Evaluation of the Effectiveness of Mobile Phone Built-in Cameras for the 3D Documentation of Archaeological Sites

Dr .Omar AL KHALIL*
Dr .Ahmad Ali**
Amjad Hamdan ***

(Received 13 / 1 / 2022. Accepted 14 / 2 / 2022)

□ ABSTRACT □

Cultural heritage all over the world, especially in Syria, is in danger of being destroyed due to some natural (earthquakes, weather and climate conditions) or human activities (wars, poor preservation and maintenance). Therefore, an effective method must be used to document and preserve this heritage. 3D models of archaeological sites are considered one of the most important inputs to the documentation process.

The current study evaluates the effectiveness of images taken by a set of mobile phone built-in cameras for 3D modeling of the archaeological site known as the Panorama of the Sheikh Khalil Al-Khatib (Tartous). To evaluate the resulted 3D, it was compared with a 3D model of the same site generated from images taken by a professional camera.

Experience has proven that the geometric accuracy of the resulting models ranges between (8-17) mm, and it can provide detailed measurements suitable for documentation proces.

Keywords: low-cost photogrammetry, mobile phone camera, professional camera, dense clouds, 3D model.

* **Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.** omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

** **Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.** ahmadsalmanali@tishreen.edu.sy

*** **Postgraduate Student (Master), Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.** Amgadhamdan35@gmial.comsy

تقييم فعالية آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة في التوثيق ثلاثي الأبعاد للمواقع الأثرية

د. عمر الخليل*

د. أحمد علي**

أمجد حمدان***

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2022. قُبِل للنشر في 14/ 2 / 2022)

□ ملخّص □

يتعرض التراث الثقافي في جميع أنحاء العالم، وخاصة في سوريا لخطر التدمير بسبب بعض العوامل الطبيعية (الهزات الأرضية، ظروف الطقس والمناخ) أو البشرية (الحروب، سوء الحفظ والصيانة). لذلك لابد من استخدام طريقة فعالة لتوثيق هذا التراث وحفظه. هذا وتعتبر النماذج ثلاثية الأبعاد للمواقع الاثرية من اهم مدخلات عملية التوثيق.

تقيّم الدراسة الحالية فعالية الصور الملتقطة باستخدام مجموعة من آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة في النمذجة ثلاثية الأبعاد للموقع الاثري المعرف باسم بانوراما المجاهد الشيخ خليل الخطيب (طرطوس–برمانة المشايخ) وذلك من خلال مقارنتها مع النموذج الناتج من صور تم التقاطها من الة تصوير احترافية.

أثبتت التجربة أن الدقة الهندسية للنماذج الناتجة تتراوح بين (8–17) mm وهي دقات تؤمن مقاييس تفصيلية مناسبة لأعمال التوثيق.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية منخفضة التكاليف، آلة تصوير الهاتف المحمول، الة التصوير الاحترافية، غمامة النقاط، النموذج ثلاثي الأبعاد.

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

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

*** طالب دراسات عليا–ماجستير–قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية. سورية.Amgadhamdan35@gmial.comsy

مقدّمة:

تعتبر مواقع التراث الثقافي أحد المكونات الأساسية للثروة الوطنية لأية دولة. هذا، وإن حماية عنصر ثقافي أو تاريخي أمر مستحيل دون رعاية وصيانة مستمرة لذلك فإن الحفاظ على الآثار أمر مهم لذلك يجب البحث عن أفضل الطرق لتوثيق وتسجيل هذه الآثار، لأن توثيقها سيفيد لاحقا في ترميمها، أو إعادة بنائها في حال تعرضها للتخريب الجزئي أو الكلي.

تعتبر المساحة التصويرية الأرضية التقليدية Terrestrial photogrammetry أحد أهم التقنيات المستخدمة في توثيق الآثار لكنها تقنية مرتفعة التكاليف تحتاج الى أجهزة وأدوات مرتفعة الثمن كما أنها تحتاج الى كوادر خبيرة تجيد العمل على تلك الأجهزة، لذلك تم التوجه إلى استخدام تقنيات ذات تكاليف منخفضة ولاسيما بعد التطور الكبير والسريع في آلات التصوير والبرامج المستخدمة.[1]

توجد العديد من الأبحاث حول المساحة التصويرية منخفضة التكاليف Low-cost photogrammetry(آلات تصوير رقمية لا مترية، برامج سهلة الاستخدام، خبرة أو معرفة بسيطة بالمساحة التصويرية) من هذه الدراسات نذكر [2] التي أشارت إلى ضرورة استخدام المساحة التصويرية المنخفضة التكاليف الى جانب الماسح الليزري وذلك من أجل استكمال النقص في بيانات الماسح الليزري حيث تتكامل مع بعضها البعض لتوليد نموذج كامل ومن هنا تأتي أهمية المساحة التصويرية منخفضة التكاليف مع الإشارة الى ان التخطيط الجيد لالتقاط الصور يضمن كمالية النموذج الناتج.

توجد العديد من العوامل التي تؤثر على نوعية منتجات المسح التصويري منخفض التكاليف ومنها دقة آلة التصوير المستخدمة (دقة التمييز الهندسية للصور، معايرة آلة التصوير، طبيعة الموقع ودرجة التعقيد الهندسي للمنشأ وطبيعة بيانات الضبط. فقد تمت الإشارة في [3] أنه لدى دراسة تأثير دقة التمييز الهندسية للصور على النوعية الهندسية للنماذج ثلاثية الأبعاد المحسوب منها تبين أن دقة التمييز المنخفضة للصور تخفض وبشكل كبير الزمن اللازم لمعالجتها واقتطاع البيانات منها باستخدام نظم المسح التصويري المؤتمت، ولكن على حساب الدقة النهائية للنموذج ثلاثي الأبعاد الناتج. أما في [4] فقد تمت الاشارة الى انه من أجل تقييم دقة وفعالية المساحة التصويرية منخفضة التكاليف فلا بد من تجربتها على موقع مناسب بحيث تكون ظروف هذا الموقع مشابهة للحالة الطبيعية والابتعاد عن دراسة المواقع البسيطة هندسياً أو المثالية باعتبار أن كل مشهد يفرض تحديات مختلفة، لذلك تعتبر التجربة والأخطاء ضروريين من أجل الحصول على نتائج دقيقة.

نتيجةً للتطور التقني، ظهرت آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة والتي صارت تستخدم لاقتطاع الصور اللازمة للمسح التصويري، ولكن لا يتوفر إلا القليل من الأبحاث التي اختبرت فعالية هذه الآلات كأداة في الحصول على صور تؤمن نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة. نذكر من هذه الأبحاث [5] الذي أشار إلى أن كل من أبعاد البيكسل والبعد المحرقي تؤثر بشكل كبير على دقة القياس عند توليد النماذج ثلاثية الأبعاد.

تهدف بعض الأبحاث ايضاً إلى دراسة موثوقية آلات تصوير الهواتف النقالة في إعادة البناء ثلاثي الأبعاد للعناصر التراثية الثقافية منها الدراسة [6] التي أشارت الى ضرورة الاستفادة من القواعد التي تتعلق بالتقاط الصور من حيث البعد عن العنصر ونسبة التداخل بين الصور وزوايا التقاط الصور كما يجب المحافظة على نفس الشروط أثناء جمع البيانات في حال استخدام طريقتين لجمع البيانات وذلك للحكم على فعالية كل طريقة بشكل عملي.

نشير من ناحية اخرى أنه مع تطور الأبحاث في مجال الرؤيا بمعونة الحاسب واقتطاع البنية انطلاقاً من الحركة Structer from Motion (SfM) والي تعتبر طريقة منخفضة التكلفة وسهلة الاستخدام للحصول على مجموعات

بيانات عالية الدقة، بينت نتائج البحث [7] أن كثافة النقاط التي تم الحصول عليها بطريقة ال SFM ، كانت مشابه لكثافة النقاط التي تم الحصول عليها بطريقة المسح الليزري.

سنقوم في هذا البحث بتقييم دقة النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة عن الصور الملتقطة بالعديد من آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة وذلك عبر مقارنتها مع نموذج الة التصوير الاحترافية. تم استخدام الة التصوير الاحترافية Nikon D7200 والهواتف النقالة Galaxy Grand Prime Plus – HUAWEI Y9 –SAMSUNG A30 وذلك باستخدام تقنية SfM لحساب النماذج المختلفة للموقع المذكور.

جرى تطبيق التجربة على الموقع الأثري المعروف باسم بانوراما المجاهد خليل الخطيب الموجود في محافظة طرطوس.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يقترح نظاماً متكاملاً للمساحة التصويرية منخفضة التكاليف وذلك من ناحية استخدام آلات التصوير المرفقة مع مجموعة من الهواتف النقالة بالإضافة إلى استخدام برمجيات SfM. كما يهدف إلى تحليل أهم العوامل المؤثرة على دقة النماذج ثلاثية الأبعاد للمنشآت الاثرية عند استخدام الصور الملتقطة بوساطة الة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال، وذلك من خلال مقارنة النتائج مع نتائج النمذجة القائمة على استخدام صور ملتقطة بآلة تصوير احترافية معايرة.

طرائق البحث ومواده:

1- موقع الدراسة

المنشأ الأثري الذي نسعى إلى نمذجته هو بانوراما المجاهد الشيخ خليل الخطيب (الشكل 1) وهو لوحة فنية محفورة في الصخر تجسد ذكرى الشيخ المجاهد خليل الخطيب أحد أهم رجالات الثورة السورية ضد المستعمر الفرنسي. فيما يخص الموقع الطبوغرافي، تتربع البانوراما على جرف صخري يسمى قلع النحلات بامتداد 35 متراً وارتفاع 5 أمتار وبمساحة تقدر بنحو 200 متر مربع لتكون أضخم تمثال لوجه منحوت في سورية حيث تضم عدداً من الوجوه التي تمثل شخصيات عاصرت الشيخ الخطيب. تحوي البانوراما تفاصيل معقدة جداً من الناحية المعمارية والهندسية يعود ذلك الى الدقة والمهارة العالية في تجسيد وتمثيل الشخصيات.

الشكل (1). بانوراما الشيخ خليل الخطيب.

2- آلات التصوير المستخدمة

تم اجراء التصوير بالاعتماد على آلات تصوير مرفقة مع مجموعة من الهواتف النقالة وآلة تصوير احترافية. فيما يخص آلة التصوير الاحترافية، فقد تم استخدام الآلة المعايرة أحادية العدسة NIKON D7200 (الشكل 2). تتصف آلة التصوير هذه بقدرتها على التقاط صور بدقة تميز 24.2 ميغا بكسل أحادية العدسة بالإضافة الى أنها مزوده بجزء بصري ذي استقرار هندسي عالي وبمستشعر من النوع CMOS.

الشكل (2).الة التصوير الاحترافية NIKON D7200.

أما بالنسبة لآلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة فقد استخدمنا ثلاثةً منها نجد في الجدول 1 أهم مواصفات هذه الآلات.

الجدول (1). مواصفات آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة المستخدمة.

الاسم	دقة تميز الصورة (ميغا بكسل)	نوع المستشعر
SAMSUNG A30	16	CCD
HUAWEI Y9	12	CCD
Galaxy Grand Prime plus	8	CCD

3- الجهاز المساحي المستخدم

تم إجراء القياسات الحقلية المساحية باستخدام جهاز المحطة المتكاملة Topcon GTS 1002، لإجراء قياسات الاتجاهات والمسافات، بدقة 2^{cc} للاتجاه الواحد، و $2\ mm$ للمسافة الواحدة.

4- برنامج المعالجة SfM المستخدم

تم استخدام البرنامج Photoscan Metashape كأداة لمعالجة البيانات في هذا المشروع. يستخدم هذا البرنامج مبادئ SfM للتوجيه الآلي الصور وتوليد الغمامة الكثيفة للنقاط 3D dense point cloud والنموذج السطوحي ثلاثي الأبعاد 3D Surface model والنموذج الصوري الواقعي 3D photorealist model وكذلك الصور المصححة عمودياً Orthophots. يعتبر البرنامج Photoscan Metashape من أكثر برمجيات SfM فعاليةً من ناحية عدد الصور التي ينجح في توجيهها وتعدد الصيغ المعيارية للنتائج وكذلك سهولة ومرونة استخدام الواجهة الأساسية للبرنامج [8]. المدخلات الإجبارية لعمل البرنامج هي الصور وآلة التصوير (مواصفاتها) أما معطيات الضبط Control data فهي مدخل ضروري فقط عندما نريد وضع النموذج في جملة إحداثيات مترية.

النتائج والمناقشة:

1-منهجية التوثيق ثلاثي الأبعاد للبانوراما

تمر المنهجية المقترحة للتوثيق ثلاثي الأبعاد لبانوراما المجاهد الشيخ خليل الخطيب بمرحلتين أساسيتين هما:

1. مرحلة اقتطاع البيانات (أعمال حقلية) والتي تهدف إلى الحصول على المدخلات، بعد تطبيق مجموعة التوصيات الهندسية والفوتوغرافية [9] ، وهي مرحلة يدوية وتضم العمليات التالية:

✓ تأمين معطيات الضبط والتي تأخذ شكل نقاط أساس مساحي ونقاط ضبط على البانوراما، حيث يتطلب إنجاز هذه المرحلة القيام بأعمال جيوديزية (أفقية وشاقولية) تقليدية.

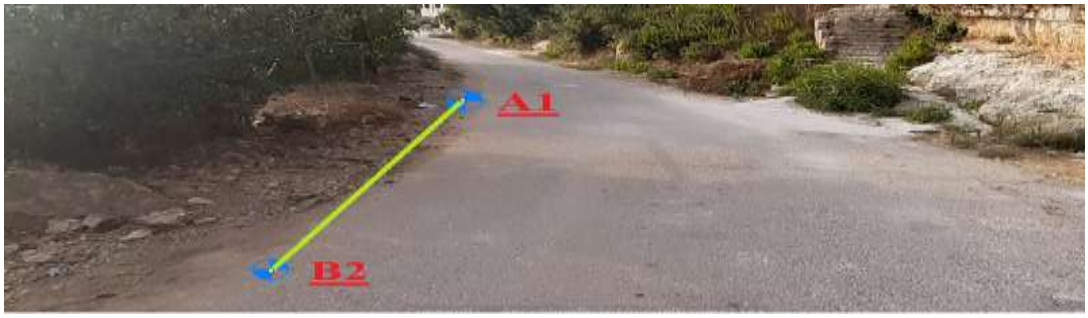
✓ التقاط صور باستخدام آلة تصوير رقمية احترافية وبآلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة والموضحة في الجدول 1.

2. مرحلة معالجة البيانات باستخدام برنامج المعالجة المعتمد والحصول على النتائج وتحليلها (أعمال حقلية) والتي تهدف إلى الحصول على المدخلات.

1-1 اقتطاع البيانات

✓ **الأساس المساحي**

بعد عمليات الاستكشاف الحقلية للموقع وتحديد مكان زراعة نقطتي الاستناد لخط القاعدة (A1,B2)، قمنا بزراعة هاتين النقطتين باستخدام براغي حديدية بقطر 2 mm وبعمق 3 mm في الطبقة الإسفلتية للشارع المواجه للبانوراما (الشكل 3).



الشكل (3).خط القاعدة.

وعند الانتهاء من عملية زراعة النقاط، تم إجراء القياسات الحقلية المساحية اللازمة لحساب خط القاعدة. قمنا بفرض احداثيات النقطة A1 (100,100,10) وتم قياس المسافة بين نقطتي خط القاعدة وكذلك فرق الارتفاع وذلك من أجل حساب احداثيات النقطة B2، حيث قمنا بقياس المسافة عدد مرات وحساب المتوسط الحسابي لها واعتمدنا التسوية غير المباشرة لحساب فرق الارتفاع، يبين الجدول 2 احداثيات نقاط خط القاعدة.

الجدول (2). احداثيات نقاط خط القاعدة المستخدم.

اسم النقطة	x (m)	y (m)	Z(m)
A1	100.000	100.000	10.000
B2	108.364	100.000	9.437

✓ اختيار مواقع نقاط الضبط على جسم البانوراما

إن الهدف من زرع هذه النقاط وتحديد احداثياتها هو حساب هندسية النموذج وتقييم دقته الهندسية. تم اعتماد نقاط ضبط طبيعية الشكل(4) وذلك لأن زراعة نقاط ضبط صناعية لم يكن ممكناً نظراً لطبيعة المنشأ ولأبعاده الضخمة. قمنا بتأمين وجود 6 نقاط ضبط (مع أن العدد الأصغري المطلوب هو ثلاث نقاط) وسطياً في مناطق تداخل الصور بحيث تكون موزعة بشكل طولاني موحد ضمن هذه المناطق، وذلك لضمان استقرار حساب بلوك الصور رياضيا. إن توفر هذا العدد الكبير من نقاط الضبط سيمكننا لاحقا من استخدام بعضها كنقاط اختبار للحكم على نوعية التوجيه الخارجي للصور.

بما أنه ام تتوفر لدينا في الموقع كافة الشروط اللازمة لتحديد إحداثيات نقاط الضبط هذه بالتقاطع الفراغي (اعتبارها جزء من الشبكة الأساسية) فقد تم التعامل مع نقاط الضبط المزروعة على البانوراما كما يتم التعامل مع نقاط الرفع التفصيلي أي أننا حسبنا إحداثياتها بالطريقة المباشرة (زاوية ومسافة وفرق ارتفاع). وبما أنه يمكن رؤية كل هذه النقاط من نقاط القاعدة فقد تم اعتماد القيم المتوسطة لهذه الاحداثيات (الجدول 3).

الشكل (4).نقاط الضبط على البانوراما.

الجدول (3). احداثيات بعض نقاط الضبط المستخدمة.

نقطة الضبط	X (m)	Y (m)	Z (m)
5	97.802	94.118	12.767
6	99.082	93.392	12.800
7	100.282	93.367	12.808

لضمان التعرف الدقيق على نقاط الضبط خلال قياسها على الصور، فقد تم انشاء كرت وصف لكل نقطة ضبط وذلك عن طريق تصويرها بالة تصوير الهاتف المحمول وترقيمها بشكل مباشر بعد عملية التصوير بالإضافة الى تصويرها من خلال الجهاز المساحي وذلك أثناء عملية الرفع المساحي حيث تظهر نقطة تقاطع الشعيرات الستاديمترية الموقع الدقيق للنقطة الضبط (**الشكل 5**).

الشكل (5).نقطة الضبط الطبيعية رقم(18).

✓ **التقاط الصور**

تم التقاط الصور اللازمة لنمذجة البانوراما باستخدام آلة التصوير المعايرة المعتمدة في بحثنا وباستخدام آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة الموضحة في الجدول 1. ومن أجل موثوقية تقييم الدقة والحكم على دقة ونوعية النتائج كان لابد من تثبيت كافة الشروط الحقلية وشروط المعالجة. فيما يخص الشروط الحقلية فقد:

1. قمنا بالتقاط الصور بنفس التوقيت لضمان عدم اختلاف ظروف الاضاءة وذلك من حيث الظل وتأثير الطقس الغائم والطقس المشمس.
2. قمنا بالتقاط نفس العدد من الصور للواجهة وبنفس زوايا التصوير من آلات التصوير المختلفة وذلك من خلال تقسيم خط القاعدة الى محطات تصوير بتباعدات متساوية.
3. اعتمدنا القاعدة المساحية ذاتها لحساب نقاط الضبط وبالتالي كافة النماذج التي سيتم توليدها ستكون في نفس الجملة (نظام الاحداثيات).

أما بالنسبة لشروط المعالجة فقد تم:

1. تطبيق نفس شروط المعالجة على كافة النماذج من حيث نوعية المعالجة ومستواها.
2. استخدام نفس العدد من نقاط الضبط على كافة النماذج.
3. استخدام نفس الحاسب لتوليد النماذج ثلاثية الأبعاد.

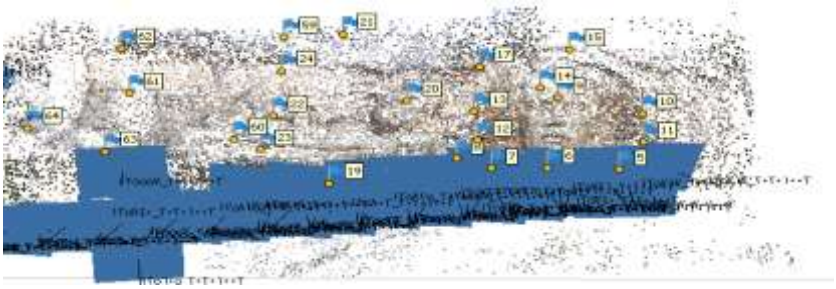
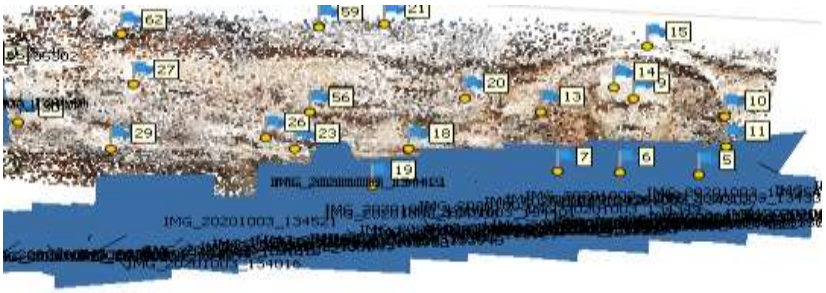
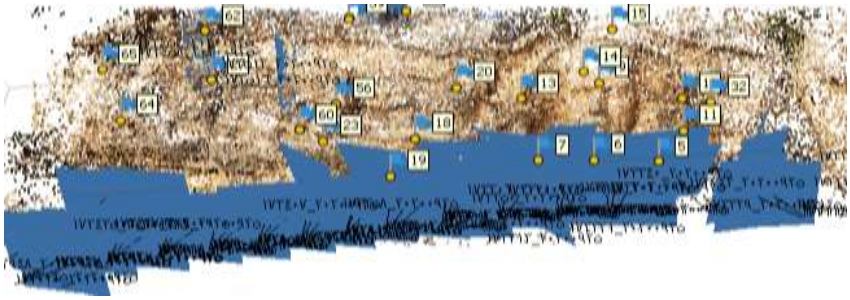
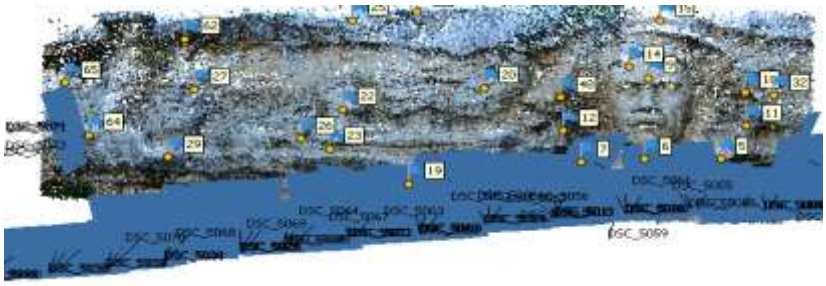
✓ **نمذجة البانوراما**

تم ادخال الصور الملتقطة باستخدام آلات التصوير المدروسة (71 صورة) ونقاط الضبط (24 نقطة ضبط) إلى برنامج المعالجة المستخدم وتم تنفيذ النمذجة وفق التسلسل التالي:

1. حساب غمامة النقاط المبعثرة (Tie point) للبانوراما (التوجيه النسبي للصور) وقياس نقاط الضبط على مختلف الصور (التوجيه المطلق).
2. حساب الغمامة الكثيفة للبانوراما (Dense cloud).
3. حساب النموذج السطوحي(Surface model) .
4. توليد النموذج الصوري الواقعي للبانوراما (Tiled model).
5. توليد الصورة المرجعة عمودياً للبانوراما Orthophoto.

نعطي فيما يلي مراحل تدفق العمل لنمذجة الواجهة الأساسية للبانوراما لآلات التصوير المستخدمة باستخدام النظام Photoscan.

1. تم توجيه الصور البالغ عددها 71 صورة بشكل نسبي (الشكل 6) ضمن حيّز الصورة وذلك باستخدام نقاط ربط استشعرها البرنامج آلياً. ثم تم استخدام نقط الضبط المزروعة على البانوراما البالغ عددها 24 نقطة ضبط وذلك لتحديد مواقع وتوجيه آلة التصوير ضمن جملة الإحداثيات المحلية المعتمدة.

آلة التصوير المستخدمة	عدد نقاط التوجيه	الغمامة المبعثرة ومواقع الصور
Grand Prime Plus	35 ألف	
HUAWEI Y9	54 ألف	
SAMSUNG A30	55 ألف	
NIKON D7200	135 ألف	

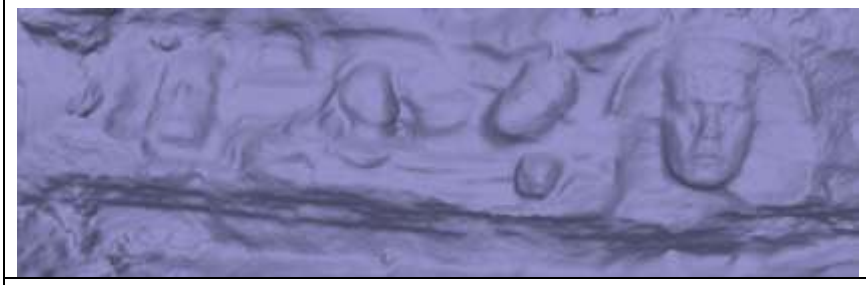
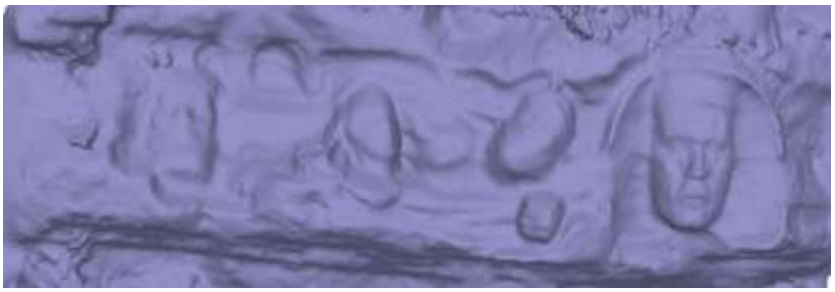
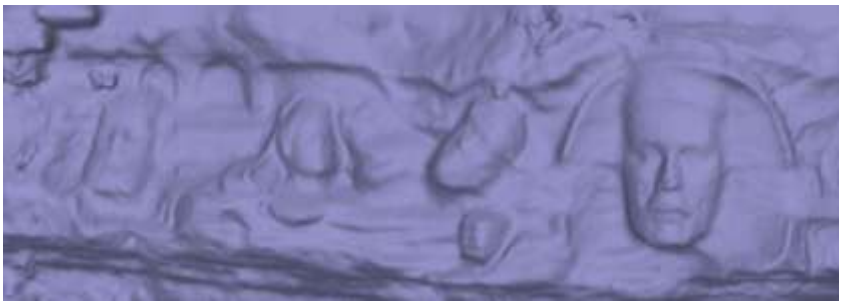
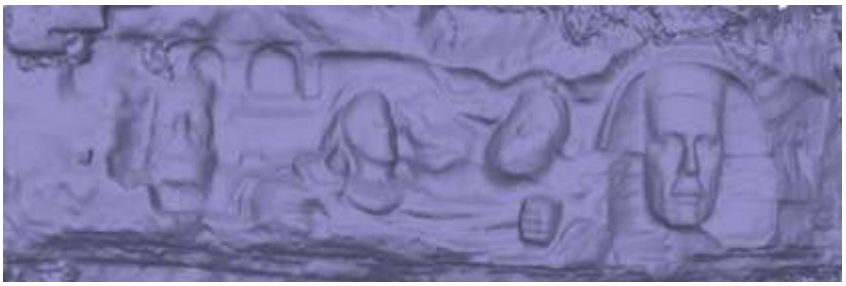
الشكل (6). غمامة النقاط المبعثرة المستخدمة في توجيه صور الواجهة ضمن حيّز الصورة.

2. تم توليد غمامة كثيفة من النقاط (الشكل 7) انطلاقاً من الصور الموجهة في المرحلة السابقة عند مستوى معالجة عال فحصلنا على مئات الألاف من النقاط ثلاثية الأبعاد للبانوراما.

آلة التصوير المستخدمة	عدد نقاط الغمامة	الغمامة المبعثرة ومواقع الصور
Grand Prime Plus	405 ألف	
HUAWEI Y9	448 ألف	
SAMSUNG A30	465 ألف	
NIKON D7200	1 مليون	

الشكل (7). غمامة النقاط الكثيفة للواجهة

3. تم توليد النموذج السطوحي (الشكل 8) انطلاقاً من الغمامة الكثيفة السابقة فحصلنا على شبكة مثلثات عير منتظمة TIN.

آلة التصوير المستخدمة	عدد الأوجه	الغمامة المبعثرة ومواقع الصور
Grand Prime Plus	89 ألف	
HUAWEI Y9	171 ألف	
SAMSUNG A30	180 ألف	
NIKON D7200	250 ألف	

الشكل (8). النموذج السطوحي للواجهة.

4. تم توليد النموذج الصوري الحقيقي (الشكل 9) عبر إعادة إسقاط الصور على سطوح النموذج السطوحي الناتج عن الخطوة السابقة.

آلة التصوير المستخدمة	الغمامة المبعثرة ومواقع الصور
Grand Prime Plus	
HUAWEI Y9	
SAMSUNG A30	
NIKON D7200	

الشكل (9). النموذج الصوري الحقيقي للواجهة.

5. تم توليد صورة مصححة عامودياً (الأورتوفوتو Orthophoto) لهذه الواجهة (الشكل 10) وهو منتج مساحي يكافئ المخطط المعماري حيث يتم فيه التخلص من كل أشكال التشوهات الهندسية ويمكن استخدامه للقياس.

آلة التصوير المستخدمة	الغمامة المبعثرة ومواقع الصور
Grand Prime Plus	
HUAWEI Y9	
SAMSUNG A30	
NIKON D7200	

الشكل (10). الأورتوفوتو للواجهة الأساسية للبانوراما.

✓ **تقييم النتائج**

لتقييم الدقة تم اعتماد المعايير التالية:

1. الدقة الهندسية.
2. كمالية المنتجات (عدد نقاط التوجيه والغمامة الكثيفة والأوجه).

3. تقييم الدقة الهندسية لغمامة SfM.

أولا تقييم الدقة الهندسية:

تم اعتماد معيار الخطأ المتوسط التربيع الكلي (ε_r) على مواقع نقاط الضبط من أجل تقييم الدقة الهندسية لحساب النماذج المختلفة. كما تم اعتماد المقياس الرسومي الخاص لكل نموذج والذي تم حسابه وفق العلاقة التالية[10]:

$$k = \frac{0.25}{\varepsilon_r}$$

النتائج موضحه في الجدول(4)

الجدول (4). الأخطاء المتوسطة التربيع والمقاييس الرسومية للنماذج.

آلة التصوير	دقة الة التصوير MP	ε_r (mm)	$\frac{1}{K}$
Grand Prime Plus	8	17.89	1/72
HUAWEI Y9	12	13.202	1/53
SAMSUNG A30	16	8.226	1/32
NIKON D7200	24	5.99	1/25

نلاحظ من الجدول السابق تأثير دقة التميز الهندسية لآلات التصوير على الدقة الهندسية والمقياس الرسومي للنماذج الناتجة. حيث نجد ان النتائج الخاصة بآلة التصوير الاحترافية NIKON D7200 (24 MP) هي الأفضل من ناحية الخطأ المتوسط التربيع والمقياس الرسومي مقارنة بباقي الآلات. كما نلاحظ وجود علاقة طردية بين دقة التميز الهندسية لآلة التصوير وقيم الأخطاء المتوسطة التربيع والمقاييس الرسومية.

نلاحظ من ناحية أخرى أن الدقة تتحسن بمقدار 3 أضعاف عند الانتقال من استخدام آلة التصوير grand prime (8 MP) الى الة التصوير الاحترافية (24 MP) في حين أنها لم تتحسن كثيراً عند الانتقال من استخدام A30 (16 MP) الى الة التصوير الاحترافية (24 MP)، مما يدفعنا لقبول فكرة اعتبار الة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال بديل ممكن لآلة التصوير الاحترافية. من ناحية أخرى نتوقع تحسناً في الدقة الهندسية للنماذج المحسوبة باستخدام صور ملتقطة بوساطة آلة التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة إذا قمنا بمعايرة هذه الآلات.

يجب ألا ننسى أن آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة هي ملحقات بالهاتف المحمول وهي غير مخصصه لأعمال المسح التصويري وبالتالي فإن وصولنا إلى دقات من فئة mm في عملية النمذجة انطلاقاً من الصور الملتقطة بهذه الآلات يثبت إمكانية استخدامها كبدائل قليلة التكاليف لآلات التصوير الاحترافية في أعمال التوثيق من الصنف B على الأقل. يقيم هذا الصنف نماذج التوثيق التي تستخدم لأغراض العرض فقط وذلك لآلتي التصوير grand prime و y9 أما فيما يخص آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال A30 (16MP) فيمكن استخدامها في أعمال التوثيق من الصنف A الذي يضم نماذج التوثيق التي تتطلب وجود نماذج مترية دقيقة.

ثانياً تقييم الكمالية:

يعتمد هذا التقييم على عدد نقاط الغمامة وعلى عدد الأوجه المولدة وكذلك على مقياس الأورثوفوتو الناتج (الجدول 5)، حيث كلما زادت هذه القيم تحسن النموذج الناتج وكان أكمل.

الجدول (5). المعايير المستخدمة في تقييم كمالية النماذج.

آلة التصوير	دقة الة التصوير MP	نقاط الغمامة	الاورتوفوتو
Grand Prime Plus	8	405 ألف	(2.25mm/pixel)
HUAWEI Y9	12	448 ألف	(2.23mm/pixel)
SAMSUNG A30	16	465 ألف	(2.07mm/pixel)
NIKON D7200	24	1 مليون	(1.37mm/pixel)

نلاحظ من الجدول السابق ان عدد نقاط الغمامة ودقة الأورثوفوتو متقاربة جدا في حالة آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة بالرغم من اختلاف دقتها في حين أن عدد نقاط الغمامة ودقة الأورثوفوتو في حالة آلة التصوير الاحترافية هو ضعف آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة. وذلك يعود الى تأثير الجزء البصري وجودة ونوعية العدسات المصنعة في آلة التصوير الاحترافية والتي هي فعلاً مخصصة لهذه الأغراض.

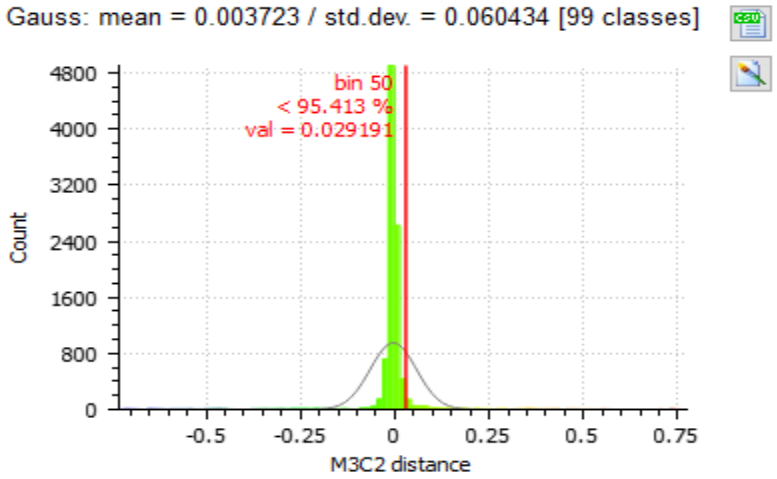
يمكن اعتبار عدد النقاط المولدة باستخدام آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال كافياً للتعبير عن هندسية العنصر المنمذج آخذين بعين الاعتبار هندسة النموذج المعقد، حيث أن زيادة عدد النقاط لن يزيد من القدرة التعبيرية للنموذج الناتج بل سيؤثر سلباً عبى المعالجة اللاحقة وذلك من حيث زمن المعالجة وحجم التخزين.

ثالثاً تقييم الدقة الهندسية لغمامة SfM:

فيما يتعلق بالكثافة والدقة الهندسية لغمامات النقاط التي تم الحصول عليها من ثلاث آلات تصوير مرفقة مع الهواتف النقالة، فقد اتبعنا مبدأ المقارنة مع غمامة آلة التصوير الاحترافية للبانوراما حيث استخدمنا البرنامج CloudCompare والخوارزمية M3C2 في عملية المقارنة التي تشكّل الأساس الرياضي لهذه المقارنة.

لإجراء عملية المقارنة بين غمامة الة التصوير الاحترافية وغمامة آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة تم فتح كل منهما في البرنامج وتمت عملية المقارنة عبر حساب المسافة الخطية بإشاراتها بين نقاطهما باستخدام الخوارزمية M3C2 حيث اعتبرنا غمامة آلة التصوير الاحترافية هي الغمامة المرجعية بوصفها الأشد كثافة والأدق هندسياً.

عند مقارنة غمامة Nikon D7200 مع غمامة A30 كانت القيمة المطلقة للفروق 0.37 cm في حين أن 95.41% من الفروقات المحسوبة لم تتجاوز 2.9 cm (الشكل 11)



الشكل (11). هيستوغرام الفروق بين غمامة آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال A30 والغمامة المرجعية لآلة التصوير الاحترافية Nikon D7200

قمنا بإجراء عملية المقارنة أيضاً لكل من غمامة y9 و Grande Prime وكانت النتائج كما هي مبينة في (الجدول 6)

الجدول (6). المعايير المستخدمة في تقييم كمالية النماذج.

آلة التصوير	القيمة المطلقة للفروق cm	95% من الأخطاء لم تتجاوز cm
Grand Prime Plus	**1.9**	**2.9**
HUAWEI Y9	**0.52**	**4.6**
SAMSUNG A30	**0.37**	**4.9**

نلاحظ من الجدول السابق أن نموذج A30 هو الأكثر دقة والأقرب لنموذج آلة التصوير الاحترافية Nikon D7200 يليه نموذج Y9 ثم النموذج Grande Prime وهذا ما يؤكد جميع النتائج التي تم التوصل إليها سابقاً.

إن النوعية الهندسية لغمامة آلة التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة تعد واعدةً وهذا ما أظهرته عملية المقارنة مع غمامة آلة التصوير الاحترافية وذلك إذا اخذنا بعين الاعتبار التكلفة المنخفضة لهذه التقنية.

الاستنتاجات والتوصيات:

أثبتت الدراسة أنه بإمكاننا استخدام الصور الملتقطة بوساطة آلات التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة في نمذجة المنشآت الآثرية، من ناحية كمالية النموذج الناتج ودقته الهندسية حيث يمكن الوصول إلى دقة هندسية مناسبة لمقاييس التوثيق المعمول بها عالميا ً.

في نهاية هذا البحث يمكن ان نعطي التوصيات التالية:

1. اعتبار الصور الملتقطة بوساطة آلة التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة ذات الدقة 16 MP وما فوق حلاً بديلاً عن الصور الملتقطة باستخدام آلة التصوير الاحترافية في عملية التوثيق من الصنف A.
2. اعتبار الصور الملتقطة بوساطة آلة التصوير المرفقة مع الهواتف النقالة ذات الدقة 8MP وما فوق حلاً بديلاً عن الصور الملتقطة باستخدام آلة التصوير الاحترافية في عملية التوثيق من الصنف B.
3. اعتبار النموذج ثلاثي الأبعاد المولد من آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال كافياً للتعبير عن هندسية العنصر المنمذج آخذين بعين الاعتبار هندسة النموذج المعقد.
4. تطوير معدات تساعد على عملية التقاط الصور، بحيث تؤمن ثبات آلة التصوير المرفقة مع الهاتف النقال لحظة التقاط الصور كما تؤمن الحصول على زوايا التصوير المطلوبة بشكل دقيق وفعال.
5. استخدام نقاط ضبط صناعية تؤمن دقة أعلى من نقاط الضبط الطبيعية، عند حساب احداثياتها، وقياسها على الصور.

References:

[1]. BARRILE, V., BILOTTA, G., LAMARI,D.&MEDURI, G. M.- *Comparison Between Technique For Generating 3D Models Of Cultural Heritage*. Recent Advance in Mechatronics and Civil, Chemical and Industrial Engineering, Mathematics Computer in Science and Engineering Series 49, 2015, pp.140-145.

[2] DHONJU, H., XIAOA, W., SARHOSIS,V ., MILLS,J ., WILKINSON,S ., WANG,Z ., THAPA,L ., PANDAY. - *Feasibility study of low-cost image-based heritage documentation in Nepal.* Isprs .Vol. XLII-2/W3, 2017, pp.327-242.

[3] Al Khalil, O., FAHSA, I., - *Evaluation of the Effect of Image Geometric Resolution on the 3d Model Quality In Automated Close-Range Photogrammetry* .Tishreen University Journal Engineering Sciences Series VOL 4, NO, 40 2018، pp.100-114.

[4] ZACHAREKA, M., DELISA, P., KEDZIERSKIA, M., FRYSKOWSKA, A.- *Generating Accurate 3d Models Of Architectural Heritage Structures Using Low-Cost Camera And Open Source Algorithm*. Isprs .Vol XLII-5/W1, 2017, pp.127-143.

[5] Al Khalil, O.,-*Verification Of The Use Of Mobile Phone Built-In Cameras In Modeling*-Tishreen University Journal Engineering Sciences Series .VOL 33, NO 2, 2011, pp.88-102.

[6] RENEE, C., WOLF, O., OOMMEN. *Evaluation Of Photogrammetry And Inclusion Of Control Points: Significance For Infrastructure Monitoring*. Mdpi .Vol.6, 2019, pp.154-170.

[7] WESTOBY, j. *'Structure-From-Motion 'photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool For Geoscience Applications*. Geomorphology.vol.3, 2012, pp. 300-314.

[8] Agisoft Metashape. 2021. Agisoft Metashape PhotoScan User Manual: Professional Edition. 2021.

[9] Waldhausl, p,. Ogleby,C,. 3X3 Rules For Simple Photogrammetric Documentation Of Architect. Cipa. vol.3, 2013, pp. 50-56.

[10] International Committee Of Architectural Photogrammetry (CIPA). Advice And Suggestions For The Furtherance Of Optimum Practice In Architectural Photogrammetry Survey ,1st ed.;UNESCO: France, 1981;P.100