تطوير منهجية منخفضة التكاليف للنمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام التصوير الرقمي وأنظمة المعلومات الجغرافية

طالب الماجستير: مرشد علي– كلية الهندسة المدنية –جامعة حمص

المشرف الرئيسي: د. وسيم موسى المشرف المشارك: د. حنان درويش

الملخص

إن إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع يسمح بتوفير مخرجات مساحية موثوقة لأغراض تخطيط وتنفيذ الأعمال الهندسية، وبشكل خاص لأغراض الحفظ والتوثيق الرقمي لمواقع التراث الثقافي.

يقدم هذا البحث منهجية منخفضة التكاليف للنمذجة ثلاثية الأبعاد للمباني باستخدام التصوير الرقمي ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) وذلك بالاعتماد على تقنيات وبرمجيات مفتوحة المصدر وسهلة الاستخدام. إذ تم استخدام كاميرا هاتف نقال لاستحواذ الصور، والتي تم معالجتها وتوجيها بهدف إعادة الإنشاء الهندسي للمبنى باستخدام برنامج مفتوح المصدر (VisaulSFM). وللحصول على غمامات نقطية كثيفة، تم استخدام برنامج مفتوح المصدر (SURE) لإجراء المواءمة المكثفة للصور. وأخيراً تم إنتاج النموذج ثلاثي الأبعاد المماثل للواقع باستخدام برامج (CloudCompare, SketchUp). ونظراً لدور الـ(GIS) في إظهار البيانات الجغرافية والوصفية للنماذج

ثلاثية الأبعاد، تم تحقيق التكامل بين النمذجة القائمة على الصور والـــ(GIS) من خلال إدخال النماذج ضمن بيئة الـ(GIS) وتحديد البيانات الجغرافية والوصفية الخاصة بها.

تم تطبيق المنهجية المقترحة على حالتين دراســـيتين في ريف حماة بهدف إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع. كما تمّ تقييم دقة النتائج وإمكانية اســـتخدام هذه النماذج في تطبيقات الحفظ والتوثيق الرقمي للتراث الثقافي، فضلاً عن تحديد الموقع الجغرافي للمباني وإدخال السمات من خلال برنامج (ArcGIS).

كلمات مفتاحية: تكامل، النمذجة القائمة على الصور، نظام المعلومات الجغرافية، البنية انطلاقاً من الحركة – غمامات نقطية، الإرجاع الجغرافي.

Developing a Low –cost Methodology for 3D Modeling using Digital photogrammetry and GIS

Abstract

The production of photorealistic 3D models enables the provision of reliable surveying outputs for the planning and execution of

engineering works, particularly for the preservation and digital documentation of cultural heritage sites.

This paper presents a low-cost methodology for 3D modeling of buildings using digital photogrammetry and Geographic Information System (GIS), based on open-source and user-friendly technologies and software. A mobile phone camera was used to capture images, which were processed and oriented to achieve the geometric reconstruction of the building using the open-source software VisualSFM. To obtain dense point clouds, the open-source software SURE was utilized for the dense image matching. Finally, the photorealistic 3D model was produced using CloudCompare and SketchUp software. Given the role of GIS in displaying geographic and descriptive data for 3D models, the integration between image-based modeling and GIS is fulfilled by incorporating the models into the GIS environment and defining their geographic and descriptive data.

The proposed methodology was applied to two case studies in the Hama countryside with the aim of producing photorealistic 3D models. And then evaluating the accuracy of the results and the potential use of these models in the applications of digital preservation and documentation of cultural heritage. The geographic locations of the models were identified, and attributes were entered

using ArcGIS.Keywords: Integration, image-based Modeling, GIS, Structure-from-Motion (SFM), Point Clouds, Georeferencing.

1- مقدمة

تعد عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد أحد أهم المواضيع في تطبيقات المساحة لدورها في إنتاج نماذج تحاكي الواقع. إذ إنها توفر مختلف أنواع المخرجات المساحية التي تستخدم في مختلف التطبيقات والأعمال المساحية. كما أنها تساهم في زيادة دقة أعمال التخطيط عن طريق إنتاج نماذج دقيقة وواقعية للمنشآت والأراضي. وتمنح المهندسين تصوراً فعالاً عن المشاريع قبل القيام بأعمال التنفيذ، فضلاً عن أنّها تسهم في تطوير أعمال التصميم، وتسريعها وتخفيض التكاليف مقارنةً مع أعمال التصميم التقليدية.

إنّ أعمال الحفظ والتوثيق الرقمي لمواقع ومباني التراث الثقافي هي من أهم تطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد. إذ إنّ التراث الثقافي يمثل تاريخ الشعوب، وتطورها الحضاري ويعطى صورة عن الأنماط والطرق العمرانية السائدة. كما إنّ توثيق هذه المواقع يمكن أن يتيح المجال للباحثين في مجال الآثار الحصول على المعلومات الموثوقة بوقت وجهد قليل. إضافةً لما سبق، سيساهم ذلك في تنشيط الحركة السياحية وزيادة الاستثمار السياحي الذي يعتبر من أهم مصادر الاقتصاد الوطني.

تعد عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام الصور هي الطريقة الأكثر تكاملاً، اقتصاديةً ومرونةً واستخداماً على نطاق واسع. إذ تعد تقنيات المساحة التصويرية القريبة تقنيات نموذجية لإعادة الإنشاء الهندسي للمواقع والمباني، فضلاً عن أنها من أهم الطرق المستخدمة لتوفير بيانات هندسية موثوقة من الصور، وبشكل خاص من أجل استعادة نقاط السطوح الهندسية للمباني المعمارية [1]. وذلك من خلال نموذج رياضي يستخدم قياسات الصور ثنائية الأبعاد (2D) للحصول على سطح الكائن ثلاثي الأبعاد [2].

ويمكن أن نحصل على قياسات ثلاثية الأبعاد من صور منفردة أو متعددة عن طريق تطبيق الهندسة الإسقاطية [3]. قدمت دراسة مرجعية مكثفة لتقنية النمذجة باستخدام الصور في [4]. إذ تم علاج المشكلات الرئيسية والحلول المتوفرة للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد من صور أرضية. كما قدمت منهجيات لتقنيات إعادة الإنشاء ثلاثي الأبعاد باستخدام الصور من أجل قياس وإعادة الإنشاء التفصيلي للسطوح [5].

نظام المعلومات الجغرافية (GIS) يقوم بإنشاء وإدارة وتحليل ورسم الخرائط لجميع أنواع البيانات. كما يربط هذا النظام البيانات بالخريطة، وتدمج بيانات الموقع مع جميع أنواع المعلومات الوصفية. وهذا يوفر أساساً لرسم الخرائط والتحليل المستخدم في العلوم والتطبيقات الصناعية. كما يساعد الـ(GIS) المستخدمين على فهم الأنماط، العلاقات والسياق الجغرافي، إذ يتم تقسيم الواقع الحقيقي ونستطيع التعامل مع كل طبقة على حدا. ويساهم في تحسين الاتصال والكفاءة مما يعزز ويحسن صنع القرار [6]. ويقصد عادة بنمذجة البيانات في الـ(GIS) أي تمثيل البيانات باستخدام نموذج محدد يعبر عن العمليات التي تحدث في العالم بشكل رقمي، أي تلخيص الواقع وتوضيح كيف يبدو العالم في نماذج البيانات. في حين أن النمذجة المكانية تقدم نماذج توضح كيف يعمل العالم، وتقترح حلول للمشكلات التي نواجهها، فهي تقدم نموذج يحاكي العالم الحقيقي. تعتمد النمذجة المكانية على درجتي الوضوح المكاني والمؤقتة، إذ يتم من خلالهما تحديد التكلفة الاقتصادية لعملية النمذجة [7].

إنّ عملية تكامل الـ(GIS) مع المساحة التصويرية هي ذات أهمية كبيرة [8]. إذ تقوم أنظمة المعلومات الجغرافية بتنظيم البيانات الناتجة عن تقنيات المسح التصويري في قواعد بيانات مكانية ووصفية [9]، كما يلعب الـ(GIS) دور فعال في تطوير النمذجة والتسجيل الرقمي للتراث [10]، واتخاذ قرارات دقيقة لاستثمار الموارد بشكل أمثل [11]. كما يساعد بناء نموذج نظام المعلومات الجغرافية ثلاثي الأبعاد (3D GIS) في توفير معلومات الموقع الجغرافي للنماذج [12]. لذا تم القيام بدراسة تهدف إلى تشكيل نماذج في

برنامج (SketchUp) وإدخالها إلى برامج نُظُم المعلومات الجُغرافيّة [8]. في [9]، تم بناء قاعدة بيانات مكانية ودلالية للمواقع الأثرية ونمذجتها بالأبعاد الثلاثة اعتماداً على إمكانيات نظم التصميم بمعونة الحاسب ونظم المعلومات الجغرافية. وقدمت دراسة تهدف إلى استكشاف طريقة التصوير الفوتوغرافي ونظم المعلومات الجغرافية لتوثيق التراث الثقافي رقمياً [11]. كما اقترح في [12] استخدام نظام المعلومات الجغرافية ثلاثي الأبعاد (3D GIS) في تخطيط وتطوير المناظر الطبيعية المحيطة بالمباني الموثقة. تم تقديم دراسات عديدة عن مقارنة طرق التصوير الثلاثي الأبعاد لدعم التصور البصري في بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برامج (AutoCAD، SketchUp، ArcGIS) [13]. وأخيرا تم تقديم دراسة تهدف إلى بناء نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات التصوير الفوتوغرافي ورسم الخرائط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية [14].

2- أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذا البحث بشكل رئيسي من خلال مناقشة إمكانيات تطبيق طرق المساحة التصويرية الآلية منخفضة التكاليف في الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد تفصيلية ودقيقة للمباني، وذلك على شكل غمامات نقطية كثيفة من النقاط ثلاثية الأبعاد تسمح ببناء نماذج سطحية وصورية حقيقية. واقتراح منهجية تسمح لغير المختصين في المساحة التصويرية من الحصول على تطبيق عملي سهل الاستخدام وباستخدام برمجيات مفتوحة المصدر. وذلك مع إمكانية تصدير وتكامل النماذج الناتجة مع نظم المعلومات الجغرافية بهدف بناء قاعدة بيانات مكانية وإدخال البيانات الوصفية للموقع.

ويمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية:

- تطوير منهجية منخفضة التكاليف باستخدام مستشعرات منخفضة التكاليف للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد مماثلة للواقع بالاعتماد على برامج مفتوحة المصدر.

- تقييم دقة النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة، وتوضيح التكامل بين برامج المسح التصويري ونظم المعلومات الجغرافية.
- دراسة جدوى استخدام هذه النماذج في تطبيقات محددة مثل الحفظ الرقمي لمواقع التراث الثقافي

3- مواد وطرائق البحث

3-1 استحواذ البيانات

تتطلب إجراء البحث الحصول على نوعين من الصور:

-صور أرضية تم التقاطها باستخدام كاميرا هاتف نقال (Samsung Galaxy J2 2016) لموقعين، الأول قصر قرية خربة القصر ريف حماة، الشكل (1) والموقع الثاني بناء حجري قديم في نفس المنطقة، الشكل (2).

الشكل (1) قصر قرية خربة القصر.

الشكل (2) البناء الحجري القديم.

تم التقاط الصور بالاعتماد على طريقتي تصوير:

1- القواعد 3X3 (3x3rules):

تم تحديد قواعد هذه الطريقة من قبل (CIPA) وهي اللجنة الدولية للتصـــوير المعماري للتعامل مع التقنيات المتعلقة بالتصوير الفوتوغرافي من الكاميرات والتي ترتكز على ثلاث قواعد وهي [15]:

i. قواعد هندسية تشمل تحضير معطيات الضبط، تغطية تجسيمية، تغطية تجسيمية مفصلة.
ii. قواعد تصـويرية تشـمل مواصـفات آلة التصـوير، معايرة آلة التصـوير، التقاط الصور.
iii. قواعد تنظيمية تشمل الرسم، بيانات مساعدة، الأرشفة.

2- بانوراما في كل خطوة (one panorama each step):

يعبر التصـــوير البانورامي عن عملية التقاط الصـــور من زوايا عريضـــة بحيث تعطي الصورة الواحدة تغطية شاملة للموقع، ويتم التقاط الصور البانورامية في عدة مواقع، وعلى ارتفاعات مختلفة. ويجب التأكد من أنّ الأجزاء التي قد تكون محجوبة مرئية في ثلاث صور على الأقل، وضمان تداخل بين لقطات البانوراما حوالي (80%) ، والتأكد من توفر إضاءة موزعة بشكل جيد وتحقيق تباعد بين محطات التصوير كحد أقصى لحجم الخطوة يساوي (20%) من عرض السطح في الصورة السابقة. وكما يفضل إجراء معايرة للكاميرا المستخدمة، إن أمكن [16].

تم وضع خطة التصوير التالية:

$$S_{Map}=5*S_{Photo}$$

$$S_{Photo}= 1/250 \quad \leftarrow \quad S_{Map}=1/50$$

$$S_{Photo}=1/500 \quad \leftarrow \quad S_{Map}=1/100$$

حيث (S_{Map}): مقياس المخطط المطلوب

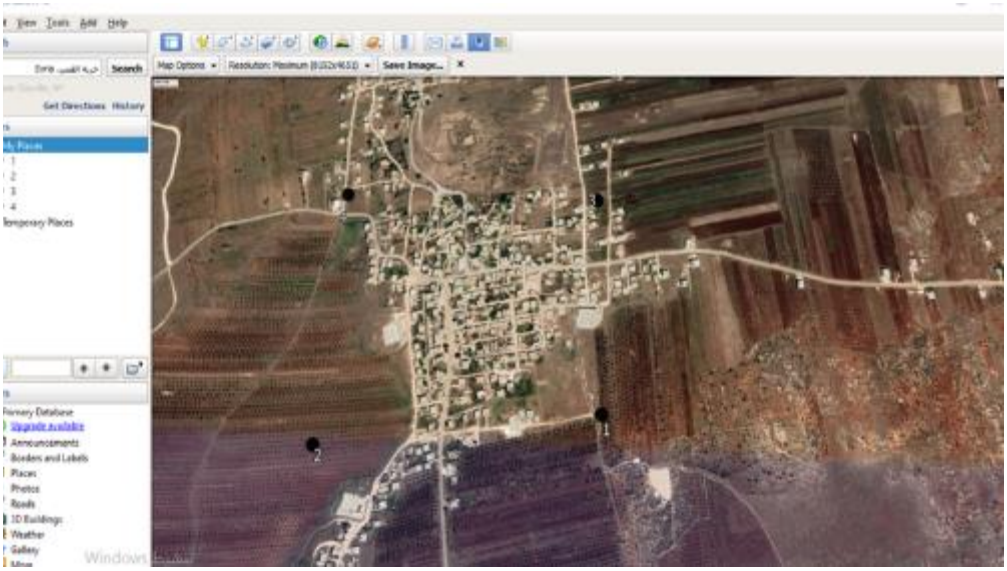
(S_{Photo}): مقياس الصورة

تم تحديد مسافة التراجع الأفقية عن الواجهة (D): $S_{Photo} =F/D$

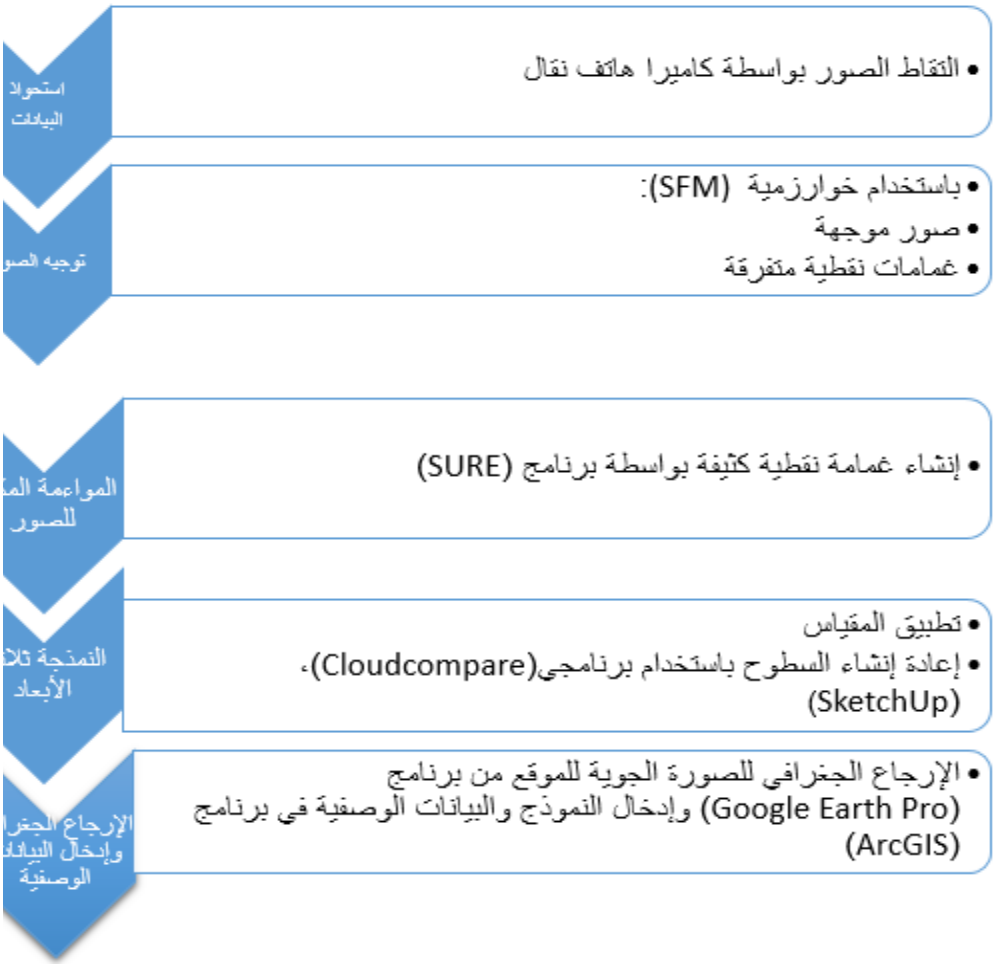
من مواصفات الكاميرا وخصائص الصور نجد (F=3.31mm) وبالتالي:

$D=0.827m, D=1.655m$

- صـورة فضـائية للمنطقة مأخوذة من برنامج (Google Earth Pro)، الشـكل (3).



الشكل (3) صورة فضائية للموقع المدروس، خربة القصر، حماه.



الشكل (4) المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة.

3-2 منهجية البحث

تعتمد منهجية البحث على التقاط الصور بواسطة كاميرا هاتف نقال، ثم توجيه الصور بخوارزمية (SFM) مفتوحة المصدر ثم إجراء مواءمة مكثفة للصور باستخدام برنامج مفتوح المصدر (SURE)، ثم النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام عدد من البرامج المفتوحة

المصدر (SketchUP،CloudCompare). كما تم الإرجاع الجغرافي وإدخال البيانات الوصفية باستخدام برامج (ArcGIS, Google Earth Pro)، كما هو موضح في المخطط التدفقي في الشكل (4).

3-3 البرامج المستخدمة

-برنامج (VisaulSFM) هو برنامج مفتوح المصدر يقوم بإعادة الإنشاء الهندسي، وتحديد عناصر التوجيه للكاميرات من خلال الصور الملتقطة للمبنى، وذلك باعتماد خوارزمية(SFM). تم تطوير وتصميم هذا البرنامج وتوفيره مجاناً من قبل الباحث الصيني (Changchang Wu) اعتماداً على خوارزمية (SFM) التي صممها (Snavely) [17].

- برنامج (SURE) هو حل برمجي يقوم بإعادة بناء تلقائية كاملة ثلاثية الأبعاد بالاعتماد على الصور وتوجيهاتها يسمح باشتقاق غمامات نقطية كثيفة من مجموعة معينة من الصور وتوجيهاتها فنحصل من خلاله على نقطة واحدة ثلاثية الأبعاد لكل بكسل [5].

- برنامج (CloudCompare)هو تطبيق مفتوح المصدر لإدارة ومقارنة الغمامات ثلاثية الأبعاد، ويعد من أفضل البرامج للتعامل مع الغمامات النقطية حيث يوفر الكثير من خيارات المعالجة.

- برنامج (SketchUP) هو برنامج رسم هندسي ثلاثي الأبعاد يوفر خيارات بسيطة في العمل بهدف إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية تحاكي الواقع، مع إمكانية نقل النماذج إلى بيئة (GIS) دون الحاجة لإمكانيات حاسوبية ضخمة تكمن أهمية استخدام برنامج (SketchUp) لدوره في إبراز التفاصيل، وتوفير خيارات عديدة في الإكساء وإمكانية نقل النماذج إلى بيئة (GIS).

-برنامج (Google Earth Pro) هو نموذج برمجي ثلاثي الأبعاد للأرض. يستخدم لاستكشاف جغرافية العالم، ويعرض صور الأقمار الصناعية ذات دقة متفاوتة للأرض. له استخدامات عديدة للبحث عن المدن والمناطق بالاسم، أو الإحداثيات، وتتبع تطور المناطق مع مرور الوقت، وقياس المسافات والمساحات.

- برنامج (ArcGIS) تم في هذا البحث استخدام برنامجي (ArcScene, ArcMap). تم استخدام برنامج (ArcMap) بهدف عرض البيانات المكانية وترقيمها وتحريرها والقيام بعمليات الإرجاع الجغرافي وإنشاء الخريطة الرقمية. أما برنامج (ArcScene) فتم من خلاله عرض النماذج ثلاثية الأبعاد وإدخال البيانات الوصفية لها.

4- النتائج والمناقشة

4-1 حالة دراسية 1: القصر

- توجيه الصور:

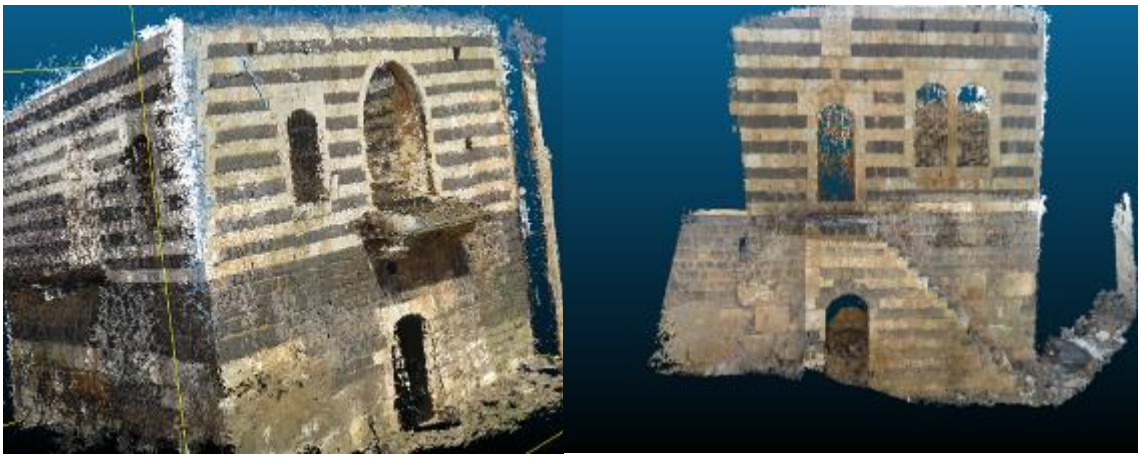
تم توجيه (160) صورة باستخدام برنامج (VisaulSFM) حيث يقوم البرنامج بحساب عناصر التوجيه الخارجي والداخلي وتشكيل غمامة نقطية متفرقة للقصر كما هو موضح في الشكلين (5)، (6).

الشكل (5) غمامة نقطية متفرقة للقصر مرحلة 1.

الشكل (6) غمامة نقطية لواجهة الدرج مرحلة 2.

-المواءمة المكثفة للصور:

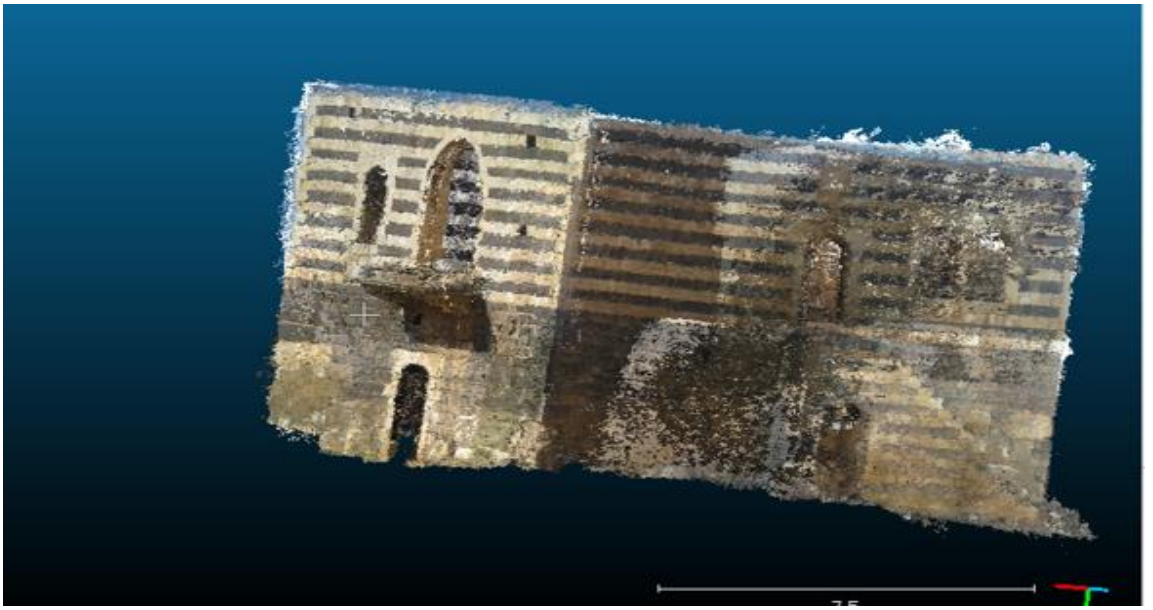
تتم عملية المواءمة المكثفة للصور باستخدام برنامج (SURE) للحصول على غمامات نقطية كثيفة الشكل (7).



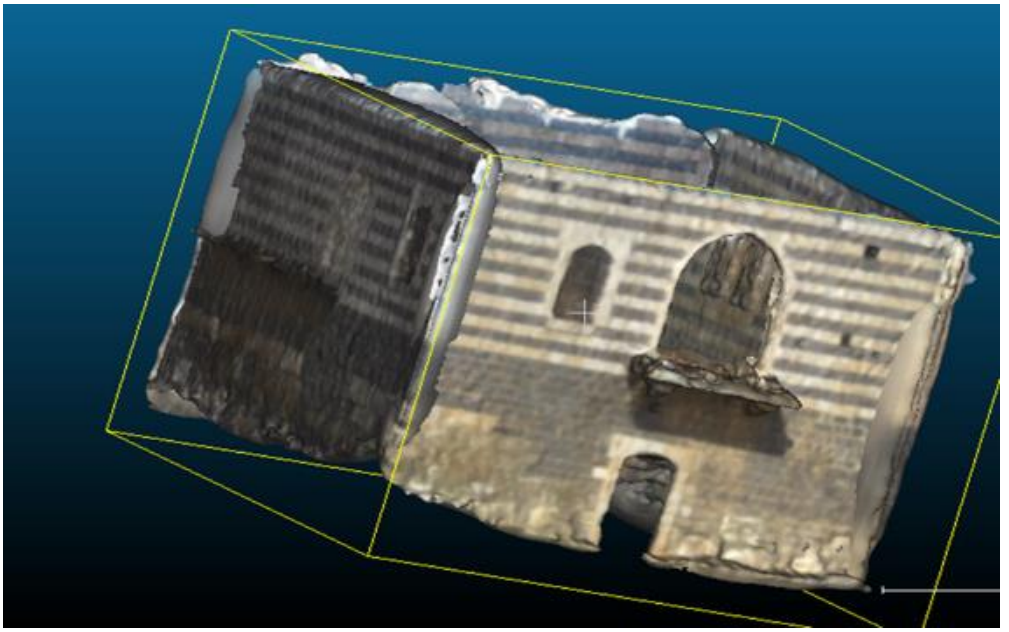
الشكل (7) الغمامة النقطية الكثيفة للقصر وواجهة الدرج.

-النمذجة ثلاثية الأبعاد:

1-تجرى عمليات معالجة للغمامات النقطية باستخدام برنامج (CloudCompare) تسجيل الواجهات، تصفية الضجيج في القياسات، إجراء عملية تطبيق المقياس للغمامات النقطية، الشكل (8). إنشاء سطوح من الغمامات النقطية، الشكل (9).



الشكل (8) الغمامة النقطية الكثيفة للقصر بعد القيام بعمليات المعالجة.



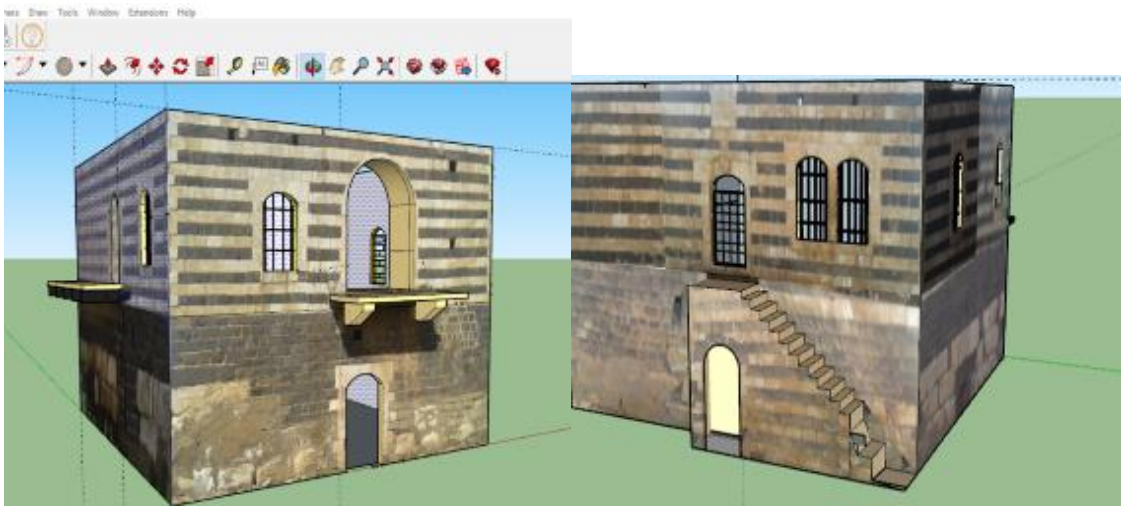
الشكل (9) النموذج السطوحي ثلاثي الأبعاد في برنامج (CloudCompare).

2- إعادة إنشاء نموذج القصر النهائي باستخدام برنامج (SketchUP)، الشكل (10) وفق الخطوات التالية:

1- إعادة إنشاء وتدقيق النموذج باستخدام الأبعاد المقاسة من النموذج السابق.

2- تدقيق وتصحيح تفاصيل القصر بشكل أوضح (الأظفار، النوافذ...الخ).

3- تصحيح النسجة من خلال إعادة إكساء النموذج بنسيج قائم على صور القصر الموجهة.



الشكل (10) نموذج القصر في برنامج (SketchUP).

-تقييم الدقة:

-الدقة الهندسية: لتقييم الدقة الهندسية للنموذج تم حساب الفرق بين بعض الأبعاد في النموذج والواقع كما هو

موضح في الجدول (1).

العنصر	الأبعاد على النموذج بعد تطبيق المقياس (م)	الأبعاد الحقيقية (م)	فرق البعدين (م)	الدقة في المتر الطولي
ارتفاع باب القصر	2.392	2.39	−0.002	0.001
عرض باب القصر	0.997	1	0.003	0.003
عرض باب الدرج	1.053	1.05	−0.003	0.003
ارتفاع باب الدرج	2.394	2.39	−0.004	0.002
طول الواجهة الجنوبية	9.7	9.68	−0.02	0.002
طول الواجهة الغربية	10.25	10.28	0.03	0.003

الجدول (1) المقارنة بين أبعاد القصر الحقيقية والأبعاد في النموذج بعد تطبيق المقياس.

من الجدول السابق، بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الدقة في المتر الطولي نجد أن الدقة تساوي تقريباً 2ملم في المتر الطولي. وهذه الدقة تشير إلى إمكانية استخدام هذا النموذج الحفظ الرقمي والتطبيقات السياحية لمواقع التراث الثقافي.

-الكمالية: من خلال شكل وتفاصيل النموذج الناتج، يمكن أن نلاحظ ما يلي:

1-النموذج يوضح كامل التفاصيل المعمارية في القصر بشكل محاكي للواقع.

2-الربط بين ثلاث واجهات في زوايا القصر متين ومحاكي للواقع.

3-الربط في إحدى الزوايا لواجهة الدرج ضعيف لوجود بناء يحجب التصوير، إذ تم التغلب على ذلك من خلال نمذجة الواجهة على حدا، ومن ثم تسجيلها مع الواجهات الثلاثة.

4-عدم ظهور الأظفار في النموذج النقطي بشكل واضح لذا تم إعادة نمذجة الأظفار في برنامج (SketchUp).

4-2 حالة دراسية 2: البناء الحجري القديم

-توجيه الصور:

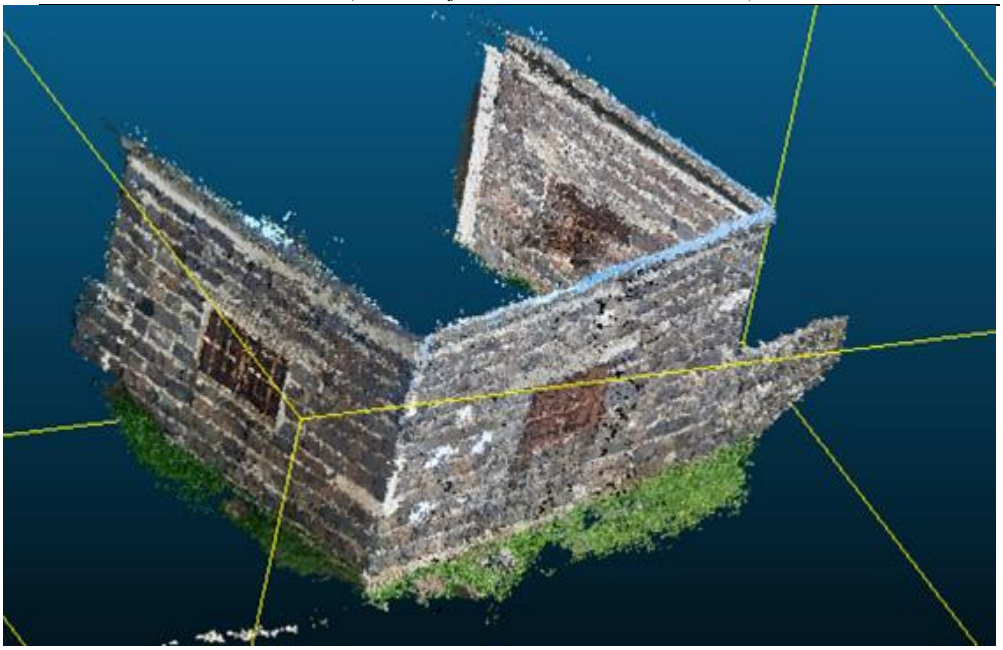
تم توجيه الصور باستخدام برنامج (VisaulSFM) على مرحلتين باستخدام (138) صورة الشكل (11)، (12).

الشكل (11) غمامة نقطية متفرقة للغرفة مرحلة1.

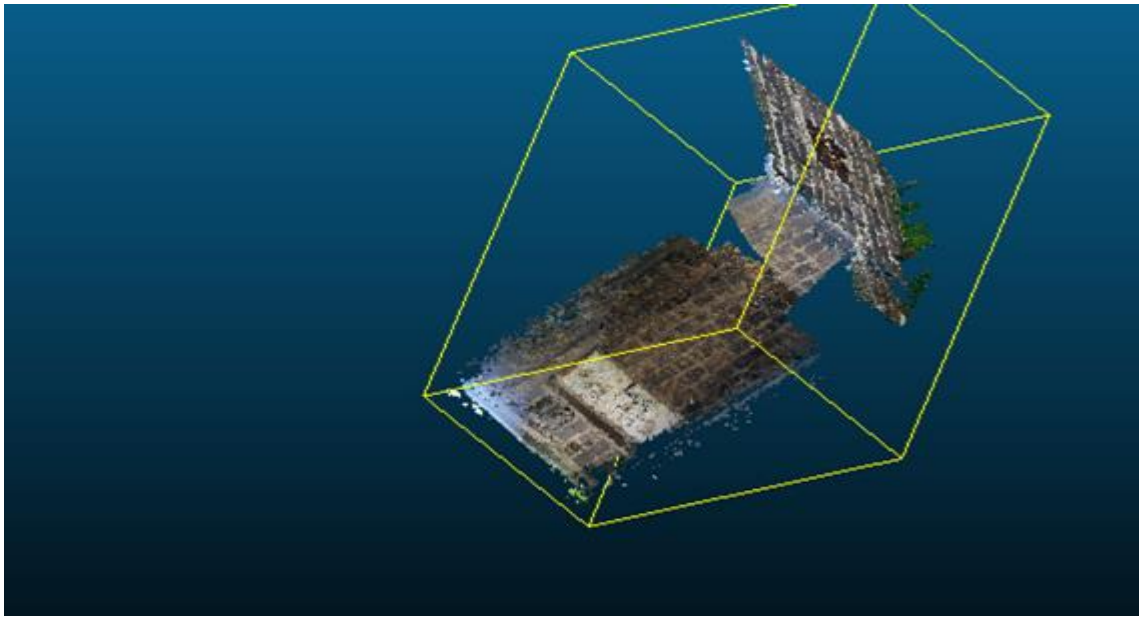
الشكل (12) غمامة نقطية متفرقة مرحلة2.

-المواءمة المكثفة للصور:

تتم باستخدام برنامج (SURE)، الشكل (13)، (14).



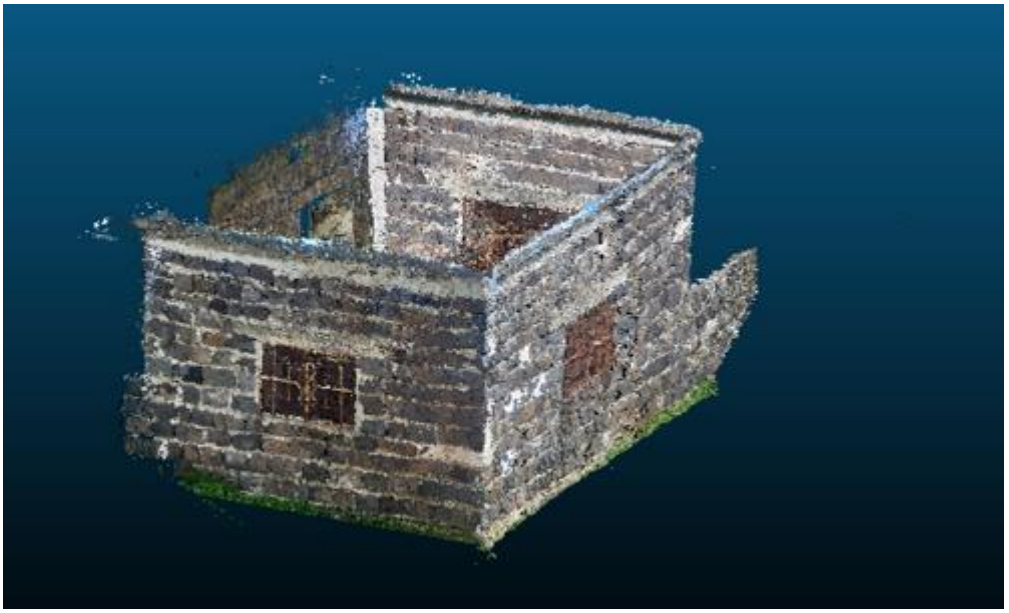
الشكل (13) غمامة نقطية كثيفة مرحلة1.



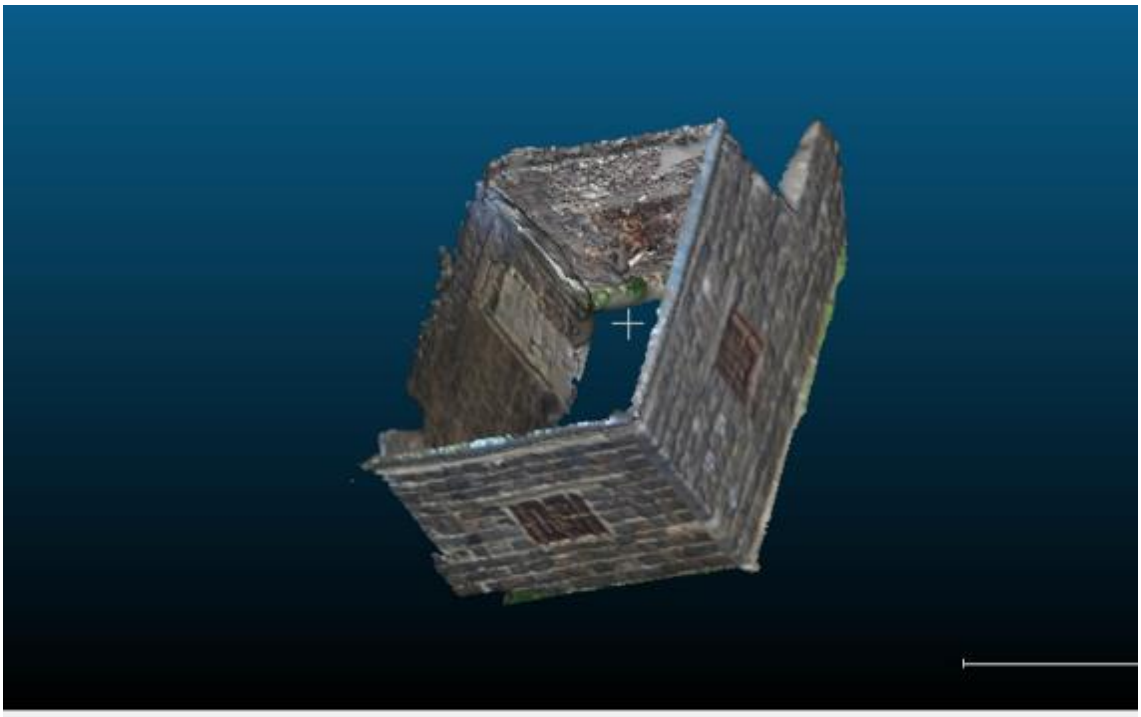
الشكل (14) غمامة نقطية كثيفة مرحلة2.

النمذجة ثلاثية الأبعاد:

1- تجرى عمليات معالجة للغمامات النقطية في برنامج (CloudCompare) تسجيل الواجهات، تصفية الضجيج في القياسات، إجراء عملية تطبيق المقياس للغمامات النقطية، الشكل (15). إنشاء السطوح من الغمامات النقطية، الشكل (16).

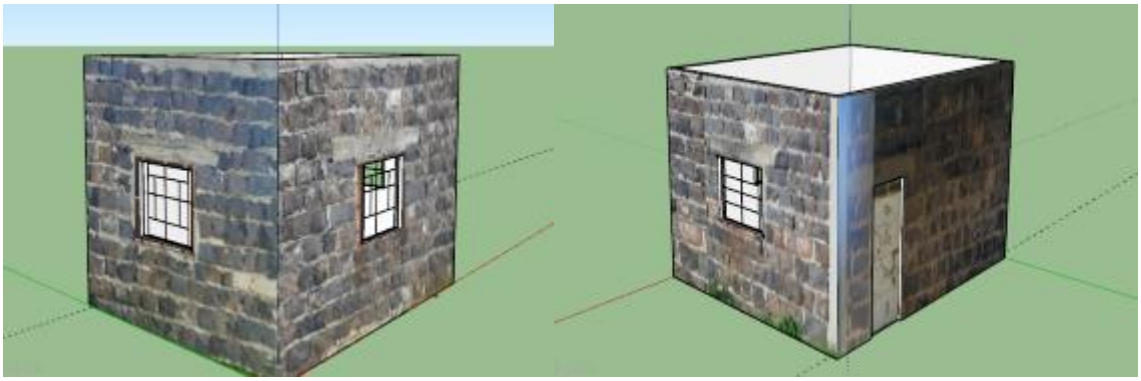


الشكل (15) غمامة نقطية كثيفة لكامل الغرفة.



الشكل (16) نموذج الغرفة السطوحي ثلاثي الأبعاد في برنامج (CloudCompare).

2-إعادة إنشاء نموذج المبنى الحجري النهائي باستخدام برنامج (SketchUP)، الشكل (17).



الشكل (17) نموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى الحجري في برنامج (SketchUP).

تقييم الدقة:

-الدقة الهندسية: لتقييم الدقة الهندسية للنموذج تم حساب الفرق بين بعض الأبعاد في النموذج والواقع كما هو موضح في الجدول (2).

العنصر	الأبعاد على النموذج بعد تطبيق المقياس (م)	الأبعاد الحقيقية (م)	فرق البعدين (م)	الدقة في المتر الطولي
عرض النافذة	1.149	1.15	0.001	0.001
ارتفاع النافذة	0.898	0.9	0.002	0.002
عرض الباب	0.898	0.9	0.002	0.002
طول الواجهة الجنوبية	5.00	5.03	0.03	0.006
طول الواجهة الغربية	4.06	4.08	0.02	0.005

جدول (2) المقارنة بين أبعاد الغرفة الحقيقية والأبعاد في النموذج بعد تطبيق المقياس.

من الجدول السابق، بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الدقة في المتر الطولي نجد أن الدقة تساوي تقريباً 3ملم في المتر الطولي. وهذه الدقة تشير إلى إمكانية استخدام هذا النموذج الحفظ الرقمي والتطبيقات السياحية لمواقع التراث الثقافي.

-الكمالية:

من خلال شكل وتفاصيل النموذج الناتج، يمكن أن نلاحظ ما يلي:

1-النموذج يوضح كامل التفاصيل في الغرفة بشكل محاكي للواقع.

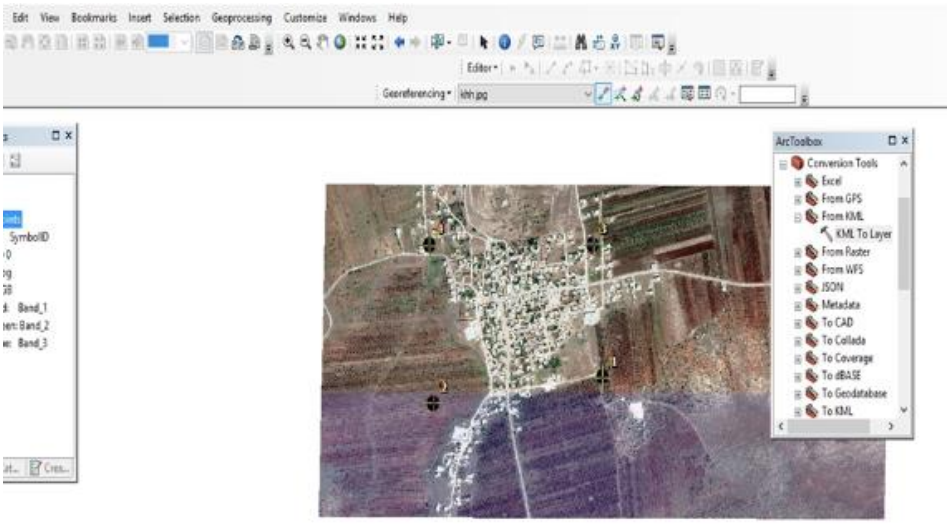
2-الربط بين ثلاث واجهات ا في زوايا الغرفة متين ومحاكي للواقع.

3–الربط في إحدى الزوايا ضعيف كونها ذات نسيج عمراني ضعيف تم التغلب على ذلك من خلال نمذجة الواجهة على حدا، وتسجيلها مع الواجهات الثلاثة.

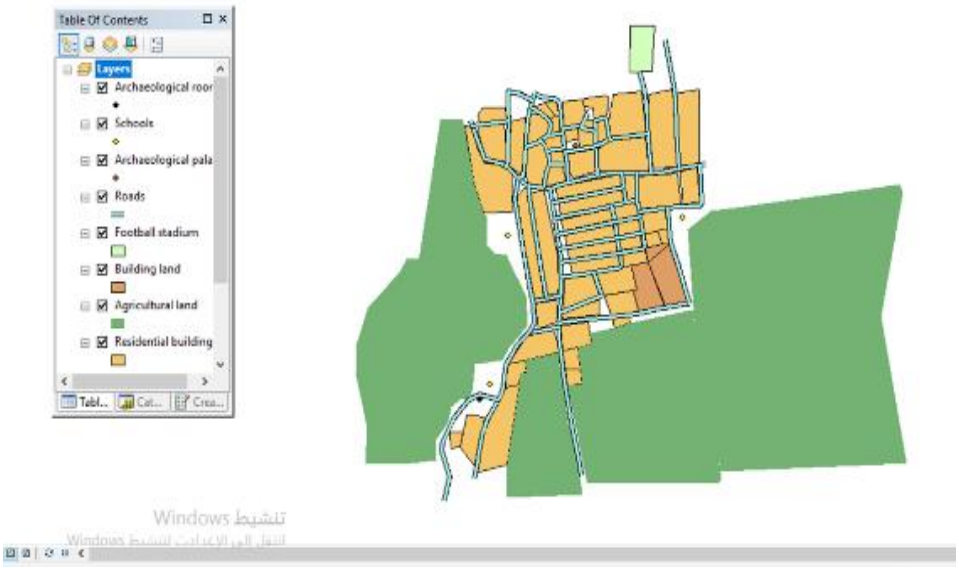
4–وجود نقص في تفاصيل إحدى الواجهات تم نمذجت هذه التفاصيل في برنامج (SketchUp).

3-4 الإرجاع الجغرافي للحالات الدراسية السابقة

تقع الحالات الدراسية السابقة في حماة، مصياف، قرية خربة القصر. تم استيراد صورة فضائية للموقع باستخدام برنامج (Google Earth Pro) تم القيام بعملية الإرجاع الجغرافي في برنامج (ArcMap)، الشكل (18)، ثم إعادة رسم الصورة المرجعة جغرافياً للحصول على خريطة مساحية رقمية للموقع، الشكل (19).



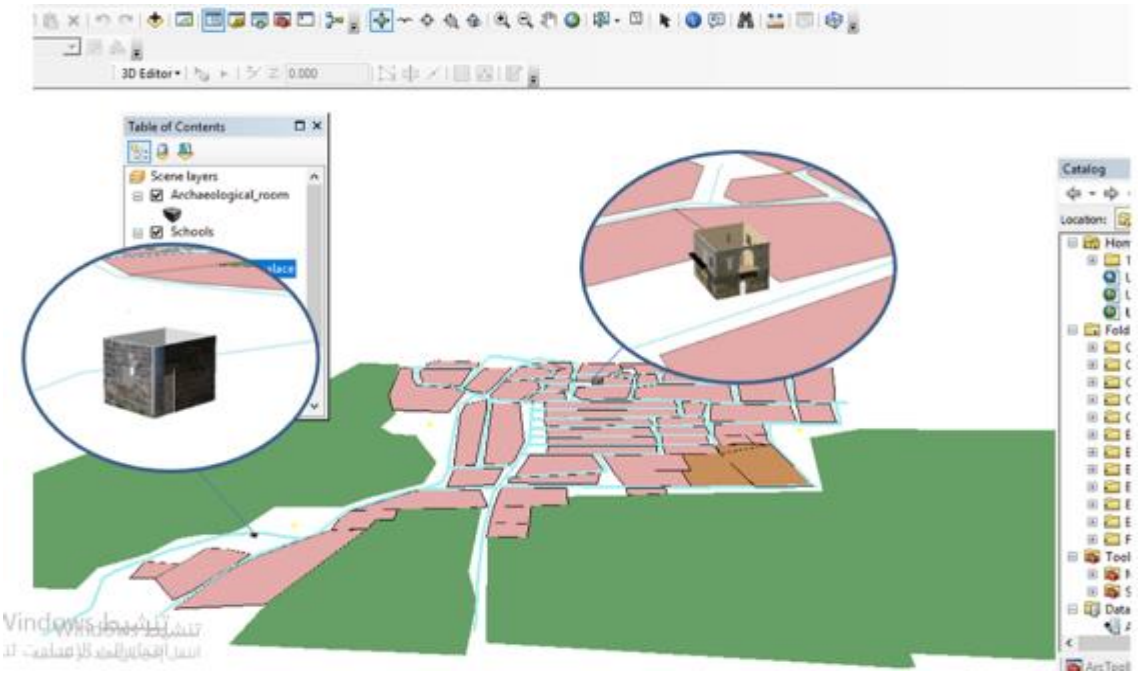
الشكل (18) الإرجاع الجغرافي للصورة الفضائية للموق



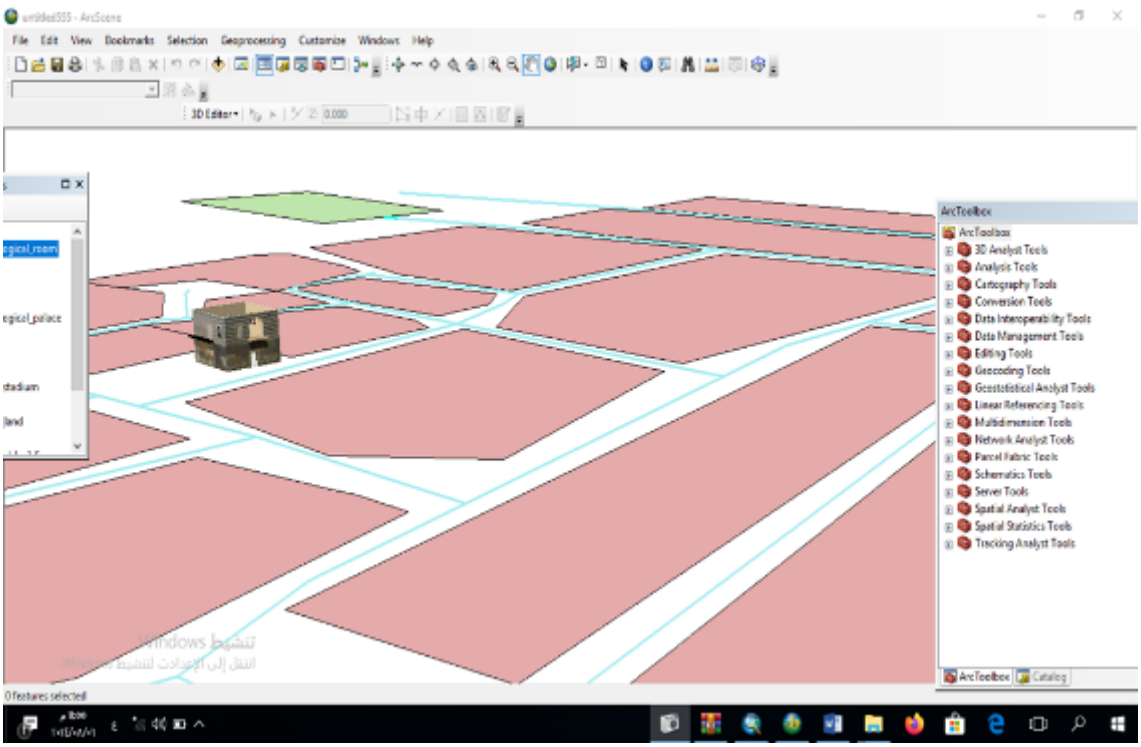
الشكل (19) الطبقات المرسومة في الخريطة المساحية الرقمية للموقع.

4-4 إدخال البيانات الوصفية والمكانية للنماذج باستخدام برنامج (ArcScene)

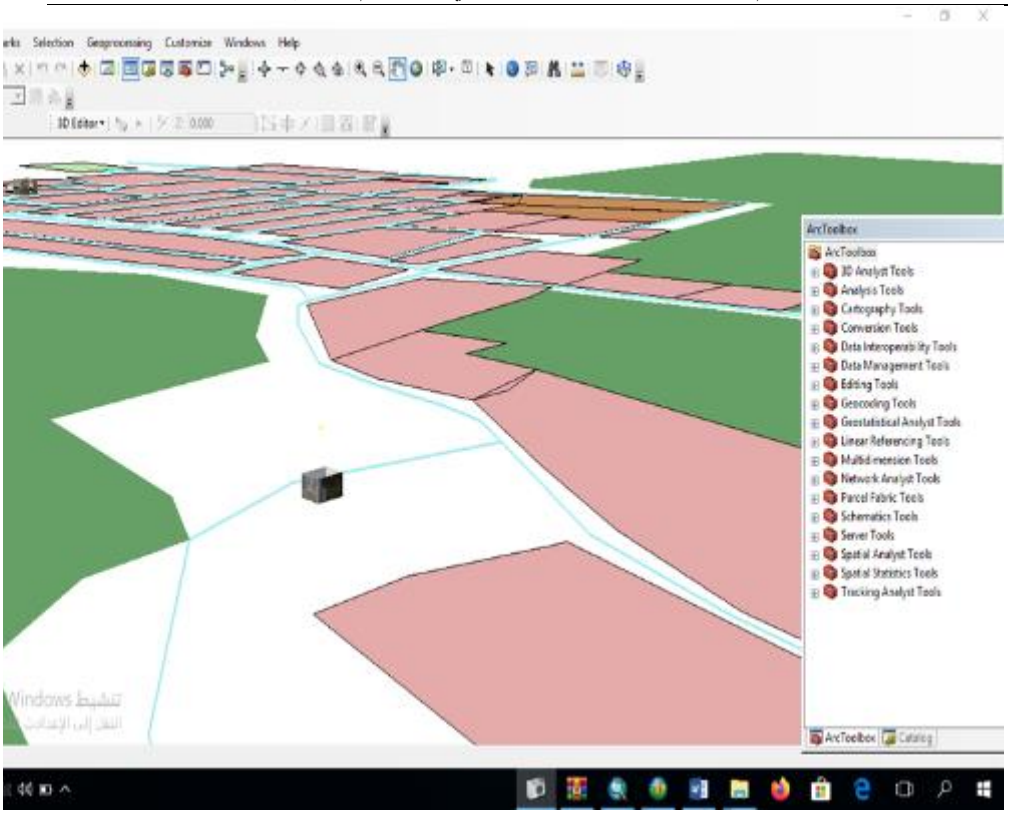
يتم نقل الطبقات المرسومة للموقع إلى برنامج (ArcScene) للقيام بإدخال البيانات المكانية والوصفية للنماذج السابقة ثم استيراد النماذج من برنامج (SketchUp) إلى برنامج (ArcScene) الشكل (20)، (21)، (22).



الشكل (20) الطبقات في برنامج (ArcScene).



الشكل (21) نموذج القصر في برنامج (ArcScene).



الشكل (22) نموذج الغرفة في برنامج (ArcScene).

يتم إدخال البيانات الوصفية من خلال الإجراءات التالية:

1-النقر على اسم الطبقة.

2-فتح جدول السمات عبر الأمر (Open Attribute Table).

3-إدخال البيانات الوصفية لطبقة القصر والغرفة. الشكل (23)، (24).

الشكل (23) البيانات الوصفية للقصر.

الشكل (24) البيانات الوصفية للغرفة الحجرية.

5- الاستنتاجات والتوصيات

في هذه المقالة تم تقديم منهجية منخفضة التكاليف لنمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام التصوير الرقمي ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). إذ تم تطبيق هذه المنهجية على حالتين دراسيتين بهدف تقييم النتائج وتحليلها. بناءاً على ذلك تم الوصول إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات.

يمكن أن نلخص أهم الاستنتاجات في ما يلي:

1- يمكن اعتبار تقنيات المساحة التصويرية الآلية منخفضة التكاليف مصدراً هاماً للبيانات اللازمة لقواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية ومواقع التراث الثقافي.
2- تعد البرمجيات مفتوحة المصدر التي تؤتمت عمليات توجيه الصور، ومعالجة الغمامات النقطية وإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد حلاً بديلاً ورخيصاً مقارنةً بالأساليب التقليديّة والتي تعتبر ذات كلفة مادية ومعرفية عالية.
3- يمكن أن يساهم هذا البحث في تبسيط أعمال الحفظ والتوثيق الرقمي وتوفير نماذج رقمية موثقة وقابلة للاستخدام من خلال حفظ المعلومات المكانية والتفاصيل العمرانيّة.
4- يسمح التكامل بين المساحة التصويرية ونظم المعلومات الجغرافية بربط النماذج الناتجة بالموقع الجغرافي وإدخال البيانات الوصفية بهدف إجراء التحليلات المكانية اللاحقة.
5- يستطيع المهتمون بعلوم الآثار والتطبيقات السياحية تشكيل بنك من المعلومات الموثوقة من خلال النماذج ثلاثية الأبعاد والتي تساهم في توفير الوقت والجهد.
6- إن استخدام المنهجية المقترحة لا يتطلب معدات وتقنيات مكلفة، كما يمكن تطبيقها من قبل غير المختصين بالمساحة التصويرية.

من خلال هذا البحث يمكن أيضاً أن نوصي بما يلي:

1- إنّ إجراء عملية معايرة لكاميرا الهاتف النقال يمكن أنّ يؤدي إلى زيادة دقة النماذج الناتجة من الصور.

2- إنّ توفر رافعة أو أداة لالتقاط الصور في المناطق الصعبة للتصوير يمكن أن يسمح بتفادي حدود مسافة التراجع التصميمية ومشاكل الظلال.

3- إنّ وجود شبكة مساحية ونقاط تحكم أرضية سيرفع من دقة الإرجاع الجغرافي، ودون الحاجة لتطبيق مقياس.

4- دراسة الزمن الذي تستغرقه معالجة الصور مع إمكانيات المعالجة للحاسوب المستخدم الذي يمكن أن يسرع من عملية إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام البرامج المفتوحة المصدر.

6- المراجع العلمية

1- Moussa, W. (2018). 3D Digital Modeling by Integrating Surveying Data and Modern Techniques- Case Study: 3D Digital Preservation of Cultural heritage.

Al-Baath University Journal –Engineering Science Series 40 (35), 11-32.

2-Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., and Hartley, I. (2007). In Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications, (Whittles, Dunbeath, UK), pp. 266–292, 449.

3-Nister, D. (2004a). Automatic passive recovery of 3D from images and video. In Proc. 2nd Int. Symp. 3D Data Processing, Visualisation and Trans- Mission, (Thessaloniki, Greece), pp. 438–445.

4-Remondino, F., and El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. Photo¬gramm. Rec. 21, pp. 269–291.

5-Moussa, W. (2014). Integration of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Cultural Heritage Data Recording.

Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 725, München 2014, ISBN 978-3-7696- 5137-9, 162 S.

6- درويش، ح.، محمد، ع.، (2017). نظم المعلومات الجغرافية، منشورات جامعة البعث، كلية الهندسة المدنية، الجمهورية العربية السورية.

7- داود، جمعة محمد، (2014). مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

8- Gao,Y.L., Hu,B.L., & Jia,Y.H. (2013). 3D GIS Model Building Based on SketchUp. Applied Mechanics and Materials, 353, 3507-35010.

9- الخليل، ع.، زوباري، ع.، (2015). النمذجة ثلاثية الأبعاد للمواقع الأثرية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، منشورات مجلة جامعة تشرين، سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (2)،

10-Toz, G., & Duran, Z. (2004). Documentation and analysis of cultural heritage by photogrametric methods and GIS: A case study. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci, 1-5.

11- Doğan, Y., & Yakar, M. (2018). GIS AND THREE-DIMENSIONAL MODELING FOR CULTURAL HERITAGES.Internation. Journal of Engineering and Geosciences, 3(2), 50-55.

12- Subiyanto, S., Prastyo, A. D., & Suprayogi, A. (2019). Application of geographical information system for the 3d modelling of close-range photogrammetry for documentation and landscape development of historical monuments. Journal of Pysics: Conference Series, 1321(3), p.032024.

13- CENGIZ, A., & GUNEY, Y. (2013). COMPARISON OF 3D CONSTRUCTION VISUALIZATION METHODS TOPROVIDE VISUAL SUPPORT IN GIS ENVIRONMENT FOR THE CONSTRUCTION PROJECTS.

14- Budiharto, W., Irwansyah, E., Suroso,J.S., Chowanda, A., Ngarianto, & H., Gunawan, A. A. S. (2021). Mapping and 3D

modelling using quadrotor drone and GIS. Journal of Big Data, 8, 1-12.

15-Waldhausl, P., & Ogleby,C. L. (1994). 3*3 rules for simpale photogrammetric documentation of architecture. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30, 426-429.

16-Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., and Haala, N. (2013). Image Acquisition and Model Selection for Multi-View Stereo. (Trento, Italy: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences), pp. 251–258.

17-Snavely, K.N. (2008). Scene reconstruction and visualization from internet photo collections. PhD thesis, Uni. of Washington, USA, 210p.