Evaluation of Automated Photogrammetry Products as an Alternative to Architectural Plans for Archaeological Facades Documentation - Case study: The Evangelical Church in Lattakia

Dr .Omar AL KHALIL [*]
Dr. Ahmad ALI **

(Received 12 / 12 / 2021. Accepted 21 / 2 / 2022)

□ ABSTRACT □

Several methods are available for documenting archaeological facades. The architectural plans resulting from the topographic survey are the most accurate of these methods, but they are expensive and require time and effort to be completed. There are other ways to document these interfaces, including generating rectified images, which is suitable for planimetric interfaces, and 3D laser scanning, characterized by its high accuracy but it suffers from the problem of high cost.

This paper presents a methodology for evaluating the products of Structure from Motion (SfM) photogrammetry and determine whether they constitute an accurate alternative to traditional topographic surveying of archaeological facades in order to obtain complete facade documentation. This method was applied to the western facade of the Evangelical Church in Latakia. The images needed for the modeling were taken with a mobile phone built-in camera. The reference data used is a measured distance in the façade space to scale the resulted model. The results of research showed that the orthophoto provides a measurement accuracy similar to the accuracy of the measurement on the architectural plans, and that the photorealist model is an important document when documenting the facades. On the other hand, the research showed that the 3D dense point cloud provides a basis for obtaining vector plans whose accuracy is from the order of the accuracy of architectural plans.

Keywords: SfM photogrammetry, 3D point clouds, Photorealist model, Architectural plan, Orthophoto.

[*]**Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: (*) omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy**
****Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: (**) ahmadsalmanali @tishreen.edu.sy**

تقييم منتجات المسح التصويري المؤتمت كبديل عن المخططات المعمارية في توثيق الواجهات الأثرية– حالة دراسة: الكنيسة الإنجيلية في اللاذقية

د. عمر الخليل*

د. أحمد علي**

(تاريخ الإيداع 12 / 12 / 2021. قُبِل للنشر في 21/ 2 / 2022)

□ ملخّص □

تتوفر عدة طرائق لتوثيق الواجهات الأثرية. تعتبر المخططات المعمارية الناتجة عن المسح الطبوغرافي أدق هذه الطرائق ولكنها بالمقابل مكلفة وتحتاج إلى وقت وجهد لإنجازها. هنالك طرائق أخرى لتوثيق هذه الواجهات منها توليد الصور المصححة وهو يصلح للواجهات المستوية، والمسح الليزري الذي يتميز بدقته العالية ولكنه يعاني من مشكلة الكلفة المرتفعة.

نقدم في هذا البحث طريقةً لتقييم منتجات المساحة التصويرية القائمة على اقتطاع البنية من الحركة وتحديد فيما إذا كانت تشكل بديلاً دقيقاً عن الرفع المساحي التقليدي للواجهات الأثرية بهدف الحصول على توثيق كامل للواجهة. تم تطبيق هذه الطريقة على الواجهة الغربية للكنيسة الإنجيلية في اللاذقية. تم التقاط الصور اللازمة للنمذجة بواسطة آلة التصوير المرفقة مع هاتف نقّال والبيانات المرجعية التي استخدمت هي مسافة مقاسة في حيّز الواجهة لوضع النموذج على المقياس. أظهرت نتائج البحث أن الصورة المرجعة عامودياً تؤمن دقة قياس تماثل دقة القياس على المخططات المعمارية وأن النموذج الصوري الحقيقي يعتبر وثيقةً هامة عند توثيق الواجهات. من ناحية أخرى، أوضح البحث أن غمامة النقاط الكثيفة تؤمن أساساً للحصول على مخططات شعاعية دقتها من فئة دقة المخططات المعمارية.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية القائمة على طريقة الحصول على البنية من الحركة، غمامة النقاط ثلاثية الأبعاد، نموذج صوري حقيقي، مخطط معماري، أورثوفوتو.

* أستاذ – قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سورية.
بريد الكتروني: omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

** *أستاذ مساعد – قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سورية.
بريد الكتروني: ahmadsalmanali@tishreen.edu.sy

مقدّمة:

عند العمل على توثيق واجهات المنشآت الأثرية، فإنه من المرغوب به أن تكون طريقة التوثيق دقيقةً، قابلة للحمل (بسبب صعوبة الوصول إلى بعض مواقع المنشآت كالقلاع مثلاً)، مرنة (بسبب التنوع الكبير في بنى المنشآت)، قليلة التكاليف مع سرعة في اقتطاع البيانات والحصول على النتائج. إن ميزات التقنيات الرقمية في المسح والتوثيق تساعد في تحقيق هذه الأهداف. في الواقع، تتوفر عدة تقنيات لإنجاز التوثيق ثلاثي الأبعاد للمنشآت الأثرية نذكر منها [1]:

1. الرفع المعماري الذي يستخدم الأجهزة المساحية التقليدية مع نظم التصميم بمعونة الحاسب CAD.
2. التوثيق القائم على الإرجاع التقليدي للصور Image rectification وهو يصلح للواجهات المستوية والتي لا يزيد فرق العمق فيها عن 15 cm.
3. المسح الليزري ثلاثي الأبعاد 3D laser scanning وهو طريقة دقيقة جداً وذات قدرة تعبيرية هائلة ولكنها مرتفعة الكلفة.
4. المسح الذي يستخدم الصور Image–Based Modelling IBM الملتقطة باستخدام مستشعر منفعل والقائم على تطبيق تقنية اقتطاع البنية من الحركة Structure from Motion (SfM).

وبالرغم من كون طريقة الرفع الطبوغرافي هي أدق الطرق، إلا أنها تتطلب مختصين، مرتفعة الكلفة وتستهلك وقتاً طويلاً. ومن الصحيح أن عملية إرجاع الصور التقليدية سريعة إلا أنها تفتقد للدقة عند العمل على واجهات تحوي عناصر ذات مناسيب مختلفة. ومنه، فإنّ النمذجة القائمة على الصور IBM بتقنية SfM لا تزال هي الطريقة الأكثر تكاملاً، اقتصاديةً، مرونةً واستخداماً على نطاق واسع [2]. كما أنها لا تعتبر طريقةً منافسةً للمسح الليزري إنما متكاملة معه. فنتيجة للأبحاث في مجال الرؤية بمعونة الحاسب، تم تطوير العديد من النظم التي يمكن اعتبارها محاكيات للماسح الليزري 3D laser scanners simulators من ناحية قدرتها على توليد عدد هائل من النقاط، بشكل آلي، انطلاقاً من الصور الموجهة حيث أن كثافة هذه النقاط قد تزيد أحياناً عن كثافة النقاط المولدة باستخدام الماسح الليزري [3]. ومن ناحية أخرى، يمكن انطلاقاً من غمامة النقاط السابقة توليد نموذج رقمي لسطح الواجهة Digital Surface Model (DSM) وهو ما يسمح لاحقاً بتوليد الصور المرجعة عمودياً Orthophoto للواجهة المدروسة.

من ناحية أخرى، تتعامل هذه البرمجيات مع كل أنواع الصور ومنها ما هو ملتقط باستخدام آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة (أو الذكية) Smart Phones. إن الجيل الجديد من هذه الهواتف يمكّن من الحصول على صور رقمية ذات دقة تمييز هندسية جيدة وتعتبر كافيةً لتطبيقات المسح التصويري.

يمكن تلخيص الإشكالية التي يحاول بحثنا معالجتها بمحاولة تقييم منتجات المسح التصويري بتقنية SfM وتحديد فيما إذا كانت تشكّل بديلاً دقيقاً للرفع الطبوغرافي التقليدي للواجهات الأثرية وذلك بهدف الحصول على توثيق كامل للواجهة.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر التوثيق خطوةً أساسية قبل البدء بأي عملية ترميم لواجهات المنشآت الأثرية. فهذه الواجهات تتعرض لتغيرات في الشكل واللون والمادة نتيجة للعوامل الجوية والكوارث الطبيعية وأعمال التخريب الناتجة عن النشاط البشري. وبالتالي فإن الحفاظ عليها أمر مهم ويجب البحث عن أفضل الطرائق التي تستخدم في توثيق هذه الواجهات.

من المعروف أن طرائق التوثيق ثنائي الأبعاد التقليدية للواجهات الأثرية، هي طرائق تتطلب قياسات مباشرة على الواجهة أو استخدام أجهزة مساحية أو استخدام آلات تصوير خاصة (مترية أو نصف مترية) أو آلات تصوير رقمية

ذات مواصفات هندسية عالية، إضافةً إلى تجهيزات وبرامج مخصصة لهذا النوع من الأعمال. في هذا البحث، نقترح استخدام حلاً بديلاً دقيقاً عن الرفع المعماري التقليدي لتوثيق الواجهات الأثرية. يقوم هذا الحل على استخدام منتجات المسح التصويري SfM القائم على استخدام الصور الملتقطة بآلة تصوير هاتف نقّال للحصول على توثيق كامل ودقيق للواجهات الأثرية.

طرائق البحث ومواده:

يتوفر حالياً هواتف نقّالة مرفقة بآلات تصوير رقمية ذات دقة تمييز هندسي Geometric resolution جيدة، وهذا ما يشجعنا على استخدامها في التقاط الصور التي تستخدم لاحقاً في اقتطاع معطيات هندسية دقيقة حول العنصر المصور. كما تتوفر مجموعة من البرامج التجارية التي تملك أدوات آلية للتعامل مع الصور وتوجيهها واقتطاع غمامات النقاط الكثيفة منها وكذلك النموذج الرقمي للسطح وتوليد الصور المرجعة عمودياً [4]. يقوم هذا البحث على فكرة استخدام آلة تصوير رقمية مرفقة مع هاتف نقّال وبرنامج مسح تصويري قائم على تقنية SfM للحصول على العديد من المنتجات اللازمة لتوثيق واجهة أثرية ومن ثم تقييم القدرة التعبيرية لهذه المنتجات ودقتها الهندسية.

1- منتجات تقنية الحصول على البنية انطلاقاً من الحركة (SfM)

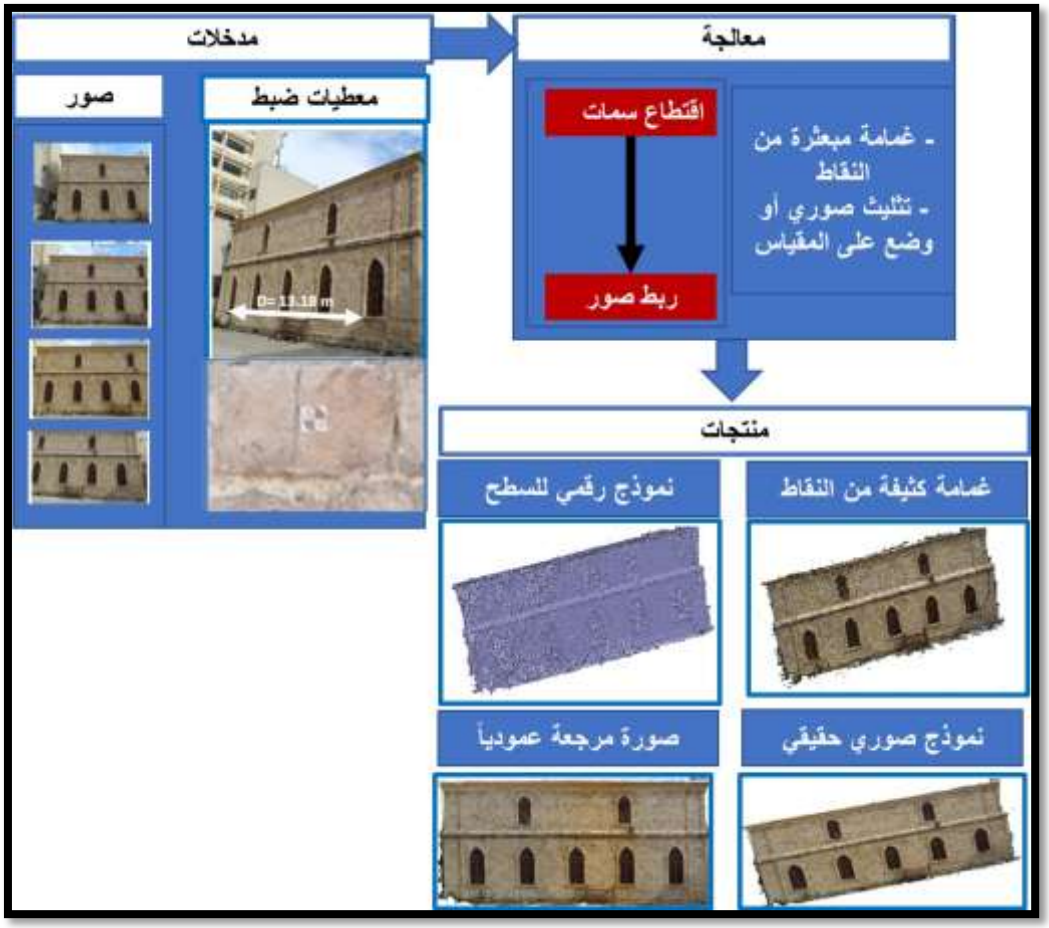
نوضح في الشكل (1) تدفق العمل لتقنية الـ SfM مع المنتجات الممكن الحصول عليها. يمكن الاستفادة من هذه المنتجات في عملية التوثيق وفق التسلسل التالي [5]:

1- تشكّل الصور الموجهة والنموذج الصوري الحقيقي المدخل اللازم للنمذجة الشعاعية Vector modelling ثلاثية الأبعاد داخل بيئة البرنامج SfM. يمكن إتمام هذه النمذجة بمساعدة برنامج رسم بمعونة الحاسب مثل البرنامج Civil 3D.

2- تشكّل الغمامة ثلاثية الأبعاد المدخل اللازم للحصول على المقاطع والمساقط بمساعدة برنامج رسم بمعونة الحاسب مثل البرنامج Civil 3D.

3- تشكّل الصور الموجهة والنموذج الشبكي Mesh model المدخلات الأساسية لإنتاج الصورة المرجعة عمودياً للواجهة. كما يمكن استخدام هذه الصورة لإنتاج رسوم لعناصر الواجهة وذلك بعد تصدير هذه الصور إلى برنامج GIS مثلاً والرقمنة عليها.

4- يشكّل النموذج الصوري الحقيقي Photorealist model تعبيراً واقعياً عن الحالة الراهنة للواجهة بالأبعاد الثلاثة كما يمكن استخدامه كأساس للرقمنة والحول على المخططات الشعاعية للعنصر المنمذج.



الشكل (1). تدفق العمل بتقنية SfM مع المنتجات الممكنة لهذه التقنية.

2- البرنامج وآلة التصوير المستخدمان في النمذجة

تم استخدام البرنامج Agisoft Metashape PhotoScan في توجيه الصور والاقتطاع الآلي للنقاط منها على شكل غمامة كثيفة ومن ثم تحويلها إلى نموذج سطوحي ونموذج صوري حقيقي وتوليد الصورة المرجعة عمودياً. يعتبر هذا البرنامج أداةً للنمذجة ثلاثية الأبعاد تمثّل أسلوب الـ SfM القائم على الصورة Image-based 3D modeling، وهو يستخدم أحدث تقنيات البناء ثلاثي الأبعاد من الصور المتعددة Multi-view المطورة في مجال الرؤيا بمعونة الحاسب [6]. كما يمكّن من توجيه الصور الملتقطة من أية مواقع مع مراعاة تحقيقها لشرط وقوع إي نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل. أما آلة التصوير المستخدمة في التقاط صور أحد واجهات الكنيسة الإنجيلية فهي آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقّال Redmi Note8T والتي تعطي صوراً حجمها 48 megapixel. لقد تم اختيار هذا البرنامج نظراً لمرونته ودقة منتجاته.

3- المنشأ المدروس

تقع الكنيسة الإنجيلية في حي الشيخ ضاهر، وتطل بواجهتها الجنوبية على شارع عدنان المالكي حيث مدخلها الرئيسي. ويحيط بالكنيسة من جميع الجهات عدا الشمالية فناء واسع وهو ما يسمى بحرم الكنيسة. أما جدران هذه الكنيسة فهي جدران حجرية حاملة، سقفها من الخارج جمالون من القرميد، أما من الداخل فهو سقف خشبي أفقي.

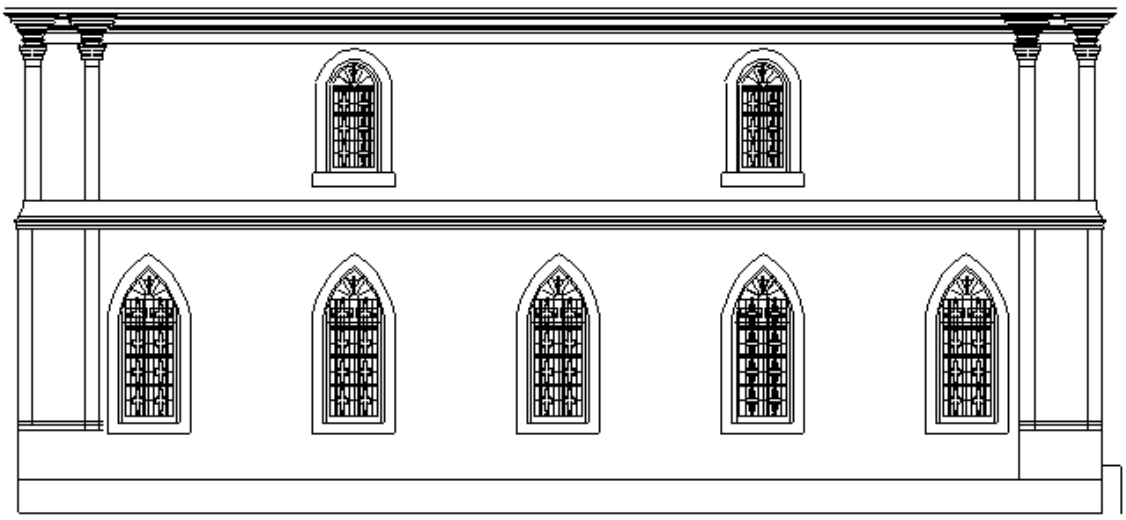
الواجهة التي نسعى لتوثيقها هي الواجهة الخارجية الغربية (الشكل (2)) أبعادها التقريبية 20 m × 9 m. يوجد في الواجهة إفريز يمتد على عرضها ويقسمها ظاهرياً إلى قسمين سفلي وآخر علوي. يضم الجزء العلوي نافذتين تتوضعان على جانبي الواجهة ويعلو كل نافذة قوس دعامي. أما القسم السفلي فيضم خمس نوافذ متماثلة حجماً وشكلاً ومماثلة للنافذتين في القسم السفلي شكلاً إلا أنها أكبر حجماً.

الشكل (2). الواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

4- البيانات المتوفرة

- **مخطط معماري**

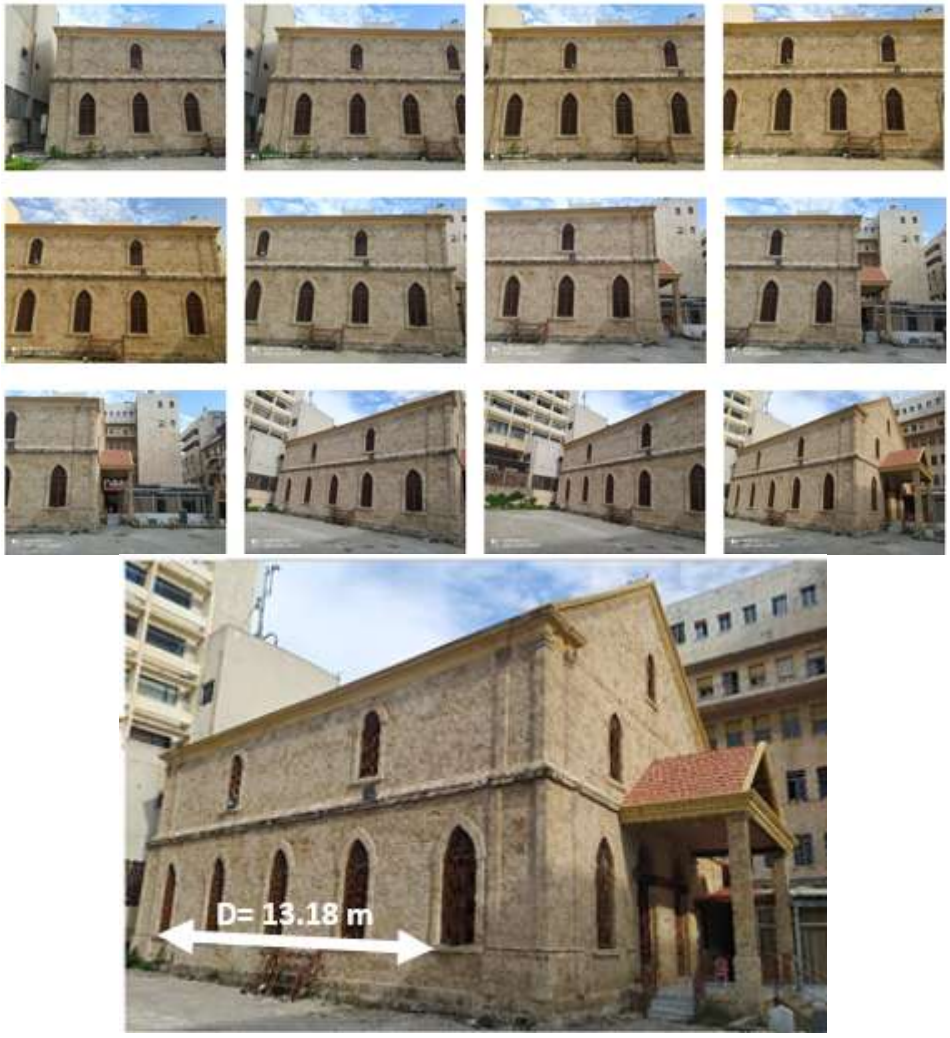
يتوفر للواجهة المدروسة مخطط معماري تفصيلي بالمقياس 1/50 (الشكل (3)) تم الحصول عليه بالرفع المساحي التقليدي باستخدام جهاز المحطّة المتكاملة. تم تنفيذ هذا العمل من قبل فريق من المهندسين العاملين في المديرية العامة للآثار وذلك قبل القيام بأعمال الترميم التي بدأت في العام 2012. في بحثنا، يقوم هذا المخطط بدور البيانات المرجعية اللازمة لتقييم الدقة الهندسية للمنتجات SfM الخاصة بتوثيق الواجهة.



الشكل (3). مخطط معماري مقياسه 1/50 ناتج عن المسح الطبوغرافي للواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

- **الصور وبيانات الضبط**

تم التقاط 12 صورة للواجهة باستخدام آلة تصوير الهاتف النقال بطريقة تضمن وجود كل نقطة من نقاط الواجهة على صورتين على الأقل. في الواقع، حرصنا على تأمين تداخل بين الصور مساو لـ % 80 تقريباً. كما تم قياس مسافة ضبط على الواجهة (D= 13.18 m) وذلك بغية وضع النموذج الناتج على المقياس.



الشكل (4). الصور وبيانات الضبط الخاصة بالواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

النتائج والمناقشة:

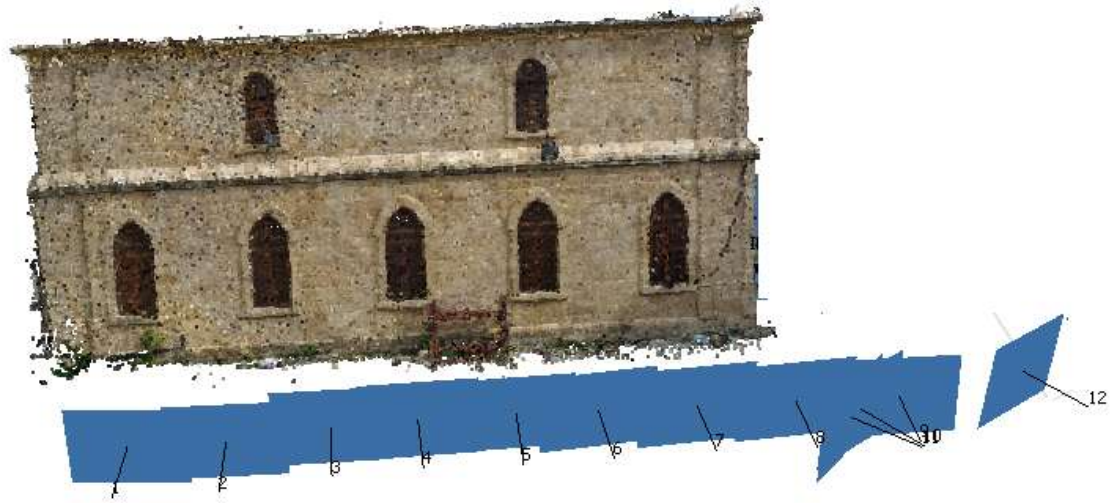
1- الحصول على منتجات SfM للواجهة المدروسة

تمر عملية المسح التصويري بتقنية الـ SfM بالخطوات التالية [7]:

1. استشعار السمات على الصور بشكل آلي.
2. ربط السمات المتشابهة على الصور بشكل آلي.
3. تحديد أولي لمواقع آلة التصوير في نظام إحداثيات حيّز الصورة بشكل آلي.
4. بناء غمامة كثيفة من النقاط بشكل آلي وذلك بتطبيق طريقة ربط الصورة Image matching.

5. توليد النموذج الشبكي للعنصر بشكل آلي.
6. وضع النموذج على المقياس بمساعدة مسافة معلومة أو الوضع في جملة إحداثيات حيّز العنصر بمساعدة نقاط ضبط بشكل نصف آلي.
7. توليد الصورة المرجعة عمودياً.

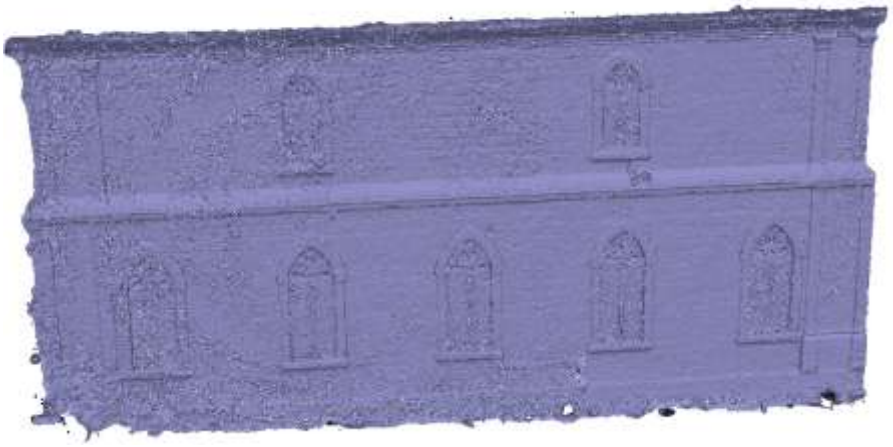
تم تطبيق التسلسل السابق على الواجهة الغربية للكنيسة الإنجيلية. وهنا، تم استشعار وربط ما مقداره 30757 نقطة ربط استخدمت كلها في حساب التوجيه النسبي للصور وتحديد مواقع آلة التصوير ضمن جملة إحداثيات افتراضية ثلاثية الأبعاد. وبعد التوجيه النسبي. تم بعد ذلك اقتطاع غمامة النقاط الكثيفة عند مستوى معالجة يضمن استخدام الصور بحجمها الأصلي. يزيد هذا الخيار إلى حدّ كبير من زمن المعالجة بالنسبة للمستويات السابقة ولكنه يزيد من كثافة الغمامة المولّدة ويؤمن التسجيل الدقيق لكافة عناصر الواجهة المدروسة. حصلنا عند هذا المستوى على غمامة عدد نقاطها قريب من 43 مليون نقطة (الشكل 5).



الشكل (5). غمامة النقاط الكثيفة الخاصة بالواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية ومواقع آلة التصوير.

انطلاقاً من غمامة النقاط الكثيفة تم توليد النموذج الشبكي للواجهة على شكل شبكة من المثلثات غير المنتظمة عند مستوى معالجة عال. ونتيجة لهذه المعالجة، حصلنا على نموذج TIN يحوي ما يقارب 7 ملايين وجه (الشكل 6). إن هذه الكثافة العالية ستؤمن توليد صورة مرجعة عمودياً ذات قدرة تعبيرية كبيرة وذلك لأن هذا النموذج يشكل القاعدة التي سيتم توليد الصورة المرجعة عمودياً منها. تم بعد ذلك وضع النموذج الناتج على المقياس باستخدام المسافة المرجعية المقاسة على الواجهة بواسطة جهاز المحطة المتكاملة Leica TS 09 والذي يقيس المسافات بدقة تصل حتى 2 mm.

بعد توليد النموذج الشبكي للواجهة قمنا بإنشاء النموذج الصوري الحقيقي وذلك بإسقاط الصور على وجوه النموذج الشبكي (الشكل 7). نلاحظ القدرة التعبيرية الهائلة لهذا النموذج عن العنصر المدروس.



الشكل (6). النموذج الشبكي الخاص بالواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

الشكل (7). النموذج الصوري الحقيقي الخاص بالواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

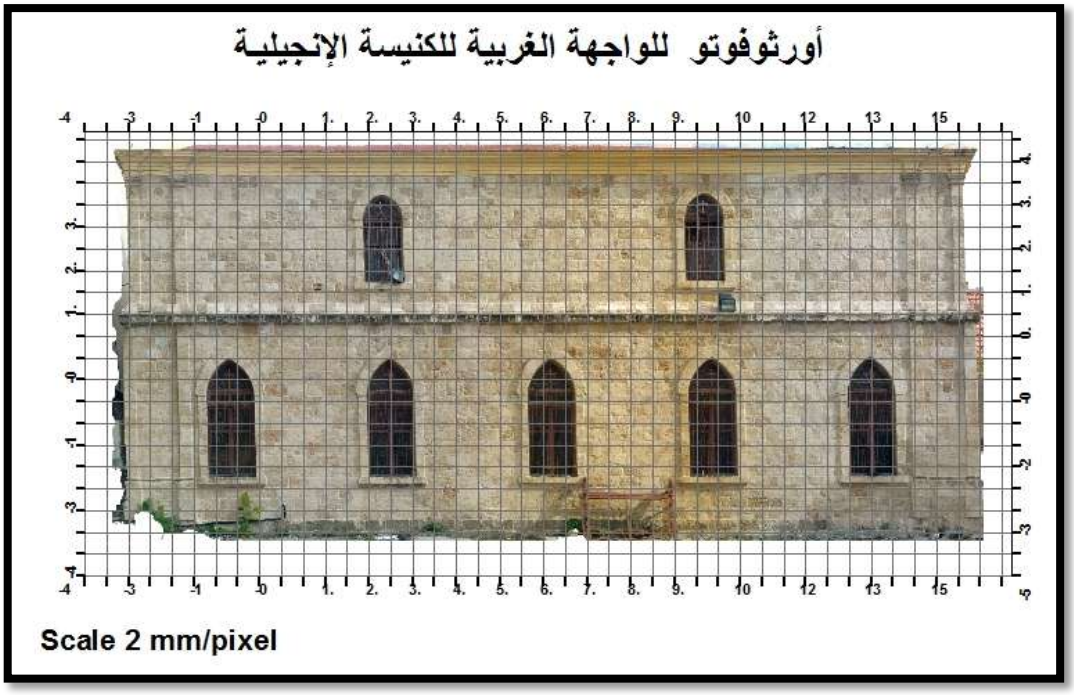
2- توليد بيانات التوثيق للواجهة المدروسة انطلاقاً من منتجات SfM

✓ **إنتاج الصورة المرجعة عامودياً للواجهة وتقييم دقتها**

تعدّ الصور المرجعة عامودياً، أو الأورثوفوتو، واحدةً من وثائق التوثيق الخاصة بالمنشآت الأثرية، وهي صور على المقياس مرجعة من الإزاحات الناتجة عن اختلاف مناسيب العنصر المصور وعن ميل الصورة. ومن وجهة نظر هندسية، تعادل الصورة المرجعة عامودياً المخطط المعماري التقليدي ويمكن إنجاز كل القياسات عليها، فهي تجمع بين الدقة الهندسية التي يتمتع بها المخطط التقليدي والغنى البصري الذي تملكه الصورة في آن واحد [8]. وبفضل هذه الخاصية، يمكن للصورة المرجعة عامودياً أن تزودنا بمعلومات كمية (أي مترية) وكيفية (أي وصفية) من ثمّ؛ فهي ذات قيمة عالية في مختلف أعمال توثيق وترميم المنشأ الأثري. نحتاج لإنتاج الصورة المرجعة عامودياً إلى نموذج رقمي للسطح وإلى صور ذات معاملات توجيه خارجي معلومة وهنا يتم تطبيق تقنية تعرف باسم التقويم التفاضلي Differential rectification لإنجاز الصورة المرجعة عمودياً عند مقياس مشترك واحد ولتحويل الإسقاط من مركزي إلى عامودي.

تمكننا معظم نظم أو برامج الـ SfM (ومنها البرنامج المعتمد في هذا البحث) من توليد الصورة المرجعة عمودياً للمشهد المصور وذلك اعتماداً على النموذج الشبكي ومعلومات موقع وتوجيه آلات التصوير (معاملات التوجيه الخارجي). قمنا بتوليد الصور المرجعة عامودياً للواجهة الغربية للكنيسة الإنجيلية بمقياس مساو لـ 2 mm/pixel (أي ما يمثله بكسل

الصور من مسافة على الأرض بالميليمتر). ولإخراج هذه الصورة، قمنا بتصديرها بالصيغة tif.* إلى برنامج GIS (هو البرنامج ArcGIS 10.5) وذلك لإخراجها بالشكل المناسب للاستخدام. لقد تم استخدام هذه الصيغة لأنها تحتفظ بالموقع الجغرافي للصورة. يبين في الشكل (8) نتيجة هذه المعالجة.

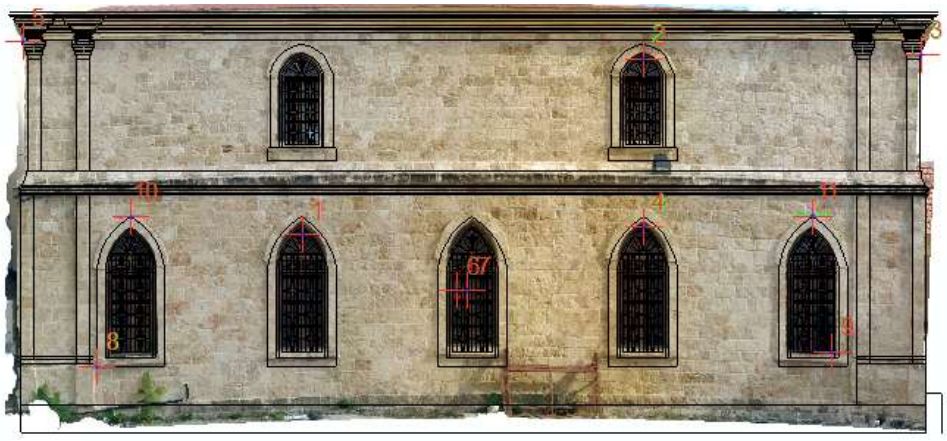


الشكل (8). الصورة المرجعة عمودياً (أورثوفوتو) للواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية.

للحكم على دقة الصورة المرجعة عامودياً قمنا بتطبيق تحويل هندسي من الدرجة الثانية لربط هذه الصورة مع المخطط المعماري المتوفر للواجهة وذلك بالاستعانة بالبرنامج ArcGIS 10.5. تم استخدام 11 نقطة ضبط موزعة بشكل منتظم على كامل الصورة المرجعة عمودياً (الشكل 9) فحصلنا على خطأ متوسط تربيع كلي RMSt على عملية التحويل يساوي 11 mm. نوضح في الجدول التالي الرواسب على نقاط الضبط.

الجدول (1). الرواسب على نقاط الضبط.

النقطة	RMSxy (mm)
1	4.9
2	10.0
3	6.9
4	25.5
5	2.8
6	9.9
7	15.0
8	4.3
9	2.5
10	4.2
11	14.4



الشكل (9). توزع نقاط الضبط المستخدمة في الربط الهندسي بين الصورة المرجعة عمودياً (أورثوفوتو) للواجهة الغربية من الكنيسة الإنجيلية والمخطط المعماري لنفس الواجهة.

نلاحظ من الجدول (1) أن ما يزيد عن 70% من الرواسب على نقاط الضبط تقع بين القيمتين $+RMSt$ و $-RMSt$ فالتحويل مقبول وذلك بفرض أن هذه الرواسب تتبع للتوزيع الطبيعي. من ناحية أخرى، لتقييم الخطأ متوسط التربيع الكلي على التحويل اعتمدنا علاقة حد التساهل للتحويل الهندسي التالية [9]:

$$RMSt \leq 4 \rightarrow 6 \times GSD \qquad \textbf{(1)}$$

حيث GSD هي مسافة الاعتيان الأرضية (ما يمثله البكسل في الصورة على الأرض). وبتطبيق العلاقة (1)، مع معرفة أن GSD=2 mm، نجد:

$$RMSt \leq 4 \rightarrow 6 \times 2 = 8mm \rightarrow 12\ mm$$

أي أن المجال المقبول للخطأ متوسط التربيع على التحويل يتراوح بين 8 mm و12 mm وبالتالي فالتحويل مقبول لأن الخطأ المتوسط التربيع الكلي (11 mm) يقع ضمن هذا المجال.

من ناحية أخرى، تعطى دقة القياس بالمتر على مخطط مقياسه 1/S بالعلاقة التالية [10]:

$$RMSt \leq 0.2 \rightarrow 0.3 \times \frac{S}{1000} \qquad \textbf{(2)}$$

وبالتالي، وبعد تطبيق العلاقة (2) في حالة المخطط المعماري الذي مقياسه 1/50، نحصل على دقة قياس تقع ضمن المجال 10 mm–15 mm. وإذا علمنا من ناحية أخرى أن الخطأ متوسط التربيع الكلي (قيمته 11 mm في حالتنا) يمثل دقة القياس على الصورة المرجعة عمودياً، نجد أن هذه القيمة تقع ضمن المجال السابق وبالتالي نستنتج أن الصورة المرجعة عمودياً يمكن أن تشكّل بديلاً عن المخطط المعماري.

✓ **إنتاج النموذج الشعاعي ثلاثي الأبعاد للواجهة**

تمتلك برمجيات الجيل الحديث التي تستخدم تقنية الـ SfM إمكانيات النمذجة الشعاعية المباشرة انطلاقاً من الصور الموجهة والنموذج الصوري الحقيقي. هذه العملية نصف مؤتمتة حيث إنه يكفي أن نرقمن العنصر على إحدى الصور الموجهة ليتم قياسه بشكل آلي على باقي الصور ومن ثم حساب شكله ثلاثي الأبعاد الحقيقي. نبين في الشكل (10) آلية الرقمنة ثلاثية الأبعاد للواجهة المدروسة انطلاقاً من النموذج الصوري الحقيقي والصور.

الشكل (10). النمذجة ثلاثية الأبعاد داخل نظام SfM على النموذج الصوري الحقيقي للواجهة.

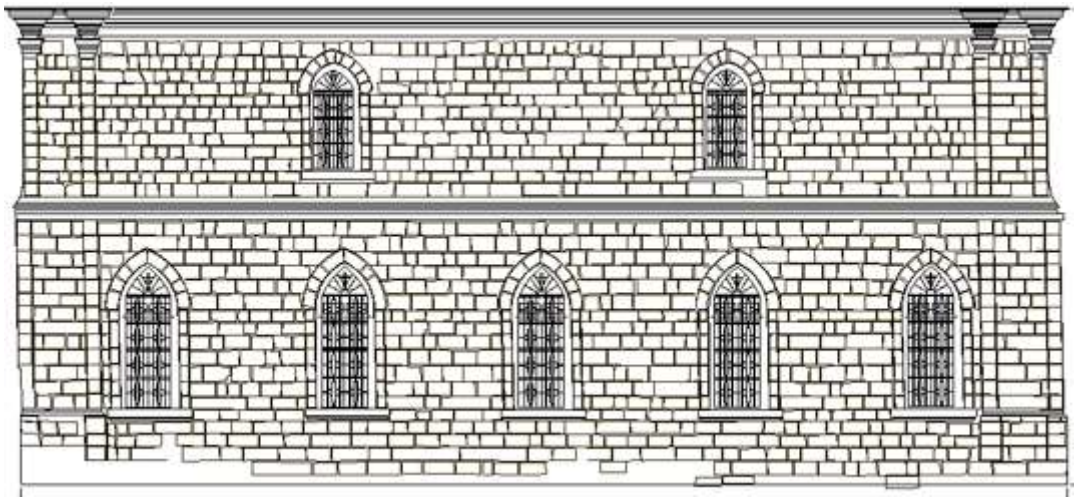
من ناحية أخرى، يعتبر النموذج الصوري الحقيقي ثلاثي الأبعاد الناتج عن تقنية SfM ذا قدرة تعبيرية هائلة عن العنصر المنمذج ويمكن استخدامه كبديل عن المخططات المعمارية ثلاثية الأبعاد لأنه يستخدم الصور في التعبير عن العناصر المعمارية وليس الخطوط أو غيرها والتي تعتبر تبسيطاً من وجهة نظر تعبيرية. وبالتالي، يمكن الاستناد إلى هذا النموذج في حالة الرغبة في الترميم لأنه يمثل المنشأ مع كافة مكوناته بواقعية عالية وبأبعاده الحقيقية.

✓ **توليد المخطط المعماري للواجهة انطلاقاً من غمامة النقاط الكثيفة**

تملك الإصدارات الجديدة من برامج الرسم بمعونة الحاسب إمكانية التعامل مع غمامات النقاط ثلاثية الأبعاد ووصفها أساساً للنمذجة المباشرة في البعدين وفي الأبعاد الثلاثة. في الواقع، يملك العديد من برمجيات التعامل مع غمامات النقاط ثلاثية الأبعاد إمكانيات النمذجة المباشرة ثنائية وثلاثية الأبعاد على هذه الغمامة. نذكر من هذه البرمجيات البرنامج Undet والمتوفر بإصدارات تخص البرنامج Sketchup و AutoCAD و Revit. كما نذكر البرنامجين Civil 3D و Revit والبرامج المرفقة مع الماسحات الليزرية ثلاثية الأبعاد. يعدّ البرنامج Undet واعداً جداً في هذا المجال ولكنه مازال في طور التجريب ولا تتوافر حتى الآن نسخة نهائية منه. أما البرنامج Civil 3D فهو واسع الانتشار، كما أنه يمتلك مجموعة واسعة من أدوات النمذجة ثلاثية الأبعاد [11]، ولهذا قررنا اعتماده من أجل النمذجة المباشرة على الغمامة ثلاثية الأبعاد.

تم استخدام غمامة النقاط ثلاثية الأبعاد كأساس لرقمنة العناصر المعمارية المشكّلة للواجهة المدروسة بكافة التفاصيل الممكنة من أحجار، أعمدة، أقواس ونوافذ. نبين في الشكل (11) عملية الرقمنة على غمامة الواجهة أما الشكل (12) فيوضح مخطط الرسم الناتج عن هذه العملية.

الشكل (11). الرقمنة على غمامة النقاط الكثيفة للواجهة.



الشكل (12). المخطط الناتج عن الرقمنة على غمامة النقاط الكثيفة للواجهة.

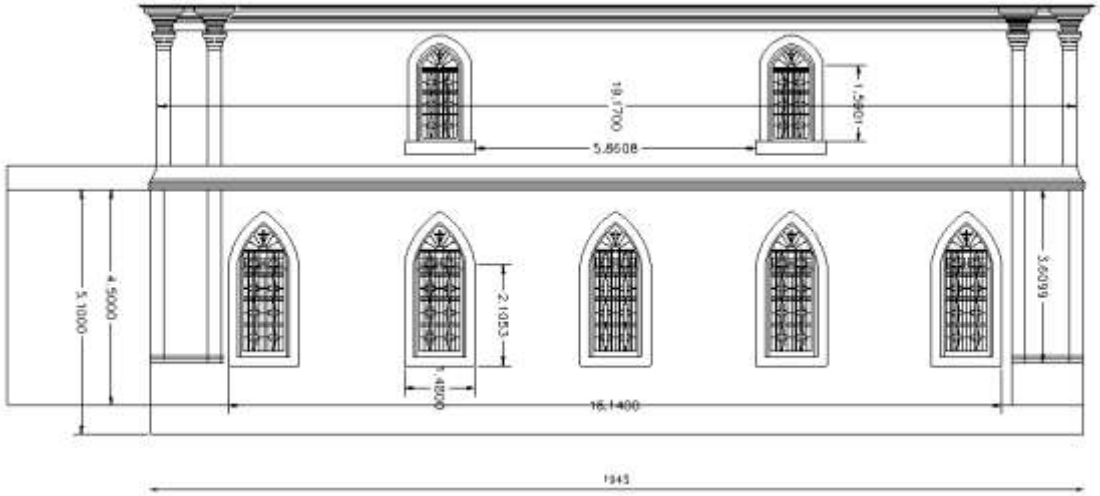
نلاحظ من الشكل (12) وجود نقص في المخطط وخاصةً في الجزء الأسفل من الواجهة وذلك نتيجة لوجود عوائق أمام الواجهة خلال التصوير.

لتقييم دقة المخطط الناتج عن الرقمنة قمنا بقياس مجموعة من المسافات الأفقية والشاقولية على هذا المخطط وقارناها مع مقابلاتها على المخطط المعماري الأصلي والتي اعتبرناها مسافة مرجعية ناتجة عن قياسات أكثر دقة. يبين الشكل (13) مواقع هذه المسافات كما يبين الجدول (2) نتائج هذه المقارنة.

الجدول (2). مقارنة المسافات المقاسة على مخطط الرقمنة مع مسافات مرجعية.

المسافة	على المخطط المعماري الأصلي (m)	على المخطط المعماري الناتج عن الرقمنة (m)	الفرق (mm)
1	19.450	19.439	11
2	16.140	16.119	21
3	4.500	4.489	11
4	5.100	5.108	-8
5	2.100	2.112	-12
6	1.480	1.469	11

13	19.157	19.170	**7**
-1	1.502	1.501	**8**
-17	2.12	2.103	**9**
9	5.852	5.861	**10**



الشكل (13). المسافات المستخدمة لتقييم دقة المخطط المعماري الناتج عن رقمنة الغمامة الكثيفة للواجهة.

نلاحظ من الجدول السابق أن معظم الفروقات في المسافات لا تتجاوز قيمة دقة القياس على المخطط المعماري من المقياس 1/50، وإذا قمنا بحساب الخطأ المتوسط التربيع على الفروقات نجد أنه يساوي 11.9 mm وهي قيمة تقع ضمن المجال المقبول لدقة القياسات على المخططات من المقياس 1/50.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

بالاستناد إلى الدراسة النظرية والتطبيق العملي المقدمين حول إمكانية استخدام منتجات المسح التصوير المؤتمت كبديل عن المخططات المعمارية في توثيق المواجهات الأثرية، نستنتج ما يأتي:

1. تشكّل الصور المرجعة عمودياً الناتجة عن تطبيق تقنية المساحة التصويرية المؤتمتة القائمة على اقتطاع البنية من الحركة SfM photogrammetry حلّاً فعّالاً من أجل الحصول على مخططات شعاعية للواجهات الأثرية تحاكي دقة القياس عليها دقة القياس على المخطط المعماري. في بحثنا بلغت هذه الدقة 11 mm وهي تماثل دقة القياس على المخططات ذات المقياس 1/50.

2. يمكن استخدام الصورة المرجعة عامودياً كمخطط صوري دقيق عوضاً عن المخطط المعماري التقليدي وذلك بفضل التكامل بين المساحة التصويرية المؤتمتة القائمة على اقتطاع البنية من الحركة SfM photogrammetry ونظم المعلومات الجغرافية.

3. يمكن استخدام النموذج الصوري الحقيقي كوثيقة هامة في أعمال التوثيق نظراً للغنى البصري الذي يتمتع به إضافةً إلى إمكانية الرقمنة عليه للحصول على النماذج الشعاعية ثلاثية الأبعاد للواجهة المدروسة.

4. يمكن استخدام الصورة المصححة عامودياً للحصول على بينات ذات دقة مماثلة لدقة القياس على المخطط المعماري بالمقياس 1/50.

5. يمكن من خلال التكامل بين تقنية المساحة التصويرية المؤتمتة القائمة على اقتطاع البنية من الحركة SfM photogrammetry ونظم التصميم بمعونة الحاسب CAD الاستفادة من غمامات النقاط الكثيفة التي تمثل الواجهة الأثرية في الحصول على مخططات شعاعية ذات دقة تحاكي دقة المخططات المعمارية.

التوصيات:

نوصي باستخدام المساحة التصويرية المؤتمتة القائمة على اقتطاع البنية من الحركة SfM photogrammetry كبديل عن الرفع الطبوغرافي التقليدي (مخططات معمارية) من أجل الحصول على منتجات تمكننا من توثيق الواجهات المعمارية الأثرية بعدة أشكال مفيدة كلها للعاملين في مجال التوثيق. كما نوصي باستخدام نقاط الضبط كبيانات مرجعية عوضاً عن استخدام المسافات وذلك لأنها تؤمن رفع دقة منتجات الـ SfM وتمكننا من تقييم أكبر لمصادر الأخطاء.

References:

[1] HASSANI, F., MOSER, M., RAMPOLD, R., WU, C- Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-5/W7, 2015, pp. 207-214.

[2] GRUSSENMEYER, P., Al KHALIL, O- From Metric Image Archives to Point Cloud Reconstruction: Case Study of the Great Mosque of Aleppo in Syria. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XLII-2/W5, 2017, pp. 295-301.

[3] GAGLIOLO, S., AUSONIO, E., FEDERICI, B., FERRANDO, I., PASSONI, D., SGUERSO, D- 3D culture heritage documentation: a comparison between different photogrammetric software and their products. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2, 2018, pp. 1-8.

[4] Al KHALIL, O. Structure from motion (SfM) photogrammetry as alternative to laser scanning for 3D modelling of historical monuments. Open Science Journal, Vol 5, N^{o} 2, 2020, pp. 212-219.

[5] GRUSSENMEYER, P., LANDES, T., DONEUS, M., LERMAT, J. L- Basics of range-based modelling techniques in Cultural Heritage. In: 3D recording, documentation and management of cultural heritage , 2016, 388p.

[6] AGISOFT METASHAPE- Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, 2020, 160p. https://agisoft.com (Access 1/10/2021).

[7] MICHELLETI, N., CHANDLER, J. H., LANE, S- Structure from motion (SFM) photogrammetry. In: Geomorphological Techniques, 2015, 350p.

[8] LUHMANN, T., ROBSON, S., KYLE, S., BOEHM, J- Close-range photogrammetry and 3D imaging. Walter de Gruyter, 2013, 522p .

[9] Al KHALIL, O- Standards to evaluate the precision of geometric correction of satellite images. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2), 2016, pp.29-44.

[10] WOLF, PAUL R., BON A. DEWITT, BENJAMIN E. WILKINSON- Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education 2014,p475.

[11] RASMUSSEN, M. Working with point clouds in AutoCAD Civil 3D 2017. https://blogs.rand.com/ascent/2016/07/working-with-point-clouds-in-autocad-civil-3d-2017.html. (Access 1/10/2021).