شركة Océ Technologies، وهي شكل من أشكال الطباعة ثلاثية الأبعاد بالإضافة، ويمكن إنشاء مطبوعات كاملة الألوان والملامس بمقاسٍ كحدٍّ أقصي 2.44× 1.19م، وارتفاع يصل إلى 5مم؛ ونظرًا لأن الجدران الموجودة في مقبرة سيتي الأول يتجاوز ارتفاعها ال 5مم؛ أَنشأَ قسم الأبحاث والتطوير في Océ Technologies حلولًا حسابية للطبقات، وتعديل عملية الطباعة؛ لإنشاء طباعة أحادية اللون للريليف المطلوب مع الحفاظ علي الدقة.

هذه التكنولوجيا تستخدم حبرًا قابلًا للمعالجة بالأشعة الفوق بنفسجية، ويتم إضافة طبقات متعددة من الحبر بعضها فوق بعضها.

وبعد كل طبقة يتم التثبيت والتجفيف قبل إضافة الطبقة التالية، ويتراوح سُمك كلِّ طبقة ما بين 2-40 microns، وتَكونُ دقة السطح عاليةً للغاية. ولإنشاء طباعة بارزة كاملة الألوان تتم تغطية هذه الطبقات بطبقةٍ بيضاءَ، وفوقَ هذه الطبقة البيضاء يتم تطبيق طبقة اللون.

وتم التوفيق بين تكنولوجيا الطباعة البارزة والماسح ثلاثي الأبعاد Lucida 3D Scanner الذي تم تطويره لأداء هذه المهام خاصَّةً؛ لإنشاء معلومات الريليف كخرائطَ ذاتِ عمق بمقياس الـ grey-scale بدقة dpi tiff 254؛ مما يجعلها مناسبةً للعمل والتوافق مع تقنية (Océ).

وقد تم إنتاج طباعة أحادية اللون لمقبرة سيتي الأول، ثم إضافة اللون فيما بعد.

والشكل رقْم (8) يوضح طباعة (Océ) ثلاثية الأبعاد كقالب (على اليمين)، ثم يتم أخذ نسخة الجبس منه (على اليسار)[1].

شكل رقْم (8):
يوضح طباعة Océ ثلاثية الأبعاد كقالب (يمين)، ثم يتم أخذ نسخة الجبس منه (يسار)

المرحلة الثالثة: تصوير النحت البارز بالألوان وطباعة الصوَر على الجلد المَرِن

(1) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P25-26

انتشر تزيين جدران المقابر الفرعونية بالمناظر؛ سواءٌ المطليُّ منها أو المنحوتة نحتًا ملوَّنًا بارزًا؛ حيث كانت المقابر مبانيَ خاصَّةً تشتمل على صوَر انتقاها الشخص المتوقَّع كونُه ساكنها إلى الأبد بعد الموت. وتعكس الآثار الجنائزية المعتقداتِ الدينية بشكل عامٍّ[1].

ولقد تم تصوير تلك المنحوتات البارزة بالألوان وطباعة الصوَر على الجلد المَرِنِ الذي تم تثبيتُه على سطح الريليف علي النحو التالي:

- **تصوير النحت البارز بالألوان**

تم التصوير باستخدام Canon EOS5DII مع عدسات ماكرو 100 مم و 180 مم، ثم تم تركيب هذه الجهاز على آخَرَ متحكَّمٍ فيه بواسطة جهاز كمبيوتر مصمم خصيصًا للمساحات الصغيرة بالمقبرة. ومن ثَمَّ أُخذت أكثر من 8000 لقطة فردية؛ أي: ما يقرب من 100 صورة في المتر المربع، بدقةٍ تتراوح بين 600 – 800 نقطة في البوصة في 1: 1، مع توفير خريطة فوتوغرافية كاملة للسطح[2].

لقد حظيت الألوان على سطح الريليف باهتمام خاصٍّ؛ حيث إنها تشكل عنصرًا هامًّا في إنتاج نسخة مطابقة بألوان دقيقة؛ لذلك تم إنتاج أكثر من 150 عيّنة من مختلف الألوان على عِصِيٍّ ورقية، ومقارنتها بالألوان الموجودة على سطح الريليف الأصلي؛ كما في شكل رقْم (9)[3].

شكل رقْم (9):

الطريقة المستخدمة في مطابقة اللون لإنتاج نسخة مطابقة، وتتضمن إعدادَ مجموعةٍ من العِصِيّ الورقية الملوَّنة؛ لتتمَّ مطابقتها مع درجة اللون واللمعان للألوان على الريليف الأصلي للجدران

- **تغطية النحت البارز للنسخة بالجلد المَرِن المطبوع**

بعد التحقق من المعلومات ثنائية الأبعاد تتم طباعة الصوَر عاليةِ الدقة على الجلود، وهي رقيقة مَرِنةٌ ومطاطية قليلاً، مصنوعة من طبقتين رقيقتين: طبقة أرضية الحبر النافث، وطبقة (acrylic gesso), وهو مصمم خصيصًا ليَقبَلَ الأحبار ذات الصبغات بدون انتشارٍ أو فَقْدٍ للتفاصيل.

وتُجرَى مقارنة النتيجة التي تم الحصول عليها مع عينات الألوان التي أجريت في المقبرة أثناء عملية التسجيل.

---

(1) Rasha M. Omran, Knife: Holders in Ancient Egyptian Tombs Religious and Artstic Study, مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب,Article 21, 16,2015,pp30-53

(2) http://www.factumfoundation.org/pag/208/Making-the-Facsimile

(3) http://www.factumfoundation.org/pag/207/Recording-the-Tomb

وقد تم إجراء العمل من غرفة دفن سيتي الأول بحيث كان اللون متطابقًا في نفس ظروف الإضاءة التي كانت موجودة في المقبرة أثناء وقت التسجيل. وجرى تحضير ملفٍ ثانٍ لإضافة الكثافة اللونية وتصحيح درجة اللون.

والشكل رقْم (10) يوضح لصق الجلد المطبوع بالألوان على سطح الريليف [1].

الشكل رقْم (10):يوضح لصق الجلد المطبوع بالألوان على سطح الريليف

والشكل رقْم (11) يوضح عملية وضع الجلود المطبوعة ولصقها بنسخة النحت البارز، باستخدام لاصقٍ بطيء الجفاف [2]، ويوضع الريليف والجلد داخل كيس تفريغ؛ كما في شكل رقْم (12) [3].

شكل رقْم (11):
يبين أنه بمجرد وضع المادة المَرِنة في وضع مثالي على الريليف
يعمل كيس التفريغ على تجفيف المواد اللاصقة

شكل رقْم (12):
وضع الريليف والجلد داخل كيس تفريغ

(1) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P28

(2) http://www.factumfoundation.org/pag/208/Making-the-Facsimile

(3) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P28

وبعد ذلك يتم عمل بعض اللمسات النهائية أو الرتوش، ويجري هذا العمل عن طريق فريق يشرف عليه أخصائي ترميم؛ شكل رقْم (13) [1].

شكل رقْم (13):
وضع بعض اللمسات النهائية أو الرتوش

ثالثًا: الآثار الإيجابية والسلبية للاستنساخ الرقمي للنحت البارز بالمقابر الفرعونية:

• <u>الآثار الإيجابية:</u>

- تمكين السياح من زيارة نسخة المقابر المعرَّضة للغلق بشكل دائم؛ نتيجة وجود مخاطرَ على النحت البارز والألوان في حال كثرة التَّردد لزيارة المقبرة الأصلية.
- استكمال الناقص من أصل النحت البارز بالمقابر الفرعونية في النسخة (الترميم الرقمي)؛ وذلك عن طريق مسح الأجزاء المفقودة والشظايا الموجودة بالمتاحف والمجموعات الخاصة في جميع أنحاء العالم؛ وبذلك يمكن دمجُ البيانات المجمَّعةِ لعمل نسخة طبق الأصل مكتملةٍ غيرِ منقوصة؛ مما يُمَكِّنُ المشاهدَ من رؤيتها كاملة.
- الأرشفة والمشاهَدة لهذه المقابر بشكل ثلاثي الأبعاد؛ للدراسة والاطلاع علي الحضارة الفرعونية.
- تدريب ونقل خبرات خاصة بوَحدة المسح بالليزر التابعة للمجلس الأعلى للآثار.
- إن تسجيل المعلومات ثلاثيةِ الأبعاد للآثار وحِفظَها كملفات رقْمية يحافظ عليها من الفَقدِ حالَ حدوث الكوارث الطبيعية والحروب؛ كما حدث من قبلُ حين حصل فَقْدٌ في جداريات النحت البارز لمقبرة سيتي الأول على يد (بيلزوني)، وكما حدث مع حضارة العراق التي تعرَّضت مؤخَّرًا للتدمير بفعل الحروب والسرقة إلى غير ذلك؛ مما تسبَّب في فَقْدِ أجزاءٍ كبيرة منها.

• <u>الآثار السلبية</u> :وجود معلومات ثلاثية الأبعاد متاحة للاطلاع للجميع؛ مما يُمَكِّنُ من استنساخها في أي مكان في العالَم؛ فتَفْقَدَ بذلك خصوصيتها.

• <u>آثار تتردد بيْن الإيجابية والسلبية:</u>

- قد تكون المشاهَدة الافتراضية للآثار المصرية على المواقع الإلكترونية بمثابة إثناءٍ للسائح الافتراضي عن الزيارة للآثار الحقيقة في موطنها الأصلي؛ مِصرَ، وقد يكون العكس؛ فتصبح مثار زيادة تشويق ورغبة في زيارة الآثار الحقيقية أو النسخة في مصر. وعلى سبيل المثال:

فقد تم تسجيل سطح جدران مقبرة سيتي الأول بمقياس 100 مليون نقطة لكل متر مربع، كما تم تسجيل اللون بدقة 800 نقطة لكل بوصة بمقياس 1:1، وهذه البيانات أُنشئت تمهيدًا لإضافتها إلى الموقع الإلكتروني: «مشروع رسم خرائط طيبة Theban mapping project»؛ مما يُمَكِّنَ الزائرَ الافتراضي من دراسة بِنْيَةِ وتخطيط المقبرة، والتكبير لأي منطقة شاء منها لرؤية النقوش بالألوان؛ حيث يتم تحديد أيِّ جزء ثم تكبيره؛ من أجل فحص التفاصيل، وكذلك سهولة التنقل بين اللون والبيانات ثلاثية الأبعاد، والاتصال بأرشيفات الصوَر التاريخية وغيرها [2].

<u>النتائج:</u>

1- تتوقف إمكانية إنشاء نسخة طبق الأصل (facsimile) دقيقةٍ للمنحوتات البارزة بالمقابر الفرعونية على الجمع بين التكنولوجيا مع العمالة الميكانيكيَّة واليدويَّةِ ذاتِ المهارات العالية.

2- يشتمل إنشاء نسخة النحت البارز الفرعوني على ثلاث مراحلَ أساسية؛ وهي:

- المسح ثلاثي الأبعاد للريليف الأصلي.

---

(1) Adam Lowe, Founder, Factum arte, Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, P29

(2) Richard H. Wilkinson, Kent R. Weeks, The Oxford Handbook of the Valley of the Kings, Oxford University Press,USA,2016,P536

- إنشاء النسخة طبق الأصل من المعلومات ثلاثية الأبعاد بتقنيات CNC أو الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing.
- تغطية الريليف بمحاذاة الجلد المَرِنِ المطبوعِ بصورة الريليف بالألوان.

3- إن الاستنساخ الرقميَّ للمنحوتات البارزة عمليةٌ ذات إتجاهين: من العالَم الحقيقي إلى الأرشيف الرقمي، ثم إعادة الملفات الرقمية إلى العالَم المادي دون فِقدانِ التفاصيل للمنحوتات البارزة.

4- وجود معلومات ثلاثية الأبعاد للتراث يعني إمكانيةَ نسخِه في أيِّ وقت وفي أيِّ مكان.

5- يمكن الترميم الرقمي للآثار التالفة أو المتضررة في حالة توافر معلوماتها ثلاثية الأبعاد.

6- إمكانية عمل نسخة مكتملة لجداريات النحت البارز ذات الأجزاء الناقصة؛ وذلك بعمل مسحٍ ثلاثيِّ الأبعادِ لجميع أجزائها الموجودة بالأماكن المختلفة من العالَم, ثم دمج المعلومات الرقمية لعمل نسخة طبق الأصل مكتملة الأجزاء.

7- النسخة طبق الأصل للمقابر الفرعونية قد تكون بديلًا –للمشاهدة والزيارة في السياحة– عن المقابر المغلقة للحفظ، أو التي هي في حاجة إلى الإغلاق؛ للحفاظ عليها للأجيال القادمة.

التوصيات:

1- توصية للباحثين بعمل رسائلَ علميةٍ في الاستنساخ الرقمي للتراث؛ حيث إنه موضوعٌ ثري بالتقنيات والتجارِب، كما أن هذا الموضوع متشعب على مستوى العالم ومختلف الحضارات؛ ومن ثَم تختلف الطُّرُق والتقنيات والأبحاث المفترضة حوله.

2- توصية للباحثين في مجال الترميم بعمل أبحاث في الترميم الرقمي للآثار.

3- توصية لوزارة الأثار بتحرّي وجودِ ضمانات لعدم الاستنساخ الرقمي لتراثنا خارجَ حدودنا من خلال المعلومات ثلاثية الأبعاد الدقيقة، والمأخوذه عن طريق المسح ثلاثي الأبعاد للآثار.

المراجع:

(أ) الكتب العربية:

1. محمد شريف الإسكندراني أ.د : تكنولوجيا النانو، المجلس الوطني للثقافة و الفنون والأداب - سلسلة عالم المعرفة، 2010م.
2. فاكتوم آرت: عمل فاكتوم آرت في مقابر توت عنخ آمون- نفرتاري- سيتي الأول, مارس-مايو2009م.
3. كارلوس بيود,علياء إسماعيل: الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد الملف التعريفي الخاص بجهاز المسح ثلاثي الأبعاد لوسيدا, ترجمة: محمود سالم وآخرون, بدون تاريخ.
4. نوار ثابت أ.د، النانو تكنولوجيا وتطبيقاتها، العبيكان، الرياض، ط1، 2013.

(ب) الكتب الأجنبية

5. Richard H. Wilkinson, Kent R. Weeks, The Oxford Handbook of the Valley of the Kings, Oxford University Press,USA,2016.
6. Factum Foundation& Factum Arte, The Lucida 3D Scanner: A Manual
7. Adam Lowe, Founder, Factum arte: Scanning Seti: the Re-geneRation of a PhaRaonic tomb200 YeaRS in the Life of a tomb, No history.
8. Fausto Del Sette , Fabrizio Patané, Automated displacement measurements, Del Sette et al. Herit Sci ,2017.
9. Rasha M. Omran, Knife: Holders in Ancient Egyptian Tombs Religious ,Article 21, and Artstic Study, مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب 16,2015,pp30-53

مواقع الإنترنت

10. http://www.factumfoundation.org/pag/199/TECHNOLOGY
11. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide
12. https://3dprint.com/194242/3d-scanning-3d-printing-tomb
13. http://www.factumfoundation.org/pag/241/Recording-the-Tomb-of-Seti-I
14. https://books.google.com.eg/books?id=VgtBDgAAQBAJ&pg=PT163&dq=re++produce+tomb+seti+1, +Digital+Applications&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjjof7PjbbgAhVnoosKHRmYCS0Q6AEIJzAA#v=onepage&q=re%20%20produce%20tomb%20seti%201%2C%20Digital%0Applications&f=false
15. http://www.factumfoundation.org/pag/208/Making-the-Facsimile