

Study The Effect of The Distance Changes Between The Camera and The Object on The Accuracy of Images Orientation in Automated Photogrammetry

Dr .Omar AL KHALIL *

Dr .Mouneer YAHIA **

Mohammad DOWAJY ***

(Received 22 / 1 / 2020. Accepted 14 / 6 / 2020)

□ ABSTRACT □

In this research, the accuracy of images orientation resulted from Structure-from-Motion (SfM) method was evaluated to determine whether the distance had an important effect on this accuracy and to know the pattern of this accuracy if there was any effect of the distance.

Because of the limited breadth of the experiment, a rotating disk was designed and used to simulate the state in which the camera moves around the object. Multiple images were taken from different distances and the corresponding point cloud was generated for each distance using Agisoft Metashape. Availability of this number of point clouds allowed to perform the accuracy evaluation process.

Images were taken from all distances using the same calibration camera and with the same lighting conditions as well as the same control points in terms of number and distribution in order to isolate the effect of another factor on the accuracy of the point clouds resulting from these images and to keep the effect of distance change only

Keywords: Automated photogrammetry, Point cloud, Image orientation, Shooting distance.

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

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

*** Postgraduate Student, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. mohammadborhandowajy@tishreen.edu.sy

دراسة تأثير تغيرات المسافة بين آلة التصوير والعنصر على دقة توجيه الصور في المسح التصويري المؤتمت

د. عمر الخليل*

د. منير يحيى**

محمد دوه جي***

(تاريخ الإيداع 22 / 1 / 2020. قُبل للنشر في 14 / 6 / 2020)

□ ملخص □

تم في هذا البحث تقييم دقة توجيه الصور المحسوب بطريقة اقتطاع البنية من الحركة Structure-from-Motion (SfM) وذلك لتحديد فيما إذا كان للمسافة تأثير مهم على الدقة ولمعرفة نمط هذه الدقة إذا كان هنالك أي تأثير للمسافة. بسبب محدودية اتساع مكان التجربة تم تصميم واستخدام قرص دوار من أجل محاكاة الحالة التي تتحرك فيها آلة التصوير حول العنصر. تم التقاط صور متعددة من مسافات مختلفة وتم توليد غمامة النقاط المقابلة لكل مسافة باستخدام البرنامج Agisoft Metashape. إن توفر هذا العدد من الغمامات سمح لنا بتنفيذ عملية تقييم الدقة. تم التقاط الصور من كل المسافات باستخدام نفس آلة التصوير المعاييرة وبنفس شروط الإضاءة وكذلك نفس نقاط الضبط من ناحية العدد والتوزيع وذلك لعزل تأثير معامل آخر على دقة غمامات النقاط الناتجة عن هذه الصور وإبقاء تأثير تغير المسافة فقط.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية المؤتمتة، غمامة النقاط، توجيه الصور، مسافة التراجع.

* أستاذ. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

** أستاذ. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

monirdavidyahia@tishreen.edu.sy

*** طالب دراسات عليا - دكتوراه - قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

mohammadborhandowajy@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعتبر المساحة التصويرية المؤتممة إحدى الطرائق الحديثة التي تؤمن الحصول على بيانات دقيقة. هذا ويفضل خوارزميات اقتطاع البنية انطلاقاً من الحركة (SfM) Structure-from-Motion يمكن الحصول على غمامات نقاط ثلاثية الأبعاد 3D point cloud ونماذج سطوحية وحقيقية ثلاثية الأبعاد 3D photorealist model وبالتالي، تجد المساحة التصويرية عدة مجالات للتطبيق منها المساحة، علم الآثار، توليد النماذج ثلاثية الأبعاد للمدن،... الخ. قام العديد من الباحثين بدراسة دقة المسح التصويري وبرهنوا على أنها تقنية مناسبة للحصول على بيانات حقلية دقيقة. ففي [1] نجد مقارنة دقة غمامات النقاط المولدة بالمسح التصويري المؤتمت مع غمامات المسح الليزري الأرضي (Terrestrial Laser Scanning) (TLS) وغمامات تم الحصول عليها باستخدام المحطة المتكاملة Total station وذلك عند نمذجة قلعة أثرية في إيطاليا. بيّنت نتائج هذه الدراسة أن التكامل بين تقنيتي المسح الليزري والمسح التصويري المؤتمت يؤمن درجة عالية من الدقة. أما في [2] فقد تم القيام بنفس المقارنة ولكن تم هنا التركيز على تأثير عدد وتوزع نقاط الضبط على دقة النموذج ثلاثي الأبعاد المولد من الصور. كما نجد في [3] أسلوباً مشابهاً لتقييم دقة المسح التصويري المؤتمت، مع التركيز على النموذج السطوحى 3D Mesh model عوضاً عن غمامة النقاط ثلاثية الأبعاد. وصل هذا البحث إلى نتيجة مفادها أن قيمة الخطأ متوسط الترتيب للمسح التصويري المؤتمت منخفض التكاليف وصلت إلى 2 cm وهي قيمة قريبة من دقة المسح الليزري.

أشرنا سابقاً إلى أن المسح التصويري المؤتمت يستند على خوارزميات اقتطاع البنية انطلاقاً من الحركة SfM وهي خوارزميات طورت المساحة التصويرية بحيث صار يمكن بتطبيقها الحصول على بيانات مكانية عالية الدقة. وهذه الخوارزميات تستخدم طريقة التعرف على السمات Feature recognition لتحديد السمات المشتركة بين مزدوجات الصور وحساب مواقع آلة التصوير وهندسية المشهد المصور بشكل آلي [4]. يتوفر في السوق حالياً العديد من برامج المسح التصويري القائم على الـ SfM والتي تتميز عن برامج المسح التصويري القريب التقليدي بأنها مؤتممة بالكامل وأنها تتعامل مع أي نوع من آلات التصوير والصور. من هذه البرامج ما هو تجاري أو مجاني. كما يتوفر منها إصدارات مفتوحة المصدر Open source لا تحتاج إلى خبرة طويلة للتعامل معها. نذكر من البرامج المجانية ومفتوحة المصدر البرنامج المجاني Bundler [5] و البرنامج PMVS2 [6] والبرنامج VisualSFM [7] وكلها تولد غمامات كثيفة من النقاط للعنصر المصور وتولد النموذج ثلاثي الأبعاد لهذا العنصر بشكل مؤتمت. ولكننا نشير إلى أن الدقة التي يمكن الحصول عليها باستخدام البرامج التجارية أكبر من تلك التي نحصل عليها من البرامج مفتوحة المصدر [8].

معظم الأبحاث التي ناقشت العوامل المؤثرة على دقة منتجات المسح التصويري القائم على الـ SfM لم تتعرض إلى مناقشة تأثير مسافة التراجع (بعد آلة التصوير عن العنصر المصور) على هذه الدقة. لذلك سنحاول في هذا البحث الإجابة على التساؤلات التالية:

- هل لمسافة التراجع تأثير على الدقة؟
- هل ستتناقص الدقة بتناقص المسافة؟
- هل تتبع تغيرات الدقة لنمط رياضي معين يمكن استخدامه للتنبؤ بالدقة تبعاً للمسافة؟

أهمية البحث وأهدافه:

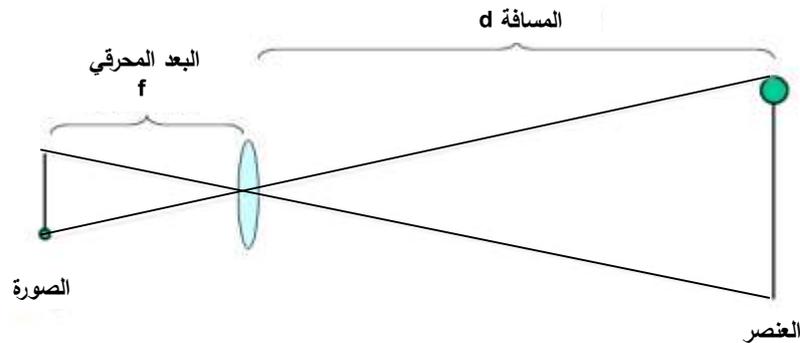
تتركز أهمية هذا البحث في أنه يسعى إلى دراسة تأثير تغير مسافة النقاط الصور على الدقة الهندسية لغمامات النقاط ثلاثية الأبعاد الناتجة عن طريقة SfM، وذلك عبر عزل تأثير كل العوامل الأخرى كعمارة آلة التصوير وتغير شروط الإضاءة وعدد وتوزع نقاط الضبط على العنصر. وبشكل عام، يمكن تلخيص أهداف البحث فيما يلي:

1. يسعى البحث لتقديم منهجية تركز فقط على تأثير تغير مسافة التراجع على دقة غمامات النقاط المولدة باستخدام طريقة SfM.
2. يعرض البحث آلية جديدة لمحاكاة طريقة SfM، والتي تقوم تقليدياً على تحريك آلة التصوير حول العنصر، وذلك باقتراح طريقة تقوم على تثبيت آلة التصوير وتدوير العنصر باستخدام قرص دوار مزود بأداة لتحديد قيم زوايا الدوران. هذه المنهجية سمحت لنا بتثبيت شروط التصوير في كل مراحل التجربة وبأخذ تأثير المسافة فقط على النتائج. ومن ناحية أخرى، ساعدتنا على التغلب على محدودية اتساع مكان التجربة.

طرائق البحث ومواده:

1- مسافة الاعتيان الأرضية والدقة المتوقعة للتوجيه

تعتبر مسافة الاعتيان الأرضية (GSD) Ground Sampling Distance واحدة من المفاهيم المفتاحية في تقييم دقة الغمامة ثلاثية الأبعاد الناتجة عن المسح التصويري المؤتمت [9] وهي مسافة تعبر (الشكل (1)) عن الطول الأرضي الذي يغطيه البكسل الواحد في الصورة. من المعروف أن قيمة مسافة الاعتيان الأرضية تزداد بزيادة بعد آلة التصوير عن العنصر المصور، وتنقص قيمتها بنقصان هذا البعد. كما تتأثر قيمة هذه المسافة بالبعد المحرق لآلة التصوير وكذلك بأبعاد البكسل في الصورة.



الشكل (1). مسافة الاعتيان الأرضية.

من الشكل السابق نجد:

$$GSD = \frac{d}{f} * Pixel_size_in_image \quad (1)$$

يمكن باستخدام مسافة الاعتيان الأرضية GSD. يمكن الحصول على القيمة النظرية لدقة غمامة النقاط وذلك من خلال العلاقة التالية [9]:

$$\sigma_{xyz} = 0.3 * GSD \quad (2)$$

حيث σ_{xyz} هي الدقة الأفقية والشاقولية للقياس.

تظل هذه العلاقة ذات طابع تجريبي ترجع في أصلها إلى الصور التشابهية في المساحة التصويرية الجوية التقليدية. في هذه العلاقة تتبع الدقة فيها فقط للمسافة الفاصلة بين آلة التصوير والعنصر المصور (بافتراض أن البعد المحرقي ثابت خلال التصوير)، وهي لا تأخذ بعين الاعتبار النقاط التالية:

- 1- عدد نقاط الضبط المستخدمة وتوزعها.
- 2- نوع نقاط الضبط (طبيعية أم صناعية).
- 3- مستوى المعالجة المعتمد في برمجيات الـ SfM (عال، متوسط، منخفض)، حيث أن مستوى المعالجة العالي يعني استخدام الصور بحجمها الأصلي في حين أن الخيارات الأخرى تعني تقسيم الحجم على 4 عند كل خيار بالنسبة للآخر. إن ما سبق يدفنا للتساؤل التالي، هل يمكن اعتبار هذه العلاقة صالحة دون تحفظ لتقدير الدقة النظرية لتوجيه الصور المحسوب باستخدام SfM أم أنه يجب إعادة النظر فيها؟ هذا ما سنحاول بحثه في هذا المقال.

2- تصميم التجربة

✓ عنصر الإختبار

هو عبارة عن متوازي مستطيلات خشبي أبعاد قاعدته (29.7x 29.7 cm) ، وإرتفاعه (21cm)، وقد تم تغطيه جوانبه بأوراق ذات مقاس A4 مطبوع على كل منها شبكة من المربعات ذات تباين لوني عالي (أبيض وأسود) تؤمن نسجة جيدة عند توجيه الصور، ويتضمن كل مربع نقطة ضبط ذات أبعاد (5x5cm)، الشكل (2).

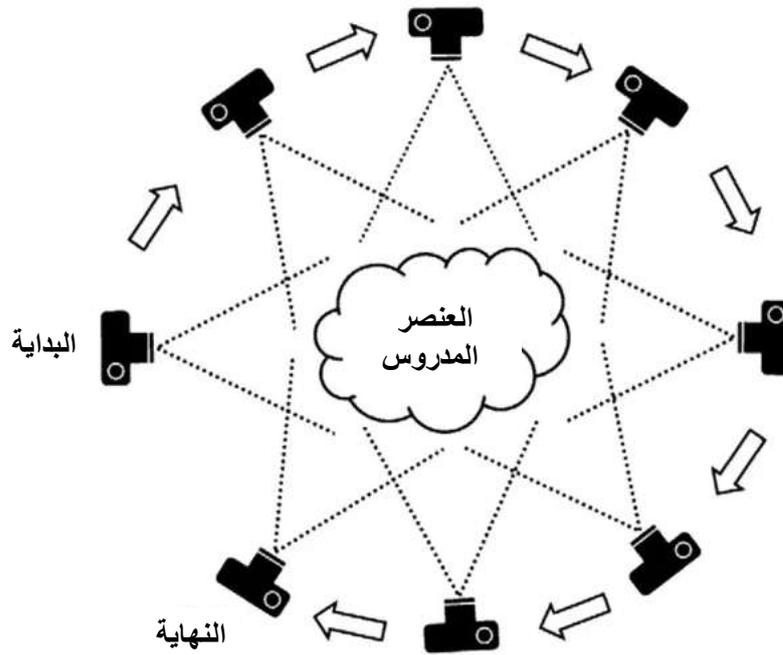


الشكل (2). عنصر الإختبار.

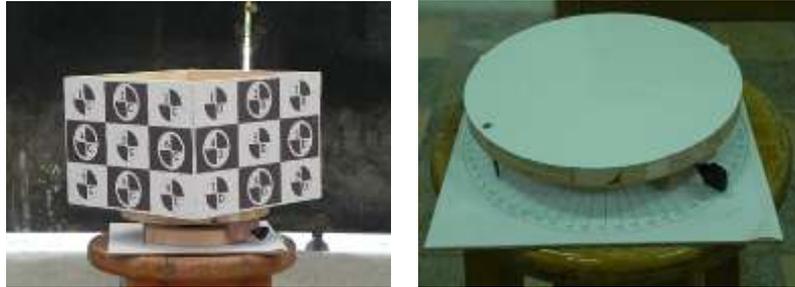
✓ القرص الدوار

يقوم مبدأ التصوير في المساحة التصويرية القائمة على اقتطاع البنية من الحركة SfM photogrammetry على النقاط صور للعنصر الثابت مع تحريك آلة التصوير حوله (الشكل (3))، ومن هنا جاء الاسم: اقتطاع البنية انطلاقاً من الحركة [10]. في بحثنا هذا لم يكن من الممكن تطبيق هذا الأسلوب بشكل مباشر نظراً لمحدودية الحيز الذي تمت فيه التجربة والحاجة إلى مسافات تراجع تصل حتى 20 m مع الدوران حول عنصر التجربة. لذلك فكرنا بمحاكاة هذه العملية عبر تدوير العنصر وثبيت آلة التصوير على مسافة التصوير المطلوبة. ومن هنا جاءت فكرة تصميم القرص الدوار، وهو عبارة عن قرص خشبي دائري الشكل قطره 15cm، يوضع فوقه عنصر التجربة. قمنا بتصميم هذا القرص بحيث يدور حول محور مثبت على لوح ملصق عليه ورقة تفيد كمنقلة تقسم الدائرة الأفقية إلى 60 قسماً متساوياً (كل

قسم 6 درجات)، كما تم تزويد القرص بألية تثبيت للدوران ومؤشر للزوايا بهدف تأمين آلية للتدوير بالزاوية المطلوبة، الشكل (4) .



الشكل (3). مبدأ التصوير في المساحة التصويرية القائمة على اقتطاع لبنية انطلاقاً من الحركة SfM.



الشكل (4). القرص الدوار.

3- الأجهزة المستخدمة

✓ جهاز المحطة المتكاملة Lieca TS09

يعد هذا الجهاز Lieca TS-09 (الشكل(5)) من الأجهزة الحديثة والدقيقة، ويتميز بإمكانية إجراء التمرکز والقياس عن طريق شعاع ليزري، مع إمكانية حساب الإحداثيات بشكل آلي بعد إدخال البيانات المناسبة (مسافات، اتجاهات). ويوضح الجدول (1) دقة قياس المسافات والزوايا بهذا الجهاز.



الشكل (5) . جهاز المحطة المتكاملة Lieca TS09.

جدول (1). دقة الجهاز Lieca TS-09

قياس الزوايا	
الدقة	1"(0.3 mgon) / 2"(0.6 mgon)
	3"(1 mgon) / 5"(1.5 mgon)
قياس المسافات	
الدقة	Precise: 1.5 mm + 2.0 ppm
	Precise Fast: 2.0 mm + 2.0 ppm
	Tracking: 3.0 mm + 2.0 ppm

✓ آلة التصوير الرقمية المستخدمة

تعد آلة التصوير من أكثر العوامل أهمية في النمذجة ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من الصور، هذا ويعتمد اختيار آلة التصوير على مجموعة من القواعد الفوتوغرافية. حاولنا أن نؤمن آلة تصوير تحقق أكبر عدد ممكن من هذه القواعد، فوقع اختيارنا على آلة التصوير Nikon Coolpix P100 (الشكل (6)). ذات دقة التمييز العظمى 10.3 megapixel، ومقاس صورتها (6.12 x 4.6) mm.



الشكل (6). آلة التصوير الرقمية المستخدمة في البحث.

تجدر الإشارة إلى أنه كان من الضروري عند القيام بعملية التصوير استخدام ثلاثية أرجل خاصة بآلة تصوير تؤمن استقرارها عند التقاط الصور، كما تمكننا من تحقيق شرط مهم لهذه التجربة وهو الموقع والارتفاع الثابتين لآلة التصوير. ولكن نشير إلى عدم توفر بعض معلومات الـ EXIF (Exchangeable image file format) والتي تخص معاملات التوجيه الداخلي مثل البعد المحرق، إحداثيات النقطة الرئيسية وتزيغات العدسة، مما اضطرنا إلى القيام بعملية المعايرة لتحديد هذه المقادير. لقد قررنا القيام بأكثر من معايرة لهذه الآلة وذلك للتأكد من استقرار قيم معاملات التوجيه الداخلي لها.

لإنجاز هذه المعايرة، قمنا باستخدام البرنامج الكندي PhotoModeler 6.0، حيث أجرينا المعايرة لمرتين منفصلتين باستخدام نفس لوحة المعايرة وبشروط التقاط مختلفة للصور، فحصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (2).

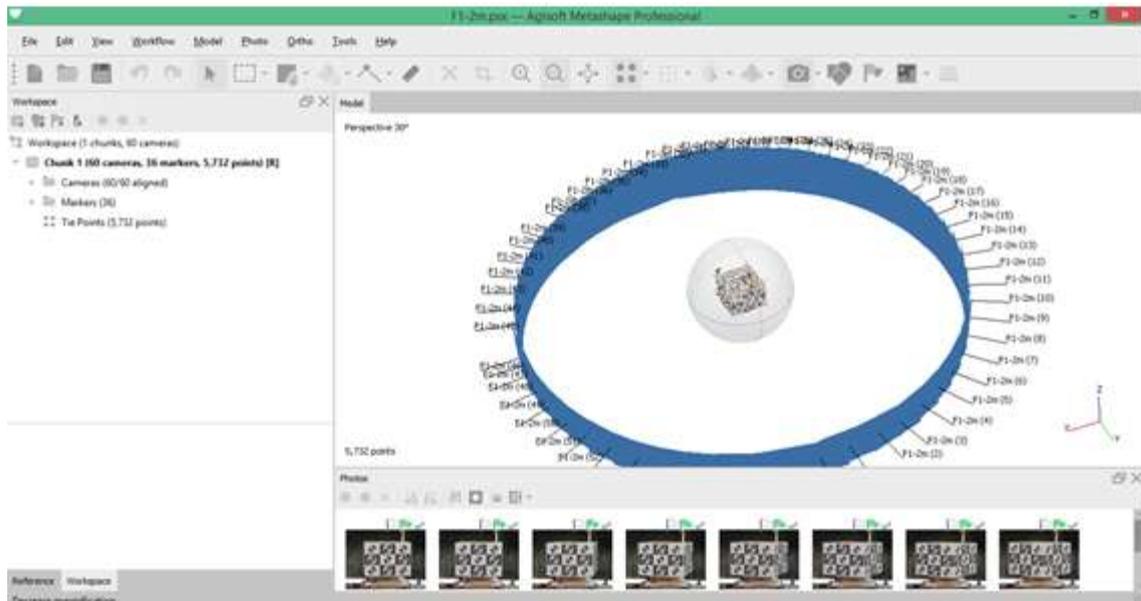
جدول (2). نتائج معايرة آلة التصوير لمرتين منفصلتين.

الفرق	المعايرة الثانية	المعايرة الأولى	المعامل	آلة التصوير
0.0083 mm	23.810239 mm	23.848517 mm	البعد المحرقي	Nikon Coolpix P100
0.001505 mm	3.148592 mm	3.150097 mm	Xp	
0.007865 mm	2.307135 mm	2.29927 mm	Yp	
0.000072	9.01E-04	8.29E-04	K1	
0.000007	4.20E-05	4.93E-05	K2	
0.000011	3.37E-04	3.48E-04	P1	
	0.224 pixels	0.222 pixels	الخطأ متوسط التربيع على قياس النقاط	

نلاحظ من الجدول السابق وجود استقرار كبير في قيم معاملات التوجيه الداخلي المحسوبة من عمليتي المعايرة كما نلاحظ أن الخطأ المتوسط التربيع الكلي على قياس نقاط الصورة خلال المعايرة أقل من 1 pixel وبالتالي فمعايير الدقة الخاصة بمعاملات التوجيه الداخلي التي عرضناها في الفصل الرابع محققة.

4- البرنامج المستخدم

تم في هذا البحث استخدام البرنامج Agisoft Metashape وهو من أفضل البرمجيات التي تقوم بالتمنجة ثلاثية الأبعاد بتطبيق طريقة الـ SfM. يتميز بأنه يملك واجهة تخاطبية (الشكل (7)) سهلة الاستخدام كما يمكن المستخدم من الحكم على نوعية منتجه وربطه مع أي نظام إحداثيات إضافة إلى إمكانية معالجة الصور الجوية والأرضية على حد سواء وكذلك تصدير النموذج الثلاثي الأبعاد بصيغ عديدة.



الشكل (7). الواجهة الرئيسية للبرنامج Agisoft PhotoScan.

النتائج والمناقشة:

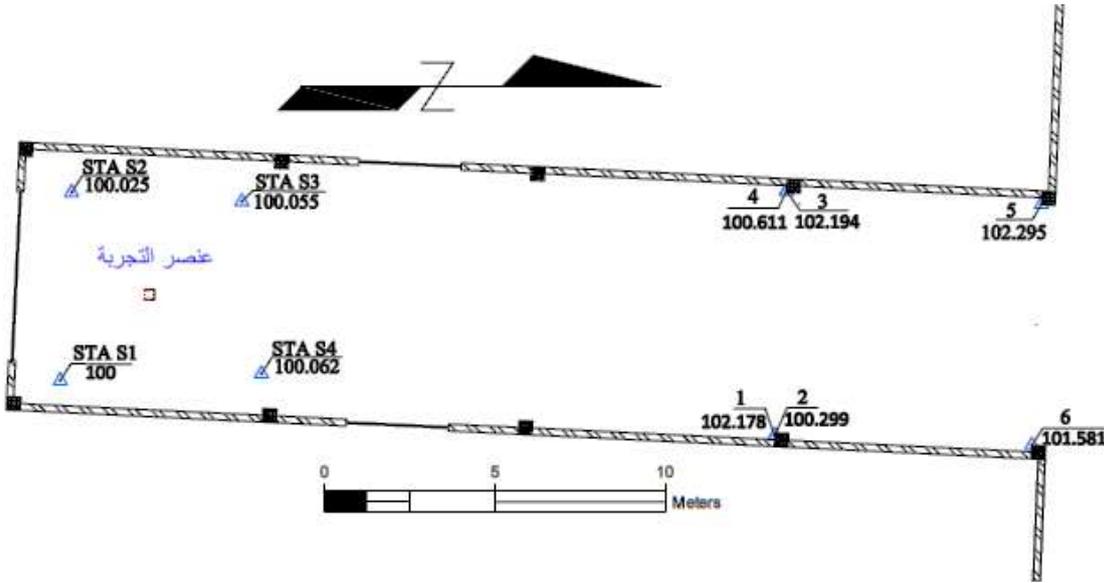
للاوصول إلى النتائج المرجوة من هذا البحث، تم تقسيم العمل إلى المراحل الآتية:

1. تحضير معطيات الضبط Control data.
2. النقاط الصور للعنصر المدروس مع تغيير مسافة التراجع من 2 m إلى 20 m بمعدل 2 m في كل مرة.
3. توجيه الصور بتقنية التثليث الصوري وتقييم الدقة كتابع للمسافة.

1- تحضير معطيات الضبط Control data.

تأخذ معطيات الضبط شكل نقاط أساس مساحي ونقاط ضبط موزعة على مختلف أجزاء العنصر. وللحصول على معطيات الضبط الخارجي كان لابد أولاً من تحديد أساس مساحي محلي (الشكل (8))، ثم استخدامه في حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لنقاط الضبط الموزعة على أوجه العنصر المدروس. وفيما يخص هذه الأساس، فقد تم إنشاؤه وفق المراحل التالية:

1. تعريف قاعدة مساحية مكونة من محطة ونقطة توجيه.
2. حساب إحداثيات مجموعة من النقاط الثابتة الموزعة جيداً على الجدران المحيطة بعنصر التجربة، والتي سنعتمد عليها لاحقاً لإجراء عملية التقاطع الخلفي وحساب إحداثيات المرصد اللازمة.
3. حساب إحداثيات نقاط الضبط على أجزاء العنصر.



الشكل (8). الأساس المساحي المستخدم.

بالنسبة لنقاط الضبط الموجودة على العنصر، فإن الهدف منها هو حساب توجيه الصور وتقييم دقته الهندسية. وقد تم حساب إحداثيات نقاط الضبط بالطريقة القطبية (زاوية ومسافة وفرق ارتفاع) وذلك بالاعتماد على خاصية القياس الليزري للمسافة التي يوفرها جهاز المحطة المتكاملة المستخدم. وقد تم قياس هذه النقاط من نقطتي أساس، واعتمدنا القيم المتوسطة لهذه الإحداثيات (تم قياس 36 نقطة ضبط). نبين في الجدول (3) إحداثيات عينة من هذه النقاط، كما نوضح في الشكل (9) شكل وتوزيع هذه العينة.

جدول (3). إحدائيات بعض نقاط الضبط على عنصر التجربة.



الشكل (9). توزيع نقاط الضبط على العنصر.

Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
A1	97.5651	102.756	100.9995
A2	97.4664	102.7544	101.001
A3	97.36765	102.7525	101.0019
A4	97.56405	102.7564	100.9297
A5	97.46525	102.7546	100.9311
A6	97.36635	102.7529	100.9316
A7	97.56315	102.7569	100.8597
A8	97.46435	102.7549	100.8612
A9	97.36515	102.7532	100.8616

2- التقاط الصور

كما أشرنا سابقاً، فإنه بسبب محدودية حيز التجربة سنقلد المبدأ الأساسي للتصوير. في الواقع، عند التقاط صور لعنصر ما، يتم عادة تحريك آلة التصوير حول العنصر، بحيث يتم التقاط لقطات مختلفة له وإنشاء غمامة نقاط ثلاثية الأبعاد. ولكن وبسبب المساحة المحدودة لمكان التجربة، فقد قمنا باستخدام القرص الدوار بحيث يتم تثبيت آلة التصوير على مسافة من العنصر ومن ثم تدوير العنصر والتقاط الصور عوضاً عن تثبيته وتحريك آلة التصوير. عند التقاط الصور تم تثبيت العنصر على صحن دوار وتأمين آلية لتدوير الصحن بزواوية تساوي تقريباً 6 درجات في كل مرة (لتأمين تداخل 60 بالمائة بين كل صورتين متتاليتين، حيث أن نسبة التداخل المقبولة بين الصور المتتالية في نظم المسح التصويري تتراوح بين 60% و 80%). وقد تم تأمين هذه الزاوية باستخدام آلية تشبه المنقلة مثبتة في أسفل القرص الدوار.

تم التقاط الصور مع الحفاظ على كل الشروط ومع تغيير المسافة فقط (2m, 4m,...20m) بين العنصر وآلة التصوير، الشكل (10).



الشكل (10). منهجية التقاط الصور.

نبين في الشكل (11) بعض الصور الملتقطة من مسافة تراجع 2 m.

)



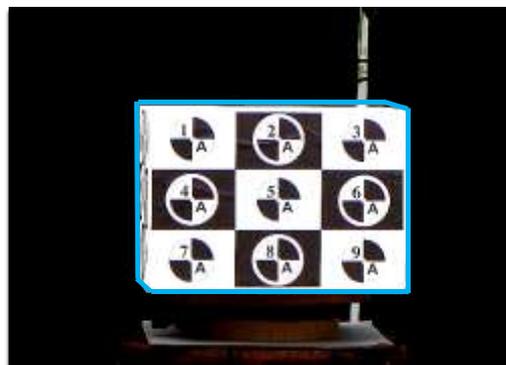
الشكل

(11). عدد من الصور الملتقطة من مسافة تراجع 2m.

3- المعالجة

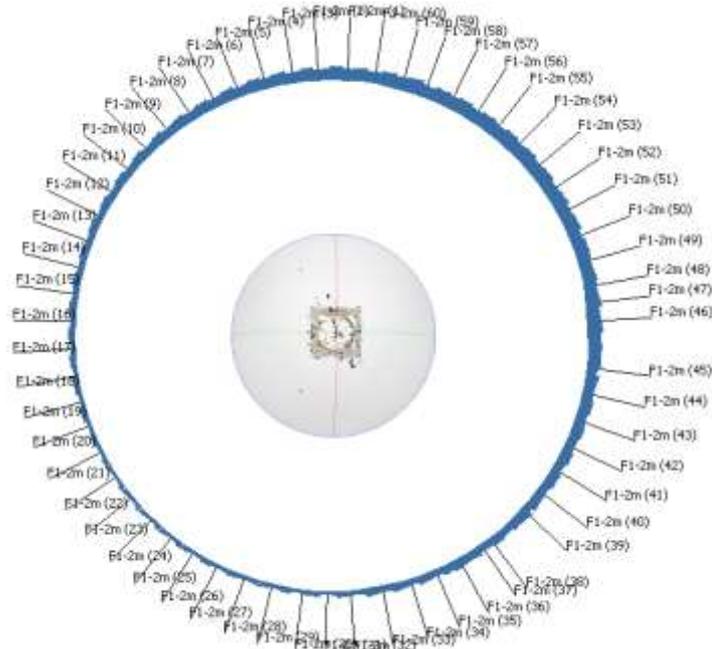
قمنا باستخدام البرنامج Agisoft Metashape في التوجيه الآلي الصور. يقوم هذا البرنامج باستشعار سمات مشتركة بين الصور ويربطها بتقنية ربط الصور Image matching. ينتج عن المرحلة السابقة ما نسميه بالغمامة المبعثرة من النقاط Spare cloud التي يستخدمها لاحقاً في تحديد مواقع آلة التصوير وتوجيهها. عند قياس نقاط الضبط يتم ربط هذه المواقع والتوجيهات بنظام إحداثيات العنصر.

تجب الإشارة إلى ضرورة استخدام الأتعة Masks لكل صورة بحيث يتم إهمال كل بكسل خارج العنصر (الشكل (12))، وذلك بهدف محاكاة الحالة التي تتحرك فيها آلة التصوير حول العنصر.



الشكل (12). إضافة قناع للصورة.

تمت عملية توجيه صور العنصر لكل مسافات التراجع المقترحة في البحث، ونعطي فيما يلي مثالاً عن عملية التوجيه انطلاقاً من صور ملتقطة على مسافة تراجع تساوي 2m، حيث تم استخدام 60 صورة التقطتها آلة التصوير المعايير، (الشكل (13)). وتم قياس ما يساوي 36 نقطة ضبط في عملية التوجيه. تم أولاً توجيه الصور بشكل نسبي ضمن حيز الصورة وذلك باستخدام 5998 نقطة ربط استشعرتها البرنامج آلياً عند مستوى المعالجة المستخدم ثم تم استخدام نقط الضبط المقاسة على العنصر وذلك لتحديد مواقع وتوجيه آلة التصوير (الشكل (13)) ضمن جملة الإحداثيات المحلية المعتمدة.



الشكل (13) . مواقع وتوجيه آلة التصوير ضمن جملة إحداثيات العنصر بمساعدة نقاط الضبط.

تمت متابعة عملية المعالجة بالنسبة لمسافات التراجع الأخرى، أخذين بعين الإعتبار تثبيت كافة العوامل من مستوى المعالجة المستخدم وعدد نقاط الضبط المقاسة ومعايرة آلة التصوير. ويبين الجدول (4) نتائج المعالجة لكل مسافة تراجع.

جدول (4). نتائج التوجيه بالنسبة لمسافات التراجع المقترحة.

مسافة التراجع	عدد الصور المستخدمة	عدد نقاط الربط الناتجة
2m	60	5998
4m	60	1813
6m	60	1428
8m	60	1126
10m	60	1105
12m	60	680
14m	60	652
16m	60	577
18m	60	488
20m	60	393

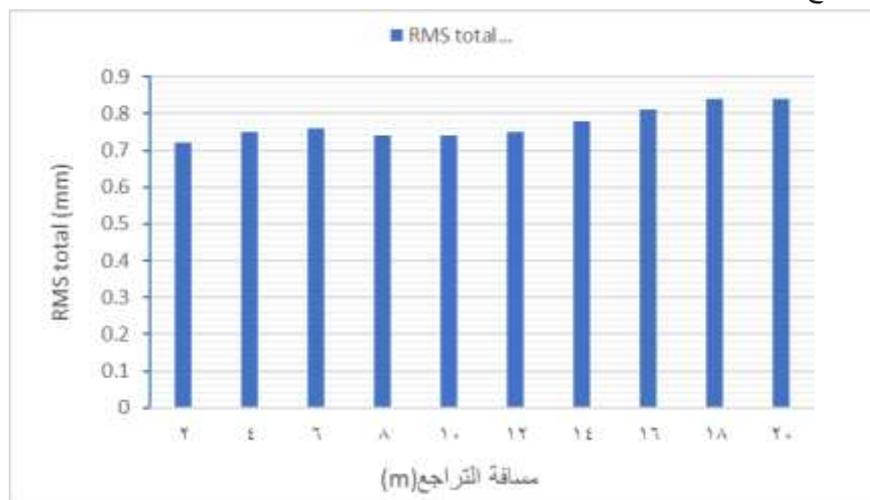
نلاحظ من الجدول السابق تناقص عدد نقاط الربط (الغمامة المبعثرة) بازدياد مسافة التراجع، وهذا سيؤثر من وجهة نظر رياضية على دقة التوجيه. يمكن تفسير ذلك عبر انخفاض قدرة البرنامج على إيجاد نقاط مشتركة بين الصور نتيجة انخفاض مستوى الوضوح للصور مع زيادة المسافة. ولكننا نلاحظ من جهة أخرى، أن عدد هذه النقاط

في كل الحالات كبير بمافيه الكفاية بحيث يضمن توجيهاً دقيقاً للصور عند كل مسافات التراجع. نجد في الجدول (5)، الاخطاء متوسطة التوزيع الكلية على نقاط الضبط والنااتجة عن عمليات التوجيه عند كل مسافات التراجع.

جدول (5). نتائج التوجيه بالنسبة لمسافات التراجع المقترحة.

مسافة التراجع	الخطأ المتوسط التوزيع الكلي على مواقع نقاط الضبط mm	الخطأ المتوسط التوزيع الكلي المسموح على مواقع نقاط الضبط mm
2m	0.72	0.5
4m	0.75	0.9
6m	0.76	1.4
8m	0.74	1.9
10m	0.74	2.4
12m	0.75	2.8
14m	0.78	3.3
16m	0.81	3.8
18m	0.84	4.2
20m	0.84	4.7

نلاحظ أن قيم الخطأ المتوسط التوزيع على مواقع نقاط الضبط الموافقة لمسافات تراجع مختلفة، تقع تقريبا ضمن نفس المجال (الجدول (5) والشكل (14))، وهذا يدل على أن مسافة التراجع لم تؤثر حسب ما هو متوقع وفق العلاقة (2) على دقة التوجيه، حيث أن الفروقات لم تتجاوز في أقصى الحالات 17% والتي يمكن ردها إلى دقة قياس نقاط الضبط في البرنامج. يمكننا ان نستنتج مما سبق أن الهامش المسموح للخطأ وفق العلاقة (2) والذي يتناسب طردياً مع مسافة التراجع هو هامش كبير ولا يصلح بشكل دقيق لنظم المسح التصويري الرقمية المؤتمتة وذلك لانه يعود في الأصل إلى نظم المسح التشابهية القديمة.



الشكل (14) . علاقة الخطأ متوسط التوزيع على توجيه الصور مع مسافة التراجع.

الاستنتاجات والتوصيات:

- انطلاقاً من الأساس النظري والتطبيق العملي المقترح في هذا البحث نستنتج مايلي:
- 1- لقد بينت التجربة أنه في إذا قمنا بعزل كافة العوامل المؤثرة على دقة التوجيه، مع تغيير مسافة التراجع، فإن دقة التوجيه تبقى ضمن مجال واحد تقريباً، وهذا يبين بأنه ليس هنالك تأثير حقيقي للمسافة على الدقة ضمن 20 m.
 - 2- يجب إعادة النظر في العلاقات التي كانت تستخدم في تحديد هامش الخطأ المسموح في نظم المساحة التصويرية التشابهية وذلك قبل استخدامها في حساب هذا الهامش في النظم الرقمية المؤتمتة الحديثة.
 - 3- إن عدم تأثر دقة التوجيه بشكل ملموس بتغير المسافة ضمن مجال معين سيسمح لنا بتخفيض عدد الصور اللازمة لنموذج العناصر في المساحة التصويرية القريبة، حيث أننا نستطيع التقاط هذه الصور عن مسافات أكبر دون تأثر الدقة.

نوصي في نهاية هذا البحث بالقيام بدراسة إحصائية اوسع من أجل استنتاج قيمة هامش الخطأ المسموح المناسب للنظم الحديثة وكذلك بدراسة تأثير عوامل أخرى مؤثرة على دقة التوجيه مثل تغير البعد المحرقى لألة التصوير ودراسة تأثير النسجة على قدرة البرنامج على الاستشعار الألي لنقاط الربط.

References:

- [1] Bolognesi, M. ؛ Furini, A. ؛ Russo, V. ؛ Pellegrinelli, A. ؛ Russo, P. *Accuracy of Cultural Heritage 3D Models by RPAS and Terrestrial Photogrammetry*, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5, 2014, 113-119.
- [2] Caroti, G. ؛ Martinez-Espejo Zaragoza, I. ؛ Piemonte, A. *Accuracy Assessment in Structure from Motion 3D Reconstruction from UAV-born Images: the Influence of the Data Processing Methods*, ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W4, 2015, 103-109.
- [3] Barrile, V. ؛ Bilotta, G. ؛ Lamari, D. ؛ Meduri, G. *Comparison between techniques for generating 3D models of cultural heritage*, Recent Advances in Mechanics, Mechatronics and Civil, Chemical and Industrial Engineering, 2015, 140-145
- [4] Westoby, M.J. ؛ Brasington, J.؛ Glasser, N.F. ؛ Hambrey, M.J. ؛ Reynolds, J.M. *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*, *Geomorphology* 179 (2012) 300–314.
- [5] Snavely, N. Bundler. USA, 2012. Available at <http://phototour.cs.washington.edu/bundler/#S3>.
- [6] Furukawa, Y. ؛ Ponce, J. *Accurate Camera Calibration from Multi-View Stereo and Bundle Adjustment*. IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition. USA, 2008.
- [7] Wu, Ch. VisualSFM Ver. 0.5.22. USA, 2013. Available at <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>.
- [8] Al Khalil, O. ؛ Grussenmeyer, P. *2D & 3D reconstruction workflows from archive images, case study of damaged monuments in Bosra al-sham city (Syria)*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W15, 2019.
- [9] Al Khalil, O. *Proposition of a Methodology to Assess Photo-triangulation and Dens Matching Algorithms Accuracy in Image-based 3D Documentation Systems*, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (14) No. (5), 2019.

[10] Westoby, J. ؛ Brasington, J. ؛ Glasser, N.F. ؛ Hambrey, M.J. ؛ Reynolds, J.M.
'Structurefrom-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applicatio