

Evaluation of Imaging Strategies for Modeling the Indoor Parts of Buildings Using Automated Photogrammetry

Dr .Omar AL Khalil*
Dr .Mouneer Yahia**
Mohammad Dowajy***

(Received 13 / 12 / 2018. Accepted 24 / 3 / 2019)

□ ABSTRACT □

In recent years, the modeling of indoor parts of buildings has become an important research axes especially to help navigate within these parts and to manage crises such as fire protection, as well as to building augmented reality of games and tourism.

Usually, the navigational information is traditionally extracted from two-dimensional graphics and the real situation of the interior is ignored, including the position of the openings, the geometry of windows and doors, and the presence of obstacles. In this research, a methodology was applied to model the indoor parts of the buildings from three-dimensional point clouds, automatically extracted from the images, to present the current status of these parts accurately. Several imaging strategies have been applied and the resulting models have been compared in terms of both accuracy and completeness, and the control data was used in the form of a network of points distributed on the facades of the part which has been modeled.

The results showed that the multi-image automated photogrammetry based on imaging strategy parallel to the interior walls, can be an effective and accurate solution for modeling the indoor parts of buildings.

Key words: Automated photogrammetry, point cloud, indoor parts of buildings, 3D model.

* Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

** Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

تقييم لاستراتيجيات التقاط الصور من أجل نمذجة الأجزاء الداخلية للمباني باستخدام المسح التصويري المؤتمت

الدكتور عمر الخليل*

الدكتور منير يحيى**

محمد دوه جي***

(تاريخ الإيداع 13 / 12 / 2018. قُبِلَ للنشر في 24 / 3 / 2019)

□ ملخص □

لقد أصبحت نمذجة الأجزاء الداخلية للمباني في السنوات الأخيرة، محور بحث مهم وخاصة من أجل المساعدة على الملاحظة داخل هذه الأجزاء وعلى إدارة الأزمات مثل الحماية من الحرائق، وكذلك من أجل بناء الواقع المعزز للألعاب، والسياحة.

عادةً ما يتم استخراج المعلومات الملاحية تقليدياً من الرسومات ثنائية البعد ويتم تجاهل الحالة الحقيقية للداخل، بما في ذلك وضعية الفتحات وهندسية النوافذ والأبواب، ووجود العقبات. في هذا البحث، تم تطبيق منهجية لنمذجة الأجزاء الداخلية للمباني انطلاقاً من غمامات نقاط ثلاثية الأبعاد مقتطعة آلياً من الصور وذلك للتعبير الدقيق عن الوضع الراهن لهذه الأجزاء. لقد تم تطبيق عدة استراتيجيات لالتقاط الصور وتمت مقارنة النماذج الناتجة عنها من ناحيتي الدقة الهندسية والكمالية، كما تم تحديد معطيات ضبط على شكل شبكة من النقاط موزعة على واجهات الجزء المنمذج.

بيّنت النتائج أن المساحة التصويرية المؤتمتة متعددة الصور القائمة على استراتيجية التقاط الصور الموازية للجدران الداخلية، يمكن أن تكون حلاً فعالاً ودقيقاً لنمذجة الأجزاء الداخلية للمباني.

الكلمات المفتاحية: المساحة التصويرية المؤتمتة، غمامة النقاط، الأجزاء الداخلية للمباني، النموذج ثلاثي الأبعاد.

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

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

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

مقدمة

بدأت الأبحاث المتعلقة بأتمتة بناء النماذج ثلاثية الأبعاد للأبنية في أواسط تسعينيات القرن الماضي، حيث كان الهدف هو البناء الآلي للنماذج ثلاثية الأبعاد للمدن انطلاقاً من الصور الجوية [1]. ولكن الصعوبات المرتبطة بتفسير هذه الصور Photo Interpretation دفعت بالباحثين وبشكل متزايد لاستخدام غمامات النقاط ثلاثية الأبعاد 3D Points Clouds الناتجة عن استخدام الليدار الجوي (LIDAR (Light Detection And Ranging)). ويهدف إضافة التفاصيل غير المتوفرة في البيانات الجوية، كانت نمذجة واجهات الأبنية تتم انطلاقاً من بيانات مكتسبة بواسطة نظم المسح الليزري الأرضية المتحركة.

وعملياً، يمكن إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد للأبنية سواء انطلاقاً من وثائق متوفرة بشرط أن تكون مطابقة للواقع أو انطلاقاً من عملية رفع للواقع الحالي للبناء. وعند عدم توفر هذا النوع من الوثائق، يجب القيام بعملية رفع للواقع الحالي، الأمر الذي يمكن إنجازه باستخدام المساحات الليزرية ثلاثية الأبعاد 3D Laser Scanners والتي تؤمن رفعاً تفصيلياً دقيقاً وسريعاً للبناء على شكل غمامات من النقاط. ولكن هذه النظم ذات كلفة مادية مرتفعة ويتطلب التعامل معها خبرةً ومعرفَةً خاصتين [2]. ولهذا قد تشكل النمذجة القائمة على الصور (IBM (Image-Based Modelling)) حلاً بديلاً لهذه النظم نظراً لانخفاض كلفتها ولقدرتها على تمثيل هندسية العناصر بشكل تفصيلي على شكل غمامات هائلة من النقاط ثلاثية الأبعاد بطريقة دقيقة وسريعة [3].

هنالك عدد محدود من الدراسات قد اقترحت استخدام حالة خاصة من المسح التصويري القريب للحصول على البيانات الهندسية للأجزاء الداخلية للمباني (ونقصد هنا المساحة التصويرية أحادية الصورة والبانورامية [4] والفيديوغراممري (Videogrammetry) [5])، حيث أن معظم القياسات على الصور كانت تتم بشكل يدوي مع ناتج هو عبارة عن عدد قليل من النقاط لا يعبر عن الهندسية الحقيقية لعناصر الجزء الداخلي. أو أن الغرض من النماذج الناتجة هو العرض فقط دون الاهتمام بموضوع الدقة الهندسية. من جهة أخرى، تعتبر المساحة التصويرية القريبة المؤتمتة Automated Close Range Photogrammetry (ACRP) القائمة على مبدأ "البنية انطلاقاً من الحركة" (Structure From Motion (SFM)) واحداً من الخيارات من أجل رفع الأبنية بجزئها الخارجي والداخلي. إن التطور الكبير الذي حصل في خوارزميات الاقتطاع الآلي للبيانات انطلاقاً من الصور، يعتبر واعداً في مجال تسهيل الحصول على غمامات من النقاط انطلاقاً من عدد كبير من الصور. تجمع هذه التقنية أفضل الميزات في طريقة الرؤية بمعونة الحاسب (أتمتة اقتطاع النقاط المتشابهة، أتمتة توجيه الصور وبناء النموذج ثلاثي الأبعاد) مع أفضل ميزات المسح التصويري التقليدي (استقرار الحل الرياضي لمسألة معايرة آلة التصوير، توجيه الصور وبناء النموذج ثلاثي الأبعاد) إضافة إلى قدرتها على توليد غمامة كثيفة جداً من النقاط ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من الصور الموجهة مما يجعلها محاكيات لتقنية المسح الليزري ثلاثي الأبعاد 3D Laser Scanners Simulator. في الواقع، قد تزيد كثافة هذه النقاط عن كثافة النقاط المولدة باستخدام المسح الليزري. وتتميز هذه التقنية عن تقنية المسح التصويري القريب التقليدية بأنها مؤتمتة بالكامل وأنها تتعامل مع أي نوع من آلات التصوير والصور. وتتميز عن تقنية المسح الليزري ثلاثي الأبعاد بأنها أقل كلفةً.

سنقوم في هذا البحث بتطبيق تقنية المساحة التصويرية المؤتمتة في نمذجة الجزء الداخلي لمبنى عادي (من ناحية القيمة والوظيفة والبنية الهندسية) وهو مخبر المساحة في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين وذلك عبر تطبيق عدة استراتيجيات لالتقاط الصور ومقارنة النتائج لاختيار الأفضل والأكثر فعاليةً من هذه الاستراتيجيات.

أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية هذا البحث في عرض تأثير استراتيجيات التقاط الصور على إمكانيات النظم التصويرية المؤتمتة في الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد مفصلة، موثوقة وكاملة للأجزاء الداخلية للمباني العادية. وتظهر أهمية البحث أيضاً في عرض تسلسل العمل مع هذا النوع من النظم والتي يمكن لها أن تشكل حلاً بديلاً عن النظم الضخمة المكلفة في كثير من مجالات التطبيق مثل نمذجة الأجزاء الداخلية الأبنية. وبشكل عام يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية :

1. يعرض البحث تسلسل العمل المساحي عند نمذجة الاجزاء الداخلية للمباني وذلك من ناحية تحضير معطيات الضبط اللازمة للحصول على نماذج مترية (تؤمن إمكانية اقتطاع كميات مترية من النموذج الناتج).
2. يهدف البحث إلى إعطاء توضيح لكيفية تعميم التخطيط للتصوير الجوي على حالة العناصر الأرضية وذلك لتحديد المتغيرات التي تؤمن الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد كامل ودقيق.
3. توضيح تأثير استراتيجية التقاط الصور على دقة وكفاءة النموذج ثلاثي الأبعاد للأجزاء الداخلية للأبنية.
4. توجيه اهتمام غير المختصين في مجال المساحة التصويرية كالعاملين بالآثار والمهندسين المعماريين إلى الاستفادة من هذه نظم المسح التصويري المؤتمت وذلك في اقتطاع الحصول على العديد من المنتجات التصويرية والشعاعية المترية الخاصة بالمشاهد الداخلية.

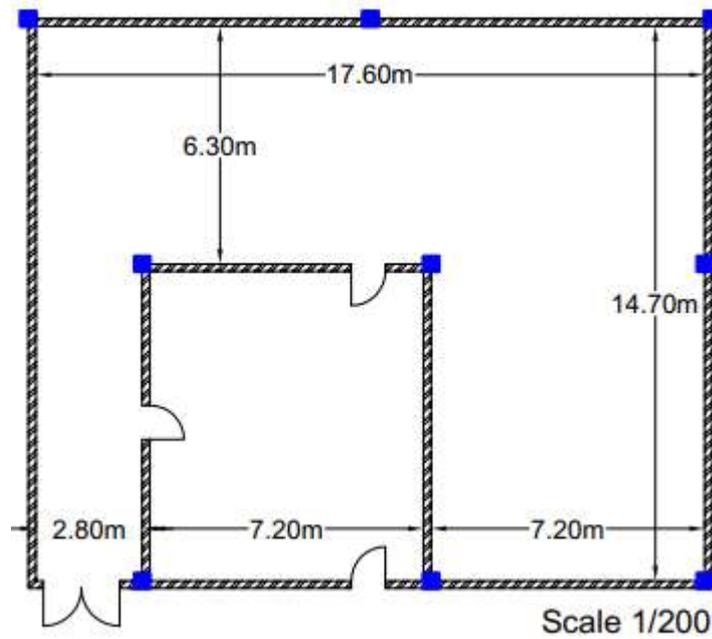
طرائق البحث ومواده

1- العنصر النمذج

تم تطبيق أساليب النمذجة المقترحة في هذا البحث على مخبر المساحة (الشكل (1))، الكائن في مبنى المخابر في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين. يتميز المخبر ببنية هندسية منتظمة وبسيطة (حيث أن المستوي هو العنصر الهندسي المسيطر)، يبين (الشكل (2)) مسقطاً أفقياً للمخبر يوضح أبعاده ومكوناته، نلاحظ أنه يتألف من مكتب، وفسحة لها شكل الحرف (L)، مكونة من جزئين أحدهما ذو سقف عالي بحدود (10 m)، فيما الجزء الآخر ذو سقف بارتفاع (5 m).



الشكل (1). مخبر المساحة - كلية الهندسة المدنية.



الشكل (2). مسقط أفقي للمخبر.

2- آلة التصوير الرقمية المستخدمة

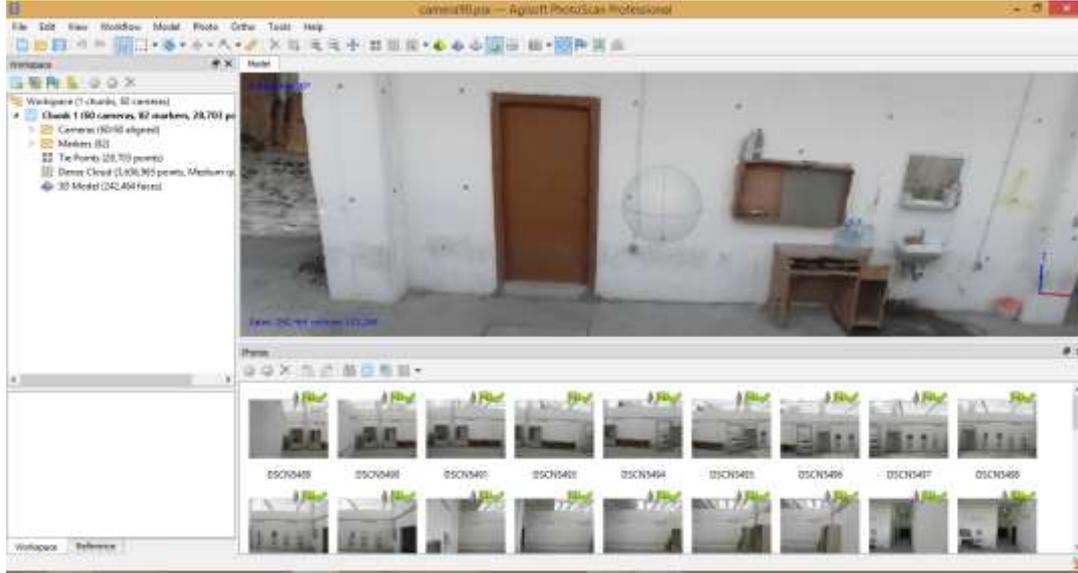
تعد آلة التصوير من أكثر العوامل أهمية في النمذجة ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من الصور، هذا ويعتمد اختيار آلة التصوير على مجموعة من القواعد الفوتوغرافية (والتي تتعلق بخصائص وميزات آلات التصوير الرقمية ومعايرتها، بتوقيت النقاط الصور وظروف الاضاءة). [6]. حاولنا أن نؤمن آلة تصوير تحقق أكبر عدد ممكن من هذه القواعد، فوقع اختيارنا على آلة التصوير Nikon Coolpix P100 (الشكل (3)). ذات دقة التمييز العظمى 10.3 megapixel، ومقاس صوريتها (6.12 x 4.6) mm.



الشكل (3). آلة التصوير الرقمية المستخدمة في البحث.

3- البرنامج المستخدم

يتوفر العديد من البرمجيات التي تقوم بالنمذجة ثلاثية الأبعاد بتطبيق طريقة الـ SfM. ومن هذه البرمجيات ما هو مفتوح المصدر Open source (مجاني) مثل البرنامج VisualSfM والبرنامج PMVS2 ومنها ما خدمة على الأنترنت Web service مثل Autodesk Photofly و 123D Catch ، إلا أنها تعاني من محدودية البيانات التي يمكن أن تعالجها وكذلك محدودية النتائج، ومنها ما تجاري مثل البرنامج Agisoft PhotoScan والبرنامج PhotoModler Scanner. مقارنةً بباقي البرامج، قد يكون البرنامج الروسي Agisoft PhotoScan (وهو البرنامج المستخدم في هذا البحث) هو من أفضل النظم التي تمثل تقنية الـ SfM فهو يملك واجهة تخاطبية (الشكل (4)) سهلة الاستخدام كما يمكن المستخدم من الحكم على نوعية منتجه وربطه مع أي نظام إحداثيات إضافةً إلى إمكانية معالجة الصور الجوية والأرضية على حد سواء وكذلك تصدير النموذج الثلاثي الأبعاد بصيغ عديدة [7].



الشكل (4). الواجهة الرئيسية للبرنامج Agisoft PhotoScan.

النتائج والمناقشة

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

- (1) تحضير معطيات الضبط Control data والتي تفيد في حساب هندسية النموذج وتقييم دقته الهندسية وتوضيحه ضمن نظام إحداثيات مرجعي.
- (2) النقاط الصور للعنصر المدروس وفق الاستراتيجيات المقترحة.
- (3) معايرة آلات التصوير المستخدمة والحصول على معاملات التوجيه الداخلي.
- (4) إنجاز عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد للعناصر، وتقييم النموذج الناتج عن تطبيق استراتيجيات التصوير من ناحية الدقة الهندسية والكمالية.

1- تحضير معطيات الضبط Control Data

تأخذ معطيات الضبط شكل نقاط أساس مساحي ونقاط ضبط موزعة على مختلف أجزاء العنصر [6]. إن إنجاز هذه المرحلة يتطلب القيام بأعمال جيوديزية (أفقية وشاقولية) تقليدية. وللحصول على معطيات الضبط الخارجي كان لابد أولاً من تأسيس شبكة استناد مساحية مكونة من النقاط المرجعية (الشكل (5)) ومن ثم استخدامها في حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لنقاط الضبط الموزعة على أجزاء المخبر. وفيما يخص هذه الشبكة، فقد تم إنشاؤها وفق المراحل التالية:

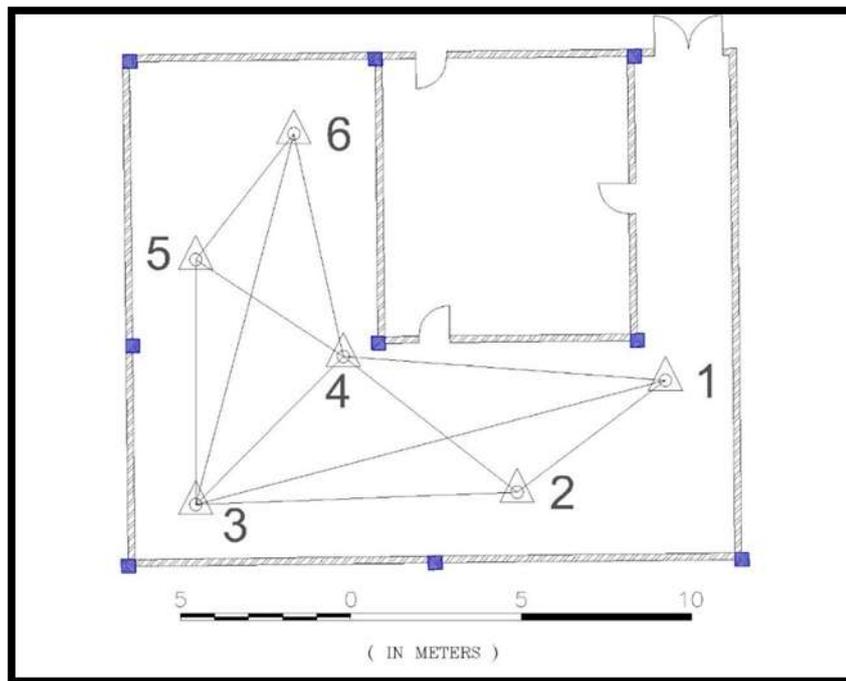
- (1) اختيار مواقع نقاط شبكة الاستناد.
- (2) تجسيد نقاط الشبكة، رصد النقاط واختبار بنية الشبكة.
- (3) تعديل الشبكة وحساب الإحداثيات الأفقية للنقاط.
- (4) حساب الإحداثيات الشاقولية لنقاط الشبكة.
- (5) اختيار مواقع نقاط الضبط على أجزاء العنصر.
- (6) حساب إحداثيات نقاط الضبط على أجزاء العنصر.

تم استخدام جهاز المحطة المتكاملة Lieca TS09 في قياس الاتجاهات والمسافات الأفقية بين نقاط شبكة الأساس حيث تم قياس الاتجاهات والمسافات الأفقية لنقاط الشبكة. يعد الجهاز Lieca TS-09 من الأجهزة الحديثة والدقيقة، ويتميز بإمكانية إجراء التمركز 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.

جدول (1). مواصفات جهاز المحطة المتكاملة Leica 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

بعد إنهاء عمليات الرصد واختبار بنية الشبكة، تم تعديل الشبكة الأفقية باستخدام برنامج StarNet، وذلك بالنسبة لجملة إحداثيات محلية، فكان الخطأ متوسط التربيع على واحدة الوزن هو 0.003 m ونوعية القياسات جيدة.



الشكل (5). شبكة الأساس المساحي.

أما بالنسبة لحساب الإحداثيات الشاقولية لنقاط الشبكة تتص التوصيات الهندسية الخاصة بشبكة الاستناد بتحديد مناسب نقاط الشبكة بطريقة التسوية المباشرة، في حال توفر إمكانية ذلك، وذلك لضمان أكبر دقة ممكنة. وقد تم قياس فروق الارتفاعات باستخدام جهاز النيفو Topcon DL102، والذي نجد أهم مواصفاته في (الجدول (2)).

جدول (2). مواصفات جهاز التسوية المستخدم.

قياس فروق الارتفاع	
الدقة	Electronic reading: 1.0 mm
	Optical reading: 1.5 mm
القراءة الدنيا	0.1mm/1mm
مجال القياس	2m to 100m Fiberglass staff
	2m to 60m Invar Staff
قياس المسافة	
الدقة	1cm to 5cm

ونتيجة للحسابات السابقة، كانت الإحداثيات النهائية ثلاثية الأبعاد لنقاط شبكة الإسناد، وهي موضحة

في (الجدول (3)):

جدول (3). الإحداثيات النهائية ثلاثية الأبعاد لنقاط شبكة الإسناد.

النقطة	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	113.782	103.666	10.002
2	109.430	100.371	9.966
3	100.000	100.000	10.000
4	104.329	104.380	10.004
5	100.000	107.241	10.000
6	102.878	110.959	9.993

أما بالنسبة لنقاط الضبط التي يتم وضعها على جدران المخبر، فإن الهدف من هذه النقاط هو حساب هندسية النموذج وتقييم دقته الهندسية. حيث أن هنالك مجموعة من التوصيات الهندسية المتعلقة بعدد، نوع وتوزيع هذه النقاط والتي حرصنا على تحقيقها [3]. فقد عملنا على تحقيق معايير توزيع النقاط المعمول بها في التثليث الصوري Photo triangulation (وجود 6 نقاط ضبط، مع أن العدد الأصغري المطلوب هو ثلاث نقاط وسطياً في مناطق تتداخل الصور بحيث تكون موزعة بشكل طولاني موحد ضمن هذه المناطق)، ونتيجة عدم وجود نقاط مميزة فقد استخدمنا نقاط ضبط صناعية ذات تباين لوني كبير، 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. وبما أنه يمكن رؤية أغلب هذه النقاط من نقطتي أساس على الأقل، فقد تم اعتماد القيم المتوسطة لهذه الإحداثيات (تم قياس 82 نقطة ضبط).

2- معايرة آلات التصوير المستخدمة

تعتبر عملية معايرة آلة التصوير أمراً أساسياً في مشاريع المسح التصويري وذلك لتحديد معاملات التوجيه الداخلي (البعد المحرق، إحداثيات النقطة الرئيسية للصورة) ولتصحيح التزيغات التي تسببها العدسات (التزيغات نصف القطرية Radial Distortions وتزيغات عدم الاشتراك في المركز Decentering Distortions). وكل معايرة يتم إنجازها هي خاصة بآلة تصوير أو عدسات معينة ولا يمكن اعتبارها صالحة لآلة تصوير أخرى مستخدمة في البحث.

ولمعايرة آلة التصوير المستخدمة، 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 (4)):

جدول (4). نتائج معايرة آلة التصوير لمرتين منفصلتين.

الفرق	المعايرة الثانية	المعايرة الأولى	المعامل	آلة التصوير
0.0083 mm	4.810239 mm	4.848517 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 المتوسط 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 فإن معايير الدقة الخاصة بمعاملات التوجيه الداخلي محققة.

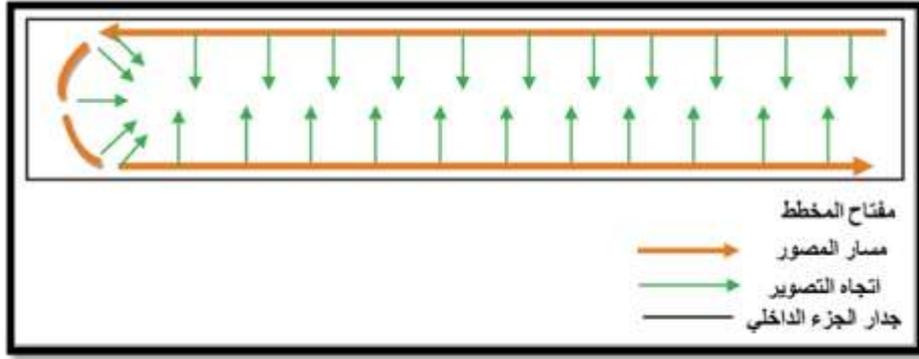
3- التخطيط للتصوير والتقاط الصور وفق الاستراتيجيات المقترحة

تم تطبيق عدة استراتيجيات لالتقاط الصور مع الحفاظ على كل العوامل الأخرى التي تؤثر على عملية النمذجة ثابتة (هندسية آلة التصوير، نقاط الضبط، شروط الإضاءة) وذلك لعزل تأثيرها. كما تم استخدام ثلاثية أرجل لوضع آلة التصوير عليها لمنع أية أخطاء ناتجة عن اهتزاز آلة التصوير. تم تزويد هذه الثلاثية بألية معينة تضمن تحقيق تغيير توجيه محور التصوير وفق زوايا محددة. أما الاستراتيجيات فهي:

✓ الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 90 درجة

حرصنا هنا على التقاط صور الجزء الداخلي لمخبر المساحة مع الحفاظ على اتجاه محور آلة التصوير متعامداً مع المشهد المصور. وقبل القيام بعملية التصوير، قمنا بالتخطيط له وذلك لمعرفة مواقع التصوير مسبقاً والتي تؤمن تغطية كافة أجزاء المشهد المصور مع تداخل بين الصور المتعاقبة مساو إلى 80%. لقد قمنا بتصميم خطة تصوير اعتماداً على مبادئ التخطيط للتصوير الجوي، حيث قمنا بتطبيق هذه الخطة على العناصر الأرضية (الجزء الداخلي لمخبر المساحة)، وبقمنا بالاعتماد على تقرير المعايرة لآلة التصوير لحساب كل من البعد المحرقي وأبعاد المشهد حيث أخذنا بعين الاعتبار أن مسافة التراجع الأفقية حلت مكان ارتفاع الطيران الشاقولي. حاولنا قدر الإمكان الحفاظ على مسافة تراجع ثابتة بالنسبة لكل واجهة من واجهات العنصر المصور [3].

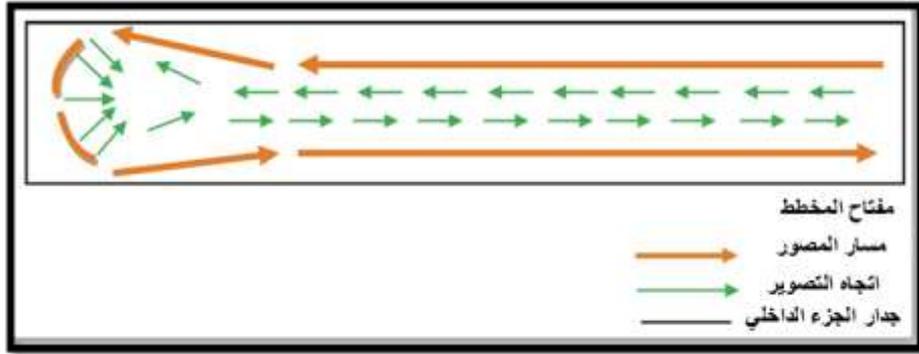
الاستراتيجية المطبقة خلال التصوير موضحة في (الشكل (6))، ونشير إلى أننا أضفنا بعض اللقطات القطرية لضمان ترابط بلوكات الصور بشكل جيد. احتجنا إلى 60 صورة لتغطية كافة واجهات الجزء الداخلي للمخبر باستخدام هذه الاستراتيجية.



الشكل(6). التصوير بطريقة الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 90 درجة.

✓ الوقوف في الوسط والتصوير إلى الأمام

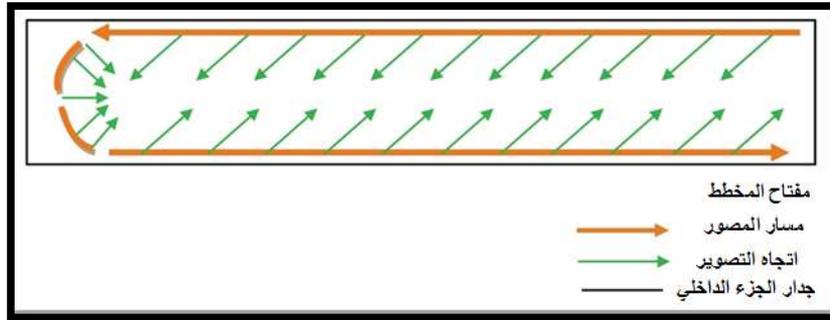
باعتقاد مسارات تصوير مخطط لها سابقاً، قمنا بالتقاط الصور بتطبيق هذه الاستراتيجية (الشكل (7))، فاحتجنا إلى 51 صورة لتغطية كافة واجهات الجزء المنمذج مع إضافة بعض اللقطات القطرية التي أشرنا إليها سابقاً.



الشكل(7). التصوير بطريقة الوقوف في الوسط والسير إلى الأمام.

✓ الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 45 درجة

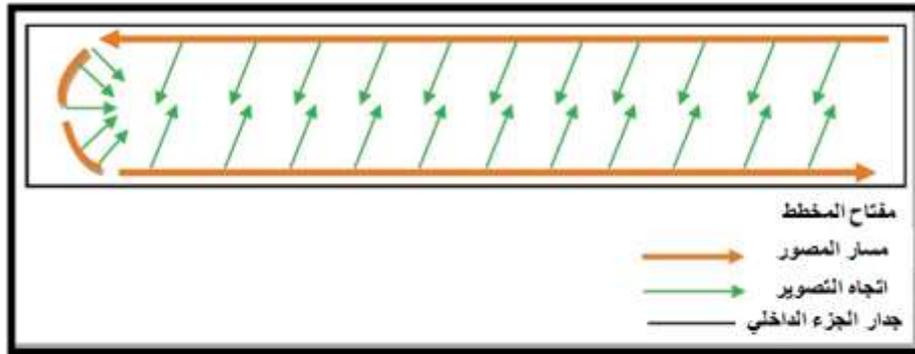
حرصنا هنا على التقاط صور الجزء الداخلي لمخبر المساحة بحيث يصنع محور آلة التصوير زاوية قيمتها 45 درجة مع الاتجاه المتعامد على الجزء المصور (الشكل (8)). وخلال عملية التصوير قمنا باستخدام نفس مواقع آلة التصوير المستخدمة في الاستراتيجية الأولى، فحصلنا على 50 صورة تغطي كامل المشهد المصور مع إضافة بعض اللقطات القطرية التي أشرنا إليها سابقاً.



الشكل(8). التصوير بطريقة الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 45 درجة.

✓ الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 60 درجة

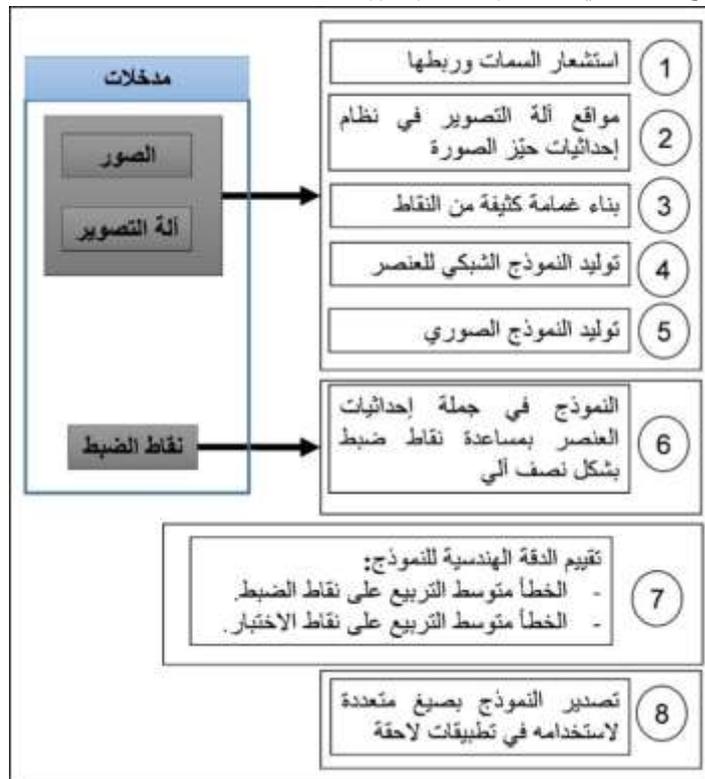
حرصنا هنا على النقاط صور الجزء الداخلي لمخبر المساحة بحيث يصنع محور آلة التصوير زاوية قيمتها 60 درجة مع الاتجاه المتعامد على الجزء المصور (الشكل (9)). وخلال عملية التصوير قمنا باستخدام نفس مواقع آلة التصوير المستخدمة في الاستراتيجية الأولى، فحصلنا على 43 صورة تغطي كامل المشهد المصور مع إضافة بعض اللقطات القطرية التي أشرنا إليها سابقاً.



الشكل (9). التصوير بطريقة الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 60 درجة.

4- إنجاز عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد لعنصر الدراسة

للقيام بعملية النمذجة ثلاثية الأبعاد للعنصر المطلوب، فإننا سنستخدم البرنامج Photoscan في التوجيه الآلي للصور وفي توليد الغمامة الكثيفة للنقاط والنموذج السطحي ثلاثي الأبعاد. كما سنستخدم أدوات المعالجة المتوفرة فيه لمعالجة غمامة النقاط والنموذج السطحي. يبين (الشكل (10))، الخطوات العامة لعملية المعالجة.



الشكل (10). تسلسل العمل في نظام المسح التصويري المؤتمت.

تم إجراء عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد للمخبر لكل استراتيجيات التصوير المقترحة، ونعطي فيمالي مثلاً عن النمذجة بتطبيق استراتيجية التصوير الأولى (الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 90 درجة). لقد تمت تغطية هذه الجزء بـ 60 صورة التقطتها آلة التصوير المعاييرة، (الشكل (11)). وتم قياس ما يساوي 79 نقطة ضبط في عملية التوجيه الخارجي لها. ونبين فيمالي مراحل هذه المعالجة:



الشكل () 11. عدد من الصور الملتقطة وفق الاستراتيجية الأولى.

1. تم توجيه الصور بشكل نسبي (الشكل (12)) ضمن حيز الصورة وذلك باستخدام 28703 نقطة ربط استشعرها البرنامج آلياً عند مستوى المعالجة المستخدم ثم تم استخدام نقط الضبط المزروعة على الواجهة وذلك لتحديد مواقع وتوجيه آلة التصوير (الشكل (13)) ضمن جملة الإحداثيات المحلية المعتمدة.



الشكل () 12. غمامة النقاط المبعثرة.



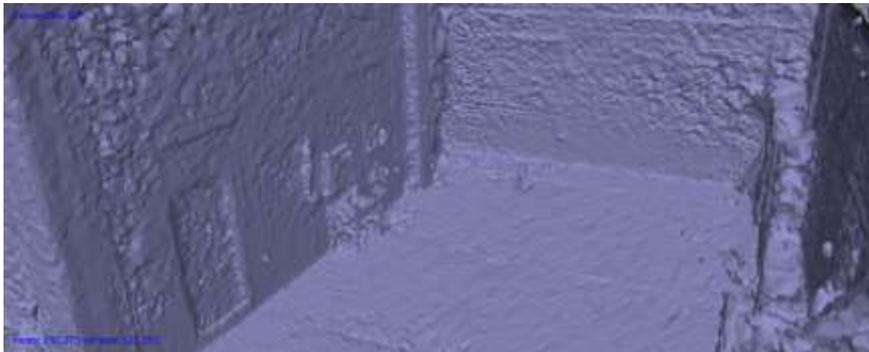
الشكل (13). مواقع وتوجيه آلة التصوير ضمن جملة إحداثيات العنصر بمساعدة نقاط الضبط.

2. تم توليد غمامة كثيفة من النقاط (الشكل (14)) انطلاقاً من الصور الموجهة في المرحلة السابقة، فحصلنا على ما يزيد على 3.6 مليون نقطة ثلاثية الأبعاد للمخبر.



الشكل (14). غمامة النقاط الكثيفة للمخبر.

3. تم توليد النموذج السطحي (الشكل (15)) انطلاقاً من الغمامة الكثيفة السابقة فحصلنا على شبكة مثلثات غير منتظمة TIN عدد وجوهها أكثر من 240 ألف وجه (مثلث).



الشكل (15). النموذج السطحي للمخبر.

4. تم توليد النموذج الصوري الحقيقي (الشكل (16)) عبر إعادة إسقاط الصور على سطوح النموذج السطحي الناتج عن الخطوة السابقة.



الشكل (16). النموذج الصوري الحقيقي للمخبر.

5- تقييم النتائج

لتقييم النتائج اعتمدنا العوامل التالية:

1. عدد الصور

نلاحظ أن إستراتيجية التصوير الأولى تتطلب استخدام عدد صور أكبر مقارنة بالاستراتيجيات الأخرى. ويبرر بأن المسافة بين العنصر المصور وآلة التصوير هي أصغر من الاستراتيجيات الأخرى، وبالتالي فإن المساحة التي تغطيها الصورة الواحدة هي أصغر ، ولتأمين التداخل المطلوب فإننا نحتاج عدد أكبر من الصور. وفي حالة تطبيق استراتيجيتي التصوير (45،60) فإننا نلاحظ أن عدد الصور متقارب، ويبين (الجدول(5)) عدد الصور المستخدم لكل من استراتيجيات التصوير المستخدمة.

جدول (5). عدد الصور المستخدم لتطبيق استراتيجيات التصوير المقترحة.

الاستراتيجية	90°	45°	60°	الوقوف في الوسط والتصوير إلى الأمام
عدد الصور	60	46	43	51

تضمن استراتيجيات التصوير الأولى أفضل وضعية تصوير للعنصر، في حين أن استخدام الاستراتيجيات الأخرى، ونتيجة انحراف محور آلة التصوير عن الاتجاه العمودي، يؤدي إلى زيادة الحجب الجانبي للعوائق (الأثاث)، وبالتالي يتم حجب أجزاء من العنصر المصور. وهذا يؤدي إلى مشاكل في النموذج النهائي، إضافة إلى أنه يؤدي في بعض الأجزاء إلى عدم إمكانية قياس نقاط الضبط على عدد كاف من الصور. أما بخصوص استراتيجيات التصوير الرابعة، فيبلغ الحجب الجانبي للإثاث مداه الأقصى، وهذا ما يؤثر في نوعية النموذج الناتج ودقته.

2. الدقة الهندسية

لتقييم دقة النموذج الناتج سنعتمد على معيارين:

(a) غمامة النقاط المبعثرة Spare point cloud المستخدمة في توجيه الصور والتي تعبر عن النقاط المستخدمة في التوجيه النسبي للصور، وزيادة عدد هذه النقاط تعبر عن نجاح أكبر في ربط الصور. نوضح في (الجدول(6))، عدد نقاط غمامة النقاط المبعثرة المستخدمة في ربط الصور لكل من استراتيجيات التصوير المقترحة في هذا البحث.

جدول (6). عدد نقاط غمامة النقاط المبعثرة المستخدمة في توجيه الصور.

الاستراتيجية	90°	45°	60°	الوقوف في الوسط والتصوير إلى الأمام
عدد نقاط الربط	28703	18400	21432	40600

(b) الخطأ المتوسط التربيع الكلي على مواقع نقاط الضبط والذي يمكن استخدامه لتقييم الدقة الهندسية لنتائج التوجيه المطلق لصور لجزء الداخلي وذلك عند تطبيق إحدى استراتيجيات التصوير المقترحة. يبين (الجدول (7)) عدد نقاط الضبط المستخدمة لكل استراتيجية تصوير والأخطاء متوسطة التربيع الكلية على مواقع هذه النقاط وذلك في المستوي وفي الاتجاه الشاقولي وفي الحيز ثلاثي الأبعاد.

جدول (7). الخطأ متوسط التربيع على نقاط الضبط لمختلف استراتيجيات التصوير المستخدمة.

الاستراتيجية	عدد نقاط الضبط	XY Error (mm)	Z Error (mm)	Total (mm)
90°	79	4.40	1.78	4.74
45°	73	5.43	2.61	6.03
60°	73	4.91	2.14	5.36
الوقوف في الوسط والتصوير إلى الأمام	74	19.13	3.99	19.54

نلاحظ أن أكبر دقة تم الحصول عليها، كانت عند تطبيق استراتيجية التصوير الأولى، ويمكن تفسير ذلك بوضوح نقاط الضبط على الصور نتيجة قصر مسافة التصوير مقارنة بالاستراتيجيات الأخرى، إضافة إلى توفر إمكانية قياس نقاط الضبط على عدد كاف من الصور بخلاف الاستراتيجيات الأخرى، والتي أثر فيها ميل محور آلة التصوير والأثاث المتواجد في المخبر وأدى إلى حجب أجزاء من العنصر على إمكانية قياس نقاط الضبط على عدد كاف من الصور.

3. الكمالية

أما بالنسبة لتقييم كمالية النموذج، فسنعتمد على معيار عدد نقاط غمامة النقاط الكثيفة الناتجة، وعدد وجوه النموذج السطحي الناتج عن كل استراتيجية تصوير (الجدول (8))، مفترضين أنه كلما زادت هذه القيم كلما كان النموذج أكمل [8].

جدول (8). عدد نقاط غمامة النقاط الكثيفة ووجوه السطح لمختلف استراتيجيات التصوير المستخدمة.

الاستراتيجية	90°	45°	60°	الوقوف في الوسط والتصوير إلى الأمام
عدد نقاط الغمامة الكثيفة	3636965	2994373	3092404	3485180
عدد وجوه النموذج السطحي	242464	199623	206160	232344

نلاحظ من الجدول السابق أن أفضل نموذج تم الحصول عليه، كان ذلك الناتج عن تطبيق استراتيجية التصوير الأولى وذلك لأنها تعبر عن تنفيذ حرفي لخطة التصوير التي وضعت سابقاً فهي الأقرب للتصوير الجوي مقارنةً بالاستراتيجيات الأخرى.

الاستنتاجات والتوصيات

بالاستناد إلى الدراسة النظرية حول تقييم استراتيجيات التقاط الصور على نمذجة الاجزاء الداخلية للمباني العادية والتطبيق العملي لهذه الدراسة، نستنتج مايلي:

1. تشكل النمذجة القائمة على الصور حلاً بديلاً للمسح الليزري في نمذجة البيئة الداخلية التي تتميز بأبعادها الكبيرة نسبياً.

2. يؤمن تطبيق استراتيجية التصوير الظهر إلى الحائط والتصوير بزاوية 90 الحصول على نماذج ثلاثة الأبعاد للبيئة الداخلية أكثر دقة وكمالية من تطبيق الاستراتيجيات الأخرى، ولكن هذه الاستراتيجية تتطلب استخدام عدد صور أكبر مقارنةً باستراتيجيات التصوير المقترحة في هذا البحث.

3. يمكن تصميم خطة التصوير (مواقع التقاط الصور) على العناصر الأرضية (الجزء الداخلي لمخبر المساحة)، بالإعتماد على مبادئ التخطيط للتصوير الجوي التقليدي.

4. في حالة الأجزاء الداخلية ذات الأبعاد الصغيرة نسبياً (مدخل المخبر)، لم تتوفر إمكانية تطبيق استراتيجية التصوير الأولى (الظهر إلى الحائط)، نتيجة لأبعاده الصغيرة، ولهذا تم اللجوء إلى تطبيق الاستراتيجيات الأخرى.

5. يعتبر انعدام النسجة في ظروف البيئة الداخلية عاملاً سلبياً في عملية النمذجة، وذلك عند توجيه الصور وتوليد غمامة النقاط.

6. إن العوائق (الأثاث) في البيئات الداخلية، تشكل عاملاً سلبياً من ناحية حجب العنصر المدروس، وبالتالي تقلل من إمكانية قياس نقاط الضبط على عدد كاف من الصور.

في نهاية هذا البحث يمكن ان نعطي التوصيات التالية:

1. يوصى بتطبيق إستراتيجية التصوير (الظهر إلى الحائط) في نمذجة الأجزاء الداخلية ذات الأبعاد المتوسطة والكبيرة.

2. التخطيط المسبق للتصوير، بهدف تحديد مواقع التصوير التي تؤمن تغطية كافة أجزاء المشهد المصور مع تداخل بين الصور المتعاقبة مساو إلى 80%.

3. القيام بعملية معايرة آلة التصوير المستخدمة قبل القيام بعملية التصوير.

4. يجب التفكير باستخدام آلات التصوير التي تتميز بعدسات ذات انفراس زائد، كآلات التصوير البانورامية والكروية، والتي تؤمن تغطية كاملة للمشهد الداخلي بعدد أقل من الصور، وبالتالي عملية معالجة أسهل.

المراجع

[1] SPETSAKIS, M. E. ؛ ALOIMONOS, Y. *A Multi-Frame Approach To Visual motion Perception*. International Journal of Computer Vision 6. 1991, 245–255.

[2] LANDES, T. ؛ GRUSSENMEYER, P. *Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre: systèmes et caractéristiques* (partie 1/2), XYZ. Association française de topographie. (128), pp. 2011, 37–49.

[3] الخليل، عمر؛ فحصة، إياد. تقييم تأثير دقة التمييز الهندسية للصور على نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد في

المساحة التصويرية المؤتمتة. مجلة جامعة تشرين، Vol 40, No 4، 2018، 100–114.

[4] AL KHALIL, O ؛ GRUSSENMEYER, P ؛ NOUR EL DIN, M. *3D indoor modeling of buildings based on photogrammetry and topologic approaches*. XVIII CIPA International Symposium, Potsdam, Germany, Sept. 18-21st, 2001.

[5] HAGGREN, H ؛ MATTILA, S. *3-D indoor modeling from videography*. Helsinki University of Technology, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, FIN-02150 Espoo, Finland. http://foto.hut.fi/publications/paperit/hhaggren/videometrics_1997_mattila/ext.html#1) Access: 8/12/2018).

[6] دوه جي، محمد؛ الخليل، عمر؛ يحيى، منير. التكامل بين تقنيتي المساحة التصويرية القريبة الرؤية بمعونة الحاسب في التوثيق ثلاثي الأبعاد للتراث المعماري. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، 2017.

[7] Agisoft., 2015. Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition. 2018.

[8] GRUSSENMEYER, P ؛AL KHALIL, O. *From metric image archives to point cloud reconstruction: case study of the great mosque of Aleppo in Syria*. Nt. Arch. Photogrammetry. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2-W5, 2017, 295-301.