مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية
مجلد 42- العدد 1 (2026):357-373

Damascus University Journal of arts and humanities sciences Vol 42-No.1 (2026):357-373

التوثيق الرقمي للتراث الأثري باستخدام الفوتوغرامتري – دراسة تطبيقية على بعض القطع الأثرية في قصر العظم بدمشق

يارا سهيل الويش[1]*

1-دكتورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة دمشق.

*-Yara.alwish@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يُعد توثيق التراث الثقافي المادي من أبرز التحديات التي تواجه المجتمعات، لا سيما في ظل النزاعات والكوارث الطبيعية. حيث يُعد التراث الأثري جزءاً أساسياً من الهوية الثقافية، ويحظى تسجيل وتوثيق الآثار باستخدام الاستشعار عن بُعد بأهمية كبيرة لحفظه من التلف والاندثار.

يمثل قصر العظم في دمشق أحد أبرز المعالم المعمارية العثمانية في سورية ويعود إلى العام 1749م، يحتوي على مجموعة من القطع التراثية والأثرية التي تعكس الحياة الدمشقية التقليدية. من هنا تأتي أهمية استخدام تقنيات رقمية حديثة مثل الفوتوغرامتري لتوثيق هذه المقتنيات وحفظها رقمياً للأجيال القادمة.

هدف البحث إلى توثيق مجموعة من القطع الأثرية والتراثية المعروضة في قصر العظم باستخدام تقنية الفوتوغرامتري، كوسيلة رقمية حديثة تتيح إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد عالية الدقة. تم اختيار أربع قطع متنوعة من مقتنيات القصر، وتم تصويرها باستخدام طائرة درون من نوع (DJI Mavic air2) التي تحمل مستشعر بدقة CMOS 2/1 ودقة التقاط صور 48 ميجابيكسل، بالإضافة إلى آلة تصوير جهاز نقّال من نوع Realme 8 رباعية بدقة (64-2-8) ميجابيكسل.

قدمت تقنية الفوتوغرامتري حلاً فعالاً لإعادة بناء النماذج ثلاثية الأبعاد بدقة عالية باستخدام الصور الرقمية لإنشاء أرشيف رقمي دقيق. وأظهر البحث أن النماذج الناتجة حققت دقة هندسية عالية بلغت نسبة التشابه في النسب الهندسية 98% في جميع النماذج مما عكس كفاءة منهجية التصوير المعتمدة. إذ مكنت النماذج الناتجة من إبراز تفاصيل دقيقة كالنقوش والتلفيات الصغيرة. كما تم ربط نماذج DSM لهذه القطع الأثرية بنظام GIS وإنشاء قاعدة بيانات وصفية خاصة بها.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية (فوتوغرامتري)، السحابة النقطية، النمذجة ثلاثية الأبعاد، Agisoft metashape، طائرة الدرون.

تاريخ الإيداع: 2025/08/17
تاريخ القبول: 2025/10/13

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

Digital Documentation of Archaeological Heritage Using Photogrammetry– An applied study on selected archaeological artifacts in Al-Azm palace, Damascus

Yara Souhail Al-Wish[1*]
1-Dr, Department of Geography, Faculty of Arts and Human sciences, University of Damascus, Syria
*-Yara.alwish@damascusuniversity.edu.sy

Received: 17/08/2025
Accepted: 13/10/2025

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Documenting tangible cultural heritage is one of the most significant challenges facing societies, especially in the face of conflict and natural disasters. Archaeological heritage is an essential part of cultural identity, Recording and documenting artifacts using remote sensing is of great importance to preserve it from damage and extinction.

Al Azm Palace in Damascus represents one of the most prominent Ottoman architectural landmarks in Syria that goes back to 1749. It contains a collection of heritage and archaeological pieces that reflect traditional Damascene life. Hence, the importance of using modern digital techniques such as photogrammetry to document these artifacts and digitally preserve them for future generations.

This research aimed to document a collection of artifacts and heritage items on display at Al-Azm Palace using photogrammetry, a modern digital tool that enables the creation of high-resolution three-dimensional models. Four diverse pieces from the palace's collection were selected and photographed using a DJI Mavic Air 2 drone, which carries a 1/2" CMOS sensor and 48MP image capture, in addition to a Realme 8 mobile phone quad camera with a resolution of 64-2-8MP.

Photogrammetry provided an effective solution for reconstructing 3D models with high accuracy using digital images to create an accurate digital archive. The research showed that the resulting models achieved high geometric accuracy, The similarity rate in geometric proportions reached 98%. reflecting the efficiency of the adopted photogrammetric methodology. The generated models were able to highlight fine details, such as inscriptions and minor deteriorations. Furthermore, DSM models of these artifacts were linked to a GIS, and a dedicated metadata was created for them.

Keywords: Photogrammetry, Point cloud, 3D modeling, Agisoft metashape, Drone.

المقدمة:

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً باستخدام التقنيات الرقمية في مجال التوثيق الأثري، وبرز الفوتوغرامتري كأداة فعالة لإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة عالية وبتكلفة منخفضة نسبياً. فالفوتوغرامتري هو علم الحصول على معلومات ثلاثية الأبعاد من الصور الجوية أو الفضائية أو الفوتوغرافية باستخدام آلة تصوير. يتضمن التقاط صور متداخلة لجسم أو مشهد، واستخدام برامج متخصصة لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد أو خرائط. تُستخدم هذه التقنية في مجالات متنوعة؛ وتتطلب فهماً متعمقاً نظراً لتداخلها مع جوانب متعددة، فمثلاً: يؤثر البعد البؤري وموضع آلة التصوير عند التقاط كل صورة على جودة النتيجة النهائية.

لذا تم في البحث استخدام نوعين من أنواع التصوير الفوتوغرامتري: الأول هو التصوير الفوتوغرامتري الجوي حيث تم تثبيت آلة تصوير على طائرة مسيرة (درون) من نوع (DJI Mavic air2) لالتقاط صور من الأعلى. إضافةً إلى استخدام التصوير الفوتوغرامتري الأرضي أو القريب بالاعتماد على آلة تصوير جهاز نقّال من نوع Realme 8 مثبّت على حامل ثلاثي الأرجل لالتقاط صور للقطع الأثرية الصغيرة والتي كانت (بحرة، جرن أثري، عربة أثرية، وتمثال). لتحقيق هدف البحث المتمثل في تطبيق هذه التقنية على مجموعة مختارة من القطع الأثرية في قصر العظم بدمشق، بهدف الحفاظ على هذه الموروثات الثقافية رقمياً وربطها بنظم المعلومات الجغرافية الذي يوثق موقعها بدقة مع قاعدة بيانات وصفية خاصة بها.

تعتمد أكثر طرق التصوير الفوتوغرامتري شيوعاً لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد لأشياء حقيقية على تقنية "الهيكل من الحركة" (Structure from motion (SFM)). تتضمن هذه التقنية توفير صور متداخلة، ملتقطة من زوايا تصوير مختلفة يُستخدم التصوير الفوتوغرامتري الرقمي عن قرب (Close range) على نطاق واسع في الرقمنة ثلاثية الأبعاد للتراث الثقافي. ويتم حساب البيانات المهمة، مثل موضع الآلة تصوير واتجاهها، تلقائياً بواسطة برنامج متخصص، يسهل أيضاً عملية إنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد وتنسيقه، واستخراج المعلومات مباشرةً من مجموعة الصور المتداخلة (Westoby et al., 2012).

وبالتالي يوفر الفوتوغرامتري حلاً علمياً دقيقاً وفعالاً من حيث الكلفة والزمن لحفظ التراث. حيث تتأثر الموروثات الثقافية بشكل مباشر بالنزاعات، التغيرات المناخية، والإهمال البشري. وتعد سورية من الدول الغنية بالتراث الأثري الذي يواجه اليوم خطر الضياع. وبالتالي فإن أحد الطرق المبتكرة للحفاظ على هذا التراث هي التوثيق الرقمي باستخدام تقنيات التصوير الثلاثي الأبعاد، وعلى رأسها الفوتوغرامتري.

مشكلة البحث:

تواجه عملية التوثيق الرقمي لبعض القطع الأثرية تحديات تقنية وأمنية، إذ أن وجود هذه القطع داخل واجهات زجاجية يحول دون تصويرها بحريَة ويؤثر على جودة النماذج الناتجة بفعل الانعكاسات والتشويش الضوئي. كما أن زوايا التصوير المحددة لا تسمح بالحصول على تغطية مكانية كاملة. مما يؤدي إلى نقص في التفاصيل الهندسية واللونية للنماذج. إضافةً إلى أن القيود الأمنية تمنع إخراج القطع الأثرية من أماكن عرضها أو تعديل مواقعها ما يفرض الاعتماد على تقنيات وأساليب تصوير خاصة تراعي هذه القيود وتحد من تأثيرها على دقة النتائج.

أهداف البحث: هدف البحث إلى:

1- توثيق بعض العناصر والقطع الأثرية داخل قصر العظم في مدينة دمشق القديمة والمدرج على قائمة التراث العالمي لليونسكو، باستخدام تقنيات الفوتوغرامتري المعتمدة على التصوير الجوي بطائرة مسيَرة (Drone)، بالإضافة إلى صور أرضية مأخوذة بآلة

تصوير هاتف محمول (Realme 8) وقد شمل التوثيق أربع قطع أثرية بارزة داخل القصر، وهي: بركة البحرة الداخلية، عربة أثرية، تمثال حجري، جرن ماء أثري.

2-توليد نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة ((Digital Surface Model (DSM) للعناصر الأثرية الأربع، وهو نموذج رقمي للسطح الخارجي بكل تفاصيله (نتوءات، زخارف، كسور، وغيرها)، يتم ربطه مع نظام المعلومات الجغرافي بالإضافة إلى بناء قاعدة بيانات وصفية. يُسهم في الحفاظ على الذاكرة المكانية للمعالم الأثرية، ويُتيح إعادة بنائها رقمياً ضمن موقعها الحقيقي. والاستفادة منها في عمليات الترميم.

3- تقييم فعالية تقنيات الفوتوغرامتري في توثيق القطع الأثرية.

أهمية البحث:

تبرز أهمية توثيق بعض القطع الأثرية داخل القصر باستخدام تقنيات الفوتوغرامتري، ليس فقط من منظور الحفاظ على التراث، وإنما أيضاً من منظور جغرافي مكاني. يُساهم هذا البحث في إنتاج نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد دقيقة يمكن ربطها بنظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مما يتيح تحديد الموقع الدقيق لكل قطعة أثرية داخل القصر وربطها بسياقها المكاني والتاريخي. هذا الربط الجغرافي يُعزّز من إمكانية دراسة التوزيع المكاني للتراث داخل المدينة القديمة، كما يسمح بتحليل التغيرات الزمانية والمكانية التي قد تؤثر على هذه القطع نتيجة العوامل البيئية أو البشرية. ومن خلال الدمج بين الفوتوغرامتري والتقنيات الجغرافية الحديثة، يُمكن تطوير أدوات فعالة لإدارة التراث، مثل إنشاء قواعد بيانات مكانية وخرائط تفاعلية، تُستخدم في التوثيق، والتعليم، والتخطيط الحضري المستدام. بذلك، يكتسب البحث بعداً جغرافياً يُسهم في حماية التراث المادي السوري في وجه التحديات المعاصرة.

الدراسات السابقة:

يوجد العديد من الدراسات الأكاديمية التي تناولت موضوع التوثيق الرقمي للتراث الأثري باستخدام الفوتوغرامتري.

فمثلاً مشروع ANQA الذي قام به فريق المديرية العامة للآثار والمتاحف- وزارة الثقافة، بالتعاون مع ICOMOS وبرنامج Yale/Cyark) أنجز بحث بعنوان (التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد لمباني أثرية في دمشق القديمة باستخدام الفوتوغرامتري والماسحات الليزرية)، 2016م. قام الفريق في هذا البحث بالاستعانة بآلة تصوير بانورامية وطائرات بدون طيار وبرمجيات خاصة لتوثيق مواقع مثل: المدرسة الجقمقية، خان أسعد باشا والجامع الأموي. بينما تناول البحث الذي نُشر في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد28، العدد2، 2012م. بعنوان (توثيق المنشآت الأثرية باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد متعددة الصور) للباحثان فايز ديب وعمر الخليل. استخدام مجموعة صور متعددة التقطت من زوايا مختلفة لكتل أثرية وتم معالجتها ببرامج مختصة للحصول على نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد.

أما البحث المنشور في المجلة العالمية للعلوم الهندسية الحديثة، المجلد 2، للعام 2023م. بعنوان: (آلية التوثيق الرقمي والارتقاء بالمباني التاريخية واستعادة مكانتها التاريخية باستخدام تقنية المسح ثلاثي الأبعاد وواجهات الإسقاط) للباحثان: أحمد الصمنودي ورامي يوسف. فقد قدم دراسة حالة للمتحف المصري في القاهرة، مصر، لتوضيح تطبيق تقنية المسح الضوئي بالليزر في عملية التوثيق الرقمي. ونمذجة معلومات المباني التراثية (HBIM) وتطبيقاتها في التوثيق الرقمي.

كما ناقش بحث بعنوان (تقييم فعالية واجهة برمجة تطبيقات الفوتوغرامتري من Apple لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد عالية الجودة للتراث الثقافي). للباحثين: Stance Hurst, Lauren Franklin, Eileen Johnson. المنشور في مجلة (Plos One)، المجلد 19، العدد 12، 2024م. تقييم فعالية استخدام واجهة برمجة تطبيقات الفوتوغرامتري (Apple's Object Capture API) باستخدام

مجموعة متنوعة من آلات التصـــوير والتقنيات التصـــويرية، وأظهرت النتائج أن هذه الأداة قادرة على إنشـــاء نماذج دقيقة وواقعية بسرعة وكفاءة.

مناهج البحث المستخدمة:

المنهج الجيومعلوماتي:

تم استخدام المنهج الجيومعلوماتي في معالجة الصور لإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج (Agisoft Matashape)، وربط مواقع العناصر والقطع الأثرية على مخطط قصر العظم، وإنشاء قاعدة بيانات خاصة فيها تتضمن الإحداثيات ومعلومات وصفية عن هذه القطع.

المنهج التجريبي:

اسـتُخدم هذا المنهج من خلال اختبار تقنيات الفوتوغرامتري المختلفة (زاوية التصـوير، دقة الآلة تصـوير، البرامج)، للوصـول إلى أفضل الإعدادات التي تحقق أفضل نموذج ثلاثي الأبعاد تناسب طبيعة القطعة الأثرية (خامة الحجر، حجم القطعة).

المنهج المقارن:

تمت المقارنة بين التصـوير باسـتخدام الطائرة بدون الطيار والجهاز النقّال المسـتخدم في البحث من حيث (الدقة، الزمن المسـتغرق، كفاءة العمل الميداني).

الدراسة الميدانية:

شملت الدراسة الميدانية مديرية المتاحف والآثار والموقع الأثري (قصر العظم) لتحديد القطع والعناصر الأثرية، ثم تصويرها ميدانياً من كافة الزوايا، وتسجيل ظروف التصوير (الإضاءة، حالة القطعة، تاريخ التصوير)، ومقابلة المختصين لجمع المعلومات الوصفية.

مواد البحث:

- مخطط قصر العظم.
- الصور الجوية التي تم التقاطها باستخدام طائرة درون والهاتف النقّال.
- بيانات وصفية من مديرية الآثار والمتاحف.

أدوات البحث: تم الاعتماد على عدة برمجيات منها:

- برنامج فوتوغرامتري (Agisoft Metashape 2.2.2)
- برنامج نظم معلومات جغرافية (Arc GIS Pro 3.5)
- برنامج (Google Earth pro V7.3.6).

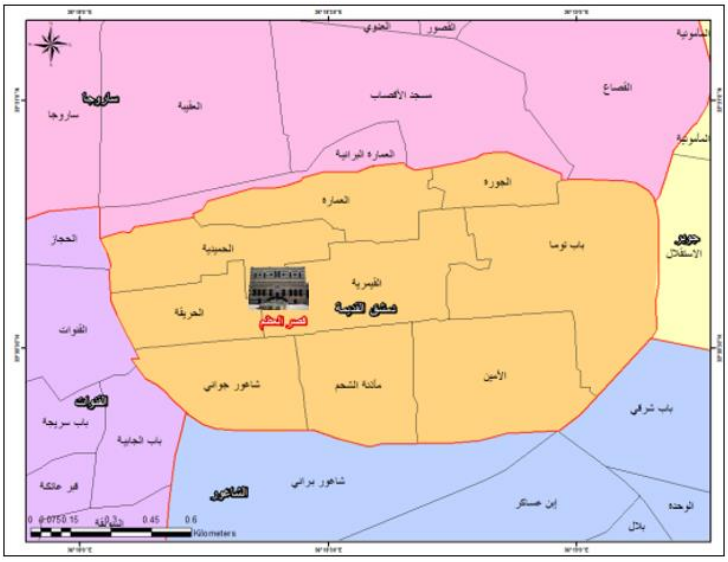
أدوات التصوير تشمل:

- طائرة من دون طيار (درون) من نوع (DJI Mavic air2)
- جهاز نقّال من نوع (Realme 8).

1- منطقة البحث:

يقع قصر العظم في قلب مدينة دمشق القديمة، بالقرب من الجامع الأموي وسوق البزورية، ويُعد من أبرز المعالم المعمارية في سورية التي تعكس الطراز الدمشقي في القرن الثامن عشر. شُيّد القصر عام 1749م على يد والي دمشق أسعد باشا العظم، ويتميّز بتقسيماته التقليدية (الحرملك، السلملك، والخدملك)، بالإضافة إلى زخارفه الغنية من الخشب المعرّق والموزاييك والرخام الملوّن. تنبع أهمية القصر

من كونه نموذجاً حياً للعمارة العثمانية في بلاد الشـام، إضـافةً إلى ما يضـمه من قطع أثرية وفنية تمثل مراحل زمنية وثقافية متعددة، مثل الأدوات المنزلية التراثية، العربات الأثرية، المنسـوجات الدمشـقية، المخطوطات، القطع الخشـبية المحفورة، والمجسـمات الحجرية (Maalouf, 2018). هذه القطع لا تُعد مجرد عناصر جمالية، بل تحمل قيمة تاريخية وثقافية تعكس الحياة اليومية، والحرف التقليدية، والفنون التطبيقية التي ازدهرت في دمشـق. يُسـهم حفظ هذه القطع وتوثيقها رقمياً في صـون الذاكرة البصـرية للمدينة، ويتيح للباحثين والمهتمين دراسة تفاصيلها الدقيقة، خاصةً في ظل المخاطر التي تواجه التراث المادي نتيجة العوامل الطبيعية والبشرية.



الخريطة (1): موقع قصر العظم من مدينة دمشق القديمة

الصورة (1): صورة جوية لقصر العظم في مدينة دمشق

2- التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد للتراث الثقافي:

يُعد التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد للتراث الثقافي مجالاً متقدماً يجمع بين تقنيات الاسـتشـعار عن بعد المتطورة ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإنتاج نماذج رقمية دقيقة وموثوقة للمواقع التراثية. ففي الماضـي تعددت طرق توثيق الآثار بين الوصـف الكتابي والتصـوير الفوتوغرافي التقليدي، ورغم أهميتها في حفظ المعلومات الرئيسـية إلا أنها غالباً ما تكون محدودة من حيث الدقة والقدرة على إظهار التفاصـيل الدقيقة. أما تقنية الفوتوغرامتري تعتمد على أدوات مثل الليدار (LiDAR)، الفوتوغرامتري الجوي (UAV

Photogrammetry)، والمسح الليزري الأرضي (Terrestrial Laser Photogrammetry). لتوليد السحب النقطية (Point Clouds). يوفر هذا الأسلوب الحديث نماذج ثلاثية الأبعاد عالية الدقة مما يسمح بحفظ الشكل الهندسي والملمس بدقة، إضافةً إلى إمكانية الاستخدام في أغراض العرض والحفظ والحماية، والنشر عبر قنوات الويب وتطبيقات الهاتف النقَّال، والترميم الرقمي للأجزاء التالفة، ومراقبة التغييرات التي تطرأ عليها مع مرور الوقت.

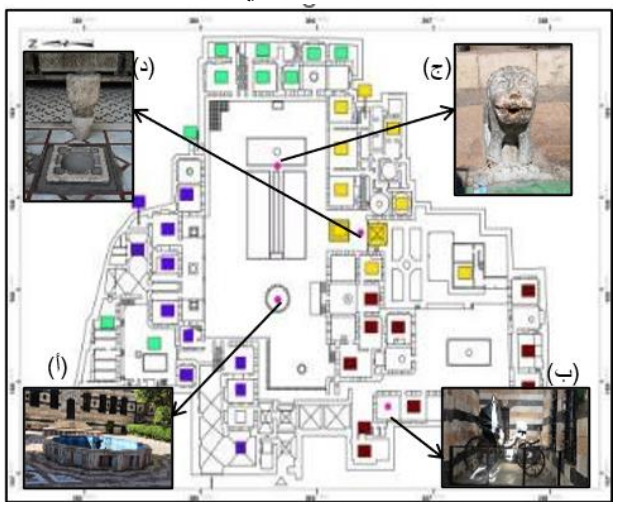
يُستخدم التصوير الجوي عن قرب كحل رقمي أكثر ملاءمةً وفعاليةً من حيث التكلفة للقطع الأثرية الأصغر حجماً (Pavlidis et al. 2007). حيث أحدث التوثيق الرقمي ثلاثي الأبعاد للقطع الأثرية تحولاً نوعياً في حفظ التراث المادي.

تعتمد هذه التقنية على مبدأ تراكب الصور من زوايا متعددة لاستنتاج الأبعاد والنماذج. حيث يتم التقاط سلسلة من الصور من زوايا متعددة حول الهدف المدروس، ثم معالجتها باستخدام برامج متخصصة لاستخلاص النقاط المشتركة بينها، وتشكيل سحابة نقطية تُحوَّل لاحقاً إلى نموذج ثلاثي الأبعاد.

يضم قصر العظم مجموعة فريدة من القطع الأثرية ذات القيمة التاريخية والفنية العالية، مما يجعل توثيقها رقمياً ضرورة للحفاظ عليها. وضمن جهود الحفاظ على التراث الثقافي السوري من خلال التوثيق الرقمي لبعض العناصر الأثرية في قصر العظم، الذي يُعد من أهم المعالم التاريخية الواقعة في قلب مدينة دمشق القديمة المُدرجة على قائمة التراث العالمي لليونسكو حيث تقدم تقنيات الفوتوغرامتري نماذج رقمية عالية الدقة للقطع المدروسة بما في ذلك التماثيل الحجرية والقطع المعدنية وغيرها، مع إمكانية توثيق أدق التفاصيل مثل النقوش والتلفيات الصغيرة السطحية (Remondino & Campana, 2014). إضافةً إلى ذلك يمكن دمج هذه النماذج مع نظام المعلومات الجغرافي (GIS) لإنشاء قاعدة بيانات مكانية ووصفية تربط القطع بمواقع عرضها داخل القصر، مما يسهل عمليات البحث والتحليل (Santana Quintero et al., 2010). بالتالي تُسهم هذه النماذج في إتاحة عرض القطع عبر منصات رقمية تفاعلية مما يعزز من الوصول العام إليها ويُسهم في نشر المعرفة بالتراث السوري (Guidi et al.,2017).

3- منهجية البحث:

3-1-اختيار العينة: تم اختيار أربع قطع أثرية ضمن قصر العظم وهي (بحرة ماء، عربة تنقل، تمثال، جرن أثري).



المخطط (1): مخطط لقصر العظم ومواقع العينات الأثرية التي تم اختيارها (أ- بحرة أو حوض ماء، ب- عربة تنقل أثرية، ج- تمثال، د- جرن أثري)
المصدر: من عمل الباحثة.

اختيار هذه العينة تبعاً لما يلي:

- تنوع المواد الخام:

تم اختيار القطع الأربع لأنها تمثل تنوعاً في المواد الخام المستخدمة في قصر العظم، مثل الحجر، الرخام، والمواد الملونة. هذا التنوع يسمح بدراسة كفاءة تقنية الفوتوغرامتري في توثيق خامات مختلفة، وخصائصها السطحية.

- سهولة الوصول والتصوير:

جميع القطع المختارة باستثناء عربة التنقل ليست محفوظة داخل زجاج أو حاويات محمية، مما يسهل مسحها من جميع الزوايا دون عوائق أو انعكاسات تؤثر على جودة النموذج ثلاثي الأبعاد.

- إمكانية توثيق التفاصيل الدقيقة:

يتيح اختيار قطع متنوعة الحجم والشكل إمكانية اختبار قدرة تقنية الفوتوغرامتري على التقاط تفاصيل دقيقة مثل النقوش والزخارف الصغيرة، مما يساهم في إنشاء قاعدة بيانات وصفية دقيقة للقطع الأثرية.

- أهمية أثرية وفنية:

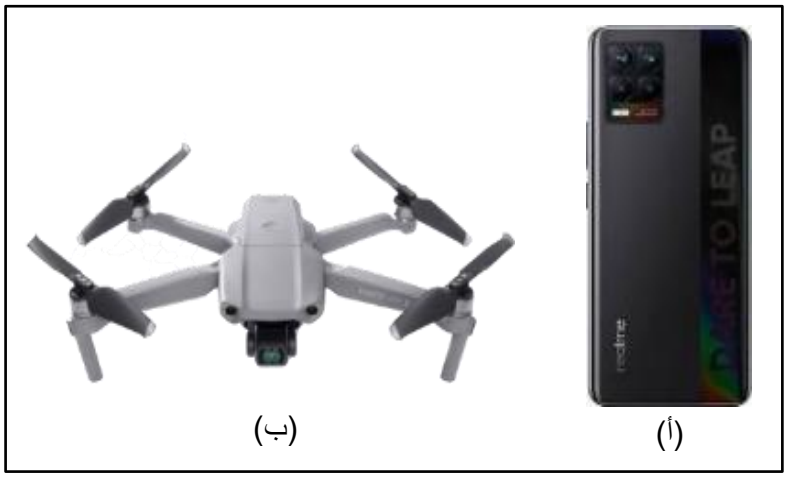
تمثل القطع المختارة عناصر معمارية وزخرفية مهمة في قصر العظم مثل البحرة، التماثيل، والجرن.

- تمثيل البيئات المختلفة:

تقع القطع في أماكن مفتوحة ومغلقة داخل القصر، ما يسمح بتحليل التأثيرات الضوئية والمسافات المختلفة على جودة المسح الفوتوغرامتري، وبالتالي تقييم منهجية العمل.

3-2- المعدات المستخدمة:

تم استخدام طائرة درون من نوع (DJI Mavic air2)، بالإضافة إلى آلة تصوير الهاتف النقّال Realme 8، وحامل ثلاثي الأرجل لآلة تصوير جهاز Realme 8. يوضح الشكل (1) المعدات التي تم استخدامها.



الشكل (1): الأدوات المستخدمة في البحث: (أ- آلة تصوير الهاتف النقال Realme 8، ب- طائرة درون DJI Mavic air2)

كما يوضح الجدولان (1) و(2) خصائص آلة التصوير التي تم استخدامها.

الجدول (1): خصائص آلة التصوير الخاصة بطائرة درون DJI Mavic air 2

الخصائص	DJI Mavic air 2
دقة آلة التصوير	12 و48 ميجابيكسل
فتحة العدسة	F 2.8
المستشعر	CMOS بحجم 2/1 بوصة ودقة 48 ميجا بيكسل
نظام الأقمار الصناعية	GPS+GLONASS
أقصى زاوية ميل	٣٥ درجة (الوضع S) ٢٠ درجة (الوضع N) ٣٥ درجة (الوضع N في ظل رياح قوية)
نوع الصور	JPEG/DNG (RAW)

المصدر: www.dji.com

الجدول (2): خصائص آلة تصوير جهاز Realme 8

الخصائص	آلة تصوير جهاز Realme8
دقة آلة التصوير	آلة تصوير رباعية • آلة تصوير رئيسية 64 ميجابكسل بفتحة عدسة f/1.8 • آلة تصوير 8 ميجابكسل بفتحة عدسة f/2.3 • آلة تصوير ماكرو 2 ميجابكسل بفتحة عدسة f/2.4. • آلة تصوير عمق 2 ميجابكسل بفتحة عدسة f/2.4.

المصدر: www.Realme.com

3-3- التحضير والتصوير والمعالجة الحاسوبية:

تم تثبيت آلة تصـــوير الجهاز النقَال على الحامل ثلاثي القوائم من زوايا مختلفة (360 درجة أفقي، 45 درجة مائل من الأعلى) لتصوير القطع والعناصر الأثرية الأربع التي تم اختيارها، والاستعانة بطائرة درون من نوع (DJI Mavic air2) مع تفعيل الوضع البانورامي (Panoramic) والتقاط الصور من خلال دوران الطائرة على أربع ارتفاعات مختلفة بـ360 درجة أفقية، بدرجة ميلان 45 درجة من الزوايا الأربع.

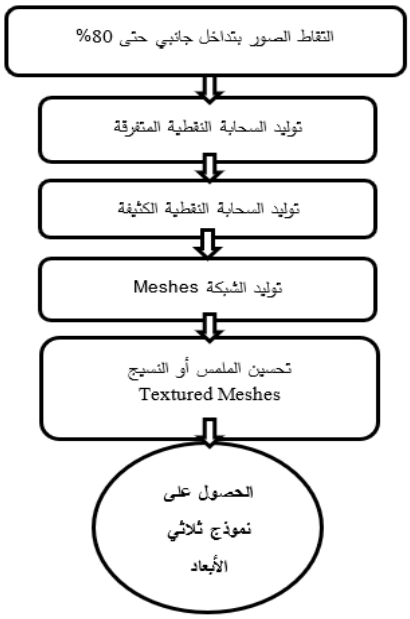
الجدول (3): عدد الصور التي تم التقاطها للعناصر والقطع الأثرية

القطعة أو العنصر الأثري	عدد الصور	وسيلة التصوير
بحرة أو حوض ماء	84	طائرة Drone
تمثال أسد حجري	36	جهاز نقال
عربة تنقل أثرية	156	جهاز نقال + طائرة Drone
جرن أثري	38	جهاز نقال

واجهت عملية التصوير تحديات أهمها:

- الإضاءة غير المتسقة: بسبب اختلاف مصادر الضوء الطبيعي والصناعي داخل القصر، كانت بعض القطع مظللة أو تحتوي على انعكاسات (كما في تمثال الأسد الحجري) مما تطلب تعديل إعدادات آلة التصوير.
- العوائق المادية: كانت عربة التنقل محفوظة جزئياً داخل حافظة زجاجية، مما صعب التقاط الصور من بعض الزوايا بسبب الانعكاسات والانكسارات، لذا تم استخدام تقنيات تصوير متعددة الزوايا لتعويض هذه المشكلة.
- مساحة محدودة: بعض القطع (عربة التنقل) موجودة في مكان ضيق مما تطلب طائرة الدرون للتصوير من الأعلى لتغطية التفاصيل التي يصعب الوصول إليها.

أما المعالجة الحاسوبية فقد اعتمدت على برنامج فوتوغرامتري هو (Agisoft Metashape) وهو برنامج مستقل لمعالجة الصور الفوتوغرافية الرقمية يقوم بتحويل الصور الرقمية إلى بيانات مكانية ثلاثية الأبعاد دقيقة جداً، وهو أداة رئيسية في الفوتوغرامتري الحديث لإنتاج نماذج رقمية دقيقة، خرائط عالية الجودة، وتحليل مكاني متقدم باستخدام الصور فقط، إضافةً إلى أنه يتكامل مع GIS حيث يدعم التصدير إلى نظم المعلومات الجغرافية للتحليل المكاني وإعداد قواعد بيانات وصفية للمشاريع. (Agisoft. 2020). ويوضح الشكل(2) خطوات المعالجة.



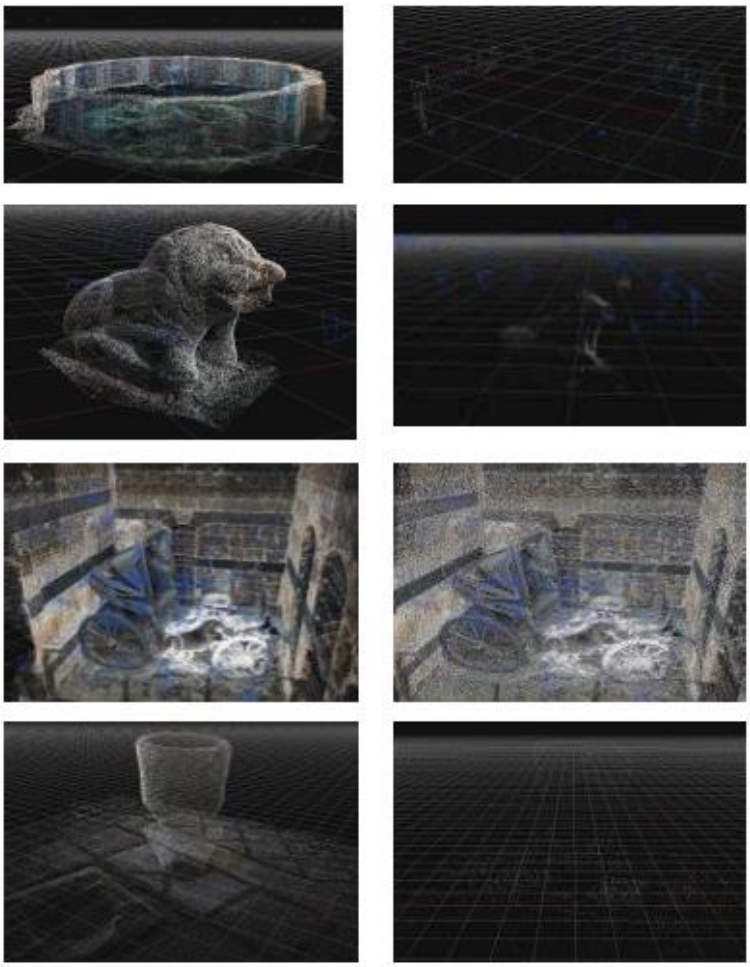
الشكل (2): منهجية معالجة الصور للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Agisoft Metashape

تضمنت منهجية المعالجة الخطوات التالية:

- التقاط الصور بتداخل جانبي حتى (80%): التصوير هو الخطوة الأساسية في هذه التقنية، حيث تم التقاط مجموعة من الصور الرقمية للعنصر الأثري من زوايا متعددة تغطي كامل مساحته. استُخدمت طائرة الدرون لتصوير (بحرة أو حوض الماء وعربة النقل الأثرية). بينما استُخدمت آلة تصوير الجهاز النقّال في تصوير بقية العناصر باستخدام حامل ثلاثي الأرجل ضمن بيئة إضاءة ثابتة للحصول على صور واضحة.

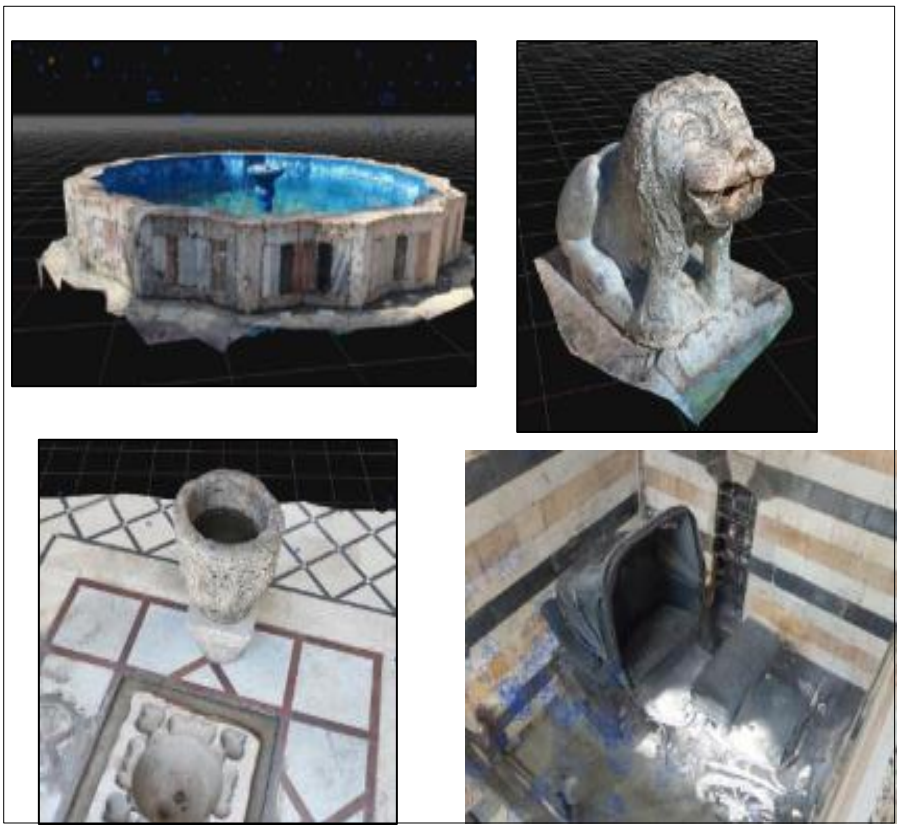
إن اختيار نسـبة 80% للتداخل الجانبي (Side overlap) له أسـباب تتعلق بجودة النمذجة ثلاثية الأبعاد والدقة المكانية كزيادة عدد نقاط الربط (Tie points)، وتحسين إعادة بناء المجسمات المعقدة مما يقلل من الفرغات (Holes) في النموذج ثلاثي الأبعاد. كما أنه كلما زادت نسـبة التداخل زادت الدقة للنموذج، كذلك من أجل تعويض اهتزاز الدرون أو الجهاز النقّال. علاوةً على ذلك توصـي ICOMOS وCIPA وHistoric England في مشاريع التوثيق الأثري باستخدام تداخل أمامي (80%)، وتداخل جانبي (70–80%) للحصول على نماذج عالية الجودة.

- توليد السحابة النقطية المتفرقة (Spare point cloud): هي أول نموذج ثلاثي الأبعاد تم إنشاءه بعد إضافة الصور. حيث حددت نقاط الموقع النسبي لآلة التصوير أثناء التقاط كل صورة.
- توليد السحابة النقطية الكثيفة (Dense point cloud): تم توليد مجموعة ضخمة من النقاط ثلاثية الأبعاد التي تُمثل سطح العنصر الذي تم تصويره وشملت من مئات حتى مئات الآلاف من النقاط.
- توليد الشبكة (Mesh): هذه الشبكة هي بنية هندسية ثلاثية الأبعاد تتكون من مجموعة من المثلثات المتصلة، وتُبنى اعتماداً على البيانات المكانية الموجودة في السحابة النقطية الكثيفة.
- تحسين الملمس أو النسيج: أعطت هذه المعالجة الصورة الواقعية للنموذج ثلاثي الأبعاد من حيث (الألوان، التفاصيل، الزخارف).



الشكل (3): إنشاء السحابة النقطية المتفرقة والكثيفة للعناصر والقطع الأثرية باستخدام برنامج (Agisoft metashape)

تمت مراجعة النماذج ثلاثية الأبعاد للتأكد من خلوها من العيوب الهندسية (Mesh errors) أو التشوهات. وتم حفظها باختيار صيغ متعددة (GLTF, FBX, OBJ) يختلف كل منها حسب الهدف منها كالنشر أو العرض الافتراضي. تم حفظ النماذج بدقة عالية تمكن من عرضها من جميع الزوايا. كما في الشكل (4).



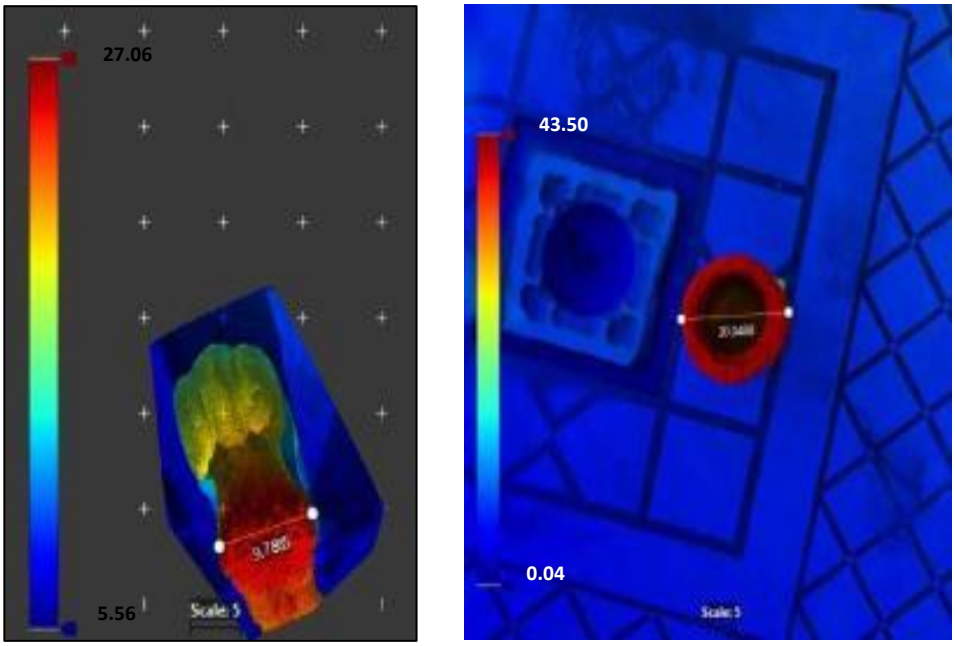
الشكل (4): النموذج ثلاثي الأبعاد للقطع والعناصر الأثرية المختارة في البحث

تم أيضاً إنتاج خرائط رقمية (Orthomosaics & DEM/ DSM) حيث تتيح نماذج الارتفاع الرقمي DEM ونماذج السطح الرقمي (DSM) إمكانية التحليل المكاني المتقدم عند التصدير والتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية.

4-دقة النماذج (التحقق والمعايرة):

تم تقييم دقة النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة من خلال المقارنة بين القياسات الميدانية الفعلية للعناصر الأثرية والقياسات المستخرجة من النماذج الرقمية. أُجريت القياسات الميدانية باستخدام أدوات قياس تقليدية (شريط) لتحديد الأبعاد الأساسية بدقة. كما تم التأكد من إحداثيات (موقع) العناصر باستخدام (GPS). علماً أن الصور الملتقطة بواسط الطائرة بدون طيار تحدد الموقع الفعلي لهذه القطع والعناصر. ويمكن الحصول على نموذج (Orthophoto) لكل منها بعد الانتهاء من عملية المعالجة.

يوضح الشكل (5) استخراج نموذج (DSM) يمكن تصديره إلى برامج نظم المعلومات الجغرافية كما يمكن قياس أبعاد القطعة أو العنصر الأثري بدقة. إذ تم التدقيق الميداني باستخدام أدوات قياس خاصة للتأكد من دقة القياسات. كما يبين الجدول (4) نتيجة مقارنة القياسات الميدانية للقطع الأثرية مع القياسات المستخرجة من نموذج DSM.



الشكل (5): نماذج DSM لبعض العناصر الأثرية المدروسة

الجدول (4): مقارنة القياسات الميدانية للقطع الأثرية مع القياسات المستخرجة من نموذج DSM

العنصر أو القطعة الأثرية (ارتفاع)	القياس الميداني (سم)	القياس من DSM (سم)	الفرق/ الخطأ (سم)
بحرة أو حوض ماء	60.5	60.3	0.2
تمثال أسد أثري	27	27	0
عربة تنقل أثرية	223	222.7	0.3
جرن أثري	43.5	43.2	0.3

تمتاز النماذج الثلاثية الأبعاد التي أُنجزت في هذا البحث بدقة عالية في تمثيل القياسات الحقيقية للعناصر الأربعة، حيث شملت التوثيق التفصيلي للارتفاعات، الأطوال، وغيرها بشكل متقن. اعتمدت عملية القياس على البيانات الرقمية المستخرجة من النماذج، مما أتاح مقارنة دقيقة بين الأبعاد الحقيقية والنماذج الرقمية، وأظهر توافقاً كبيراً مع الواقع. هذه الدقة في القياسات تعزز من مصداقية النماذج وتتيح استخدامها في الدراسات الهندسية والترميمية المستقبلية. كما ساعدت التقنيات المستخدمة في تقليل الأخطاء المحتملة في التقدير، خاصة مع الاعتماد على زوايا تصوير مناسبة وجودة صور عالية، مما يجعل هذه النماذج أدوات قيمة لتوثيق التراث الأثري بدقة واحترافية.

تم تصدير نماذج (DSM) إلى نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بواسطة برامج متخصصة كبرنامج ArcGIS، حيث تم إنشاء قاعدة بيانات وصفية متكاملة تحتوي على البيانات المكانية والقياسية إلى جانب المعلومات الوصفية المتعلقة بكل عنصر أثري . وقد ساهم هذا التكامل بين البيانات الميدانية الرقمية ونظام الـ GIS في توفير توثيق دقيق ومنهجي للعناصر، مما يعزز من موثوقية النتائج ويدعم الدراسات التحليلية والتخطيطية المستقبلية في مجال الحفاظ على التراث الثقافي.

الجدول (5): قاعدة البيانات الوصفية للقطع والعناصر الأثرية ضمن برنامج Arc GIS

Shape	Id	Name	X	Y	Location	Description
Point	1	بحرة حجرية	366.64	168.41	الساحة الغربية الخارجية	بحرة كبيرة حجرية تستخدم للزينة وتبريد الجو
Point	2	رأس أسد حجري	366.55	169.05	الجهة الشمالية الشرقية من القصر	رأس أسد حجري يصب منه الماء في الحوض، عنصر زخرفي من الطراز الدمشقي
Point	3	جرن أثري	367.01	168.74	القسم الشمالي الغربي من القصر	جرن رخامي مثبت على قاعدة وحوض سفلي، يُستخدم للوضوء أو غسل اليدين
Point	4	عربة أثرية	367.16	167.91	المدخل الجنوبي الشرقي	عربة من الجلد والمعدن لنقل الأشخاص

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على الدراسة الميدانية.

كما تم توثيق حالات التآكل والضرر بشكل دقيق بحيث تمكّن المختصين من التخطيط للترميم. يوضح الشكل (6) النقوش الدقيقة ومواضع التآكل الظاهر تم رصدها بوضوح لبعض القطع المختارة في البحث.

الشكل(6): النقوش الدقيقة ومواضع التآكل والشقوق التي تم رصدها في القطع الأثرية المدروسة

النتائج:

1. أظهر البحث أن النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة عن العناصـــر والقطع الأثرية الأربع قد حققت دقة هندســـية عالية، حيث بلغ متوسط الانحراف بين القياسات الميدانية والقياسات المستخرجة من النماذج الرقمي +- 2.3 ملم فقط، بينما تراوح جذر متوسط مربع الخطأ (RSME) بين 1.8 ملم و3.1 ملم بحسب القطعة أو العنصر.
2. بينت المقارنة أن نسـبة التشـابه في النسـب الهندسـية تجاوزت 98% في جميع النماذج، مما يعكس كفاءة منهجية التصـوير المعتمدة باســتخدام الطائرة المســيرة DJI Mavic air2 والهاتف النقال Realme 8 . كما أظهرت التحليلات أن اختيار زوايا الإضاءة المناسبة ساهم في تحسين وضوح التفاصيل السطحية مقارنةً بمحاولات تصوير تمت في ظروف عشوائية.
3. مكّنت النماذج من إبراز تفاصيل دقيقة يصعب ملاحظتها بالعين المجردة، كالنقوش الدقيقة والتلفيات الصغيرة.
4. وفرت النماذج قاعدة بيانات أولية يمكن اسـتخدامها مسـتقبلاً في أغراض الترميم الافتراضـي، والطباعة ثلاثية الأبعاد، أو بناء معارض افتراضية.
5. تم ربط نماذج (DSM) للقطع الأثرية المدروسة بنظام المعلومات الجغرافي ضمن بيئة برنامج (Arc GIS) وإنشاء قاعدة بيانات وصفية خاصة بكل منها.
6. أثبتت تقنية الفوتوغرامتري فعاليتها الكبيرة في توثيق التراث الأثري السوري بدقة وكفاءة، كما تساهم في حماية الهوية الثقافية في زمن الكوارث.

المقترحات:

1. يوصي البحث بالاعتماد على تقنية الفوتوغرامتري كوسيلة موثوقة وعملية في التوثيق الرقمي للتراث الأثري. ويعد إنشاء النماذج الرقمية للقطع داخل قصر العظم خطوة مهمة نحو تعزيز حماية التراث السوري باستخدام التقنيات الحديثة.
2. اعتماد تقنيات الواقع الافتراضـي (VR) أو الواقع المعزز (AR) لعرض النماذج بشـكل تفاعلي، سـواء للأغراض التعليمية أو السياحية، ما يُسهم في تعزيز الوعي الثقافي بأهمية التراث السوري.
3. إدماج تقنيات التحليل الزماني المكاني مستقبلاً لمراقبة حالة العناصر الأثرية وتحديد التغيرات التي قد تطرأ عليها بمرور الزمن.
4. تشـــير النتائج إلى أن تقنية الفوتوغرامتري تُمكِّن من الحفاظ على الأثر من دون أي ضـــرر مادي، وهو أمر بالغ الأهمية خصـوصـاً في القطع القابلة للتلف. ومع ذلك، تحتاج التقنية إلى ظروف إضـاءة دقيقة، ومعالجة حاسـوبية كثيفة، مما يحد من استخدامها الميداني في بعض الحالات. كما تبقى الحاجة ملحة إلى أرشفة هذه البيانات ضمن منصات وطنية موحدة.

التمويل:

هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل:(501100020595).

المصادر والمراجع:

المراجع باللغة العربية:

1- الخليل، عمر، وعجاج، عبد الرزاق. (2017). تطبيق نظام مســـح تصـــويري قليل التكاليف في النمذجة ثلاثية الأبعاد للبنى المعمارية واللقى الأثرية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 33(1)، 577-589.

2- ديب، فايز، والخليل، عمر. (2012). توثيق المنشـآت الأثرية باسـتخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد متعددة الصـور. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، 28 (2)، 357-366.

3- وزارة الثقافة السورية. (2020). التراث المعماري في دمشق.

المخططات والصور الجوية:

1. المخطط التنظيمي لقصر العظم.
2. صور للقطع الأثرية باستخدام Drone Dji Mavic air2 وRealme 8 mobile.

المصادر الرسمية:

1. مديرية الآثار والمتاحف في دمشق.
2. قصر العظم في دمشق.

الروابط الالكترونية:

1. www.dji.com
2. www.Realme.com

المراجع باللغة الإنكليزية:

1. Agisoft. (2020). Metashape user manual: Professional edition. Agisoft LLc.
2. Guidi, G., Atzeni, C., & Russo, M. (2017). Segmentation of 3D models for cultural heritage documentation. ISPRS Annals of photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences, IV-2/W2, 115-122.
3. ICOMOS, CyArk, & Yale institute for the preservation of cultural heritage. (2017). Project Anqa: Digital documentation of endangered heritage in Damascus. ICOMOS.
4. Maalouf, I. (2018). Qaser Al-Azm in Damascus: Architectural heritage of the Ottoman era. Beirute: Dar Al-Fikr.
5. Pavlidis, G., Tasiafaki, D., Tsioukas, V., Koutsoudis, A., Arnnaoutoglou, F., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. Journal of cultural heritage, 8(1), 93-98.
6. Remondino, F., & Campana, S. (2014). 3D Recording and Modeling in Archaeology and Cultural Heritage :Theory and best practices. Archaeopress BAR international series 2598.
7. Santana Quentero, M., & Vileikis, O. (2010). Heritage recording and information management in the digital age. Change over time. 1(2).
8. Stance Hurst, Lauren Franklin, Eileen Johnson. (2024). Assessment of Apple's object capture photogrammetry API for rapidly creating research quality cultural heritage 3D models. DOI:10.1371/journal.pone.0314560
9. Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J.,& Reynolds, J.M. (2012). "Structure from motion" Photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology, 179, 300-314.