Low Cost Automatic Photogrammetry as Data Source for Architectural Information System and BIM

Dr. Omar Alkhalil[*]
Dr.Wael Dayoub[**]

(Received 30 / 5 / 2019. Accepted 26 / 8 / 2019)

□ ABSTRACT □

The main objective of this research is to explore the possibilities of low-cost automated photogrammetric systems to obtain data for GIS databases and Building Information Modelling (BIM). In fact, the products of these systems, such as orthophotos and digital elevation models, are useful for GIS staff at the architectural level (large scales). Regarding to the 3D point cloud resulted from these systems, they are useful for engineering project managers because they are a very important input to the development of BIM. In this case, the automated photogrammetry could be an alternative to high-cost 3D laser scanners because of their low cost and ability to represent elements geometry in detail.

In this research, a methodology was discussed to obtain a precise 3D metric model as a basis for obtaining architectural data in architectural GIS, and as an input for BIM software, starting from camera selection, taking appropriate images, preparing reference data, processing and obtaining results. This methodology was applied to the building of the bookstore at Tishreen University.

Keywords: Orthophoto, 3D points cloud, BIM, Architectural information system .

[*]**Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy**
[**]**Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy**

المسح التصويري المؤتمت منخفض التكاليف
كمصدر لبيانات نظم المعلومات المعمارية ونمذجة معلومات البناء

الدكتور عمر محمد الخليل*

الدكتور وائل ابراهيم ديّوب**

(تاريخ الإيداع 30 / 5 / 2019. قُبِل للنشر في 26/ 8 / 2019)

□ ملخّص □

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو استكشاف إمكانيات استخدام نظم المساحة التصويرية المؤتمتة منخفضة التكاليف Low cost في الحصول على البيانات اللازمة لقواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية ولنمذجة معلومات البناء BIM. في الواقع، تعتبر منتجات هذا المسح مثل الصور المرجعة عامودياً والنماذج الرقمية للارتفاعات مفيدةً للعاملين في مجال نظم المعلومات الجغرافية على المستوى المعماري (مقاييس كبيرة). أما غمامات النقاط ثلاثية الأبعاد، والتي يزودنا بها هذا المسح، فهي مفيدة لمديري المشاريع الهندسية لأنها مدخل مهم جداً لتطوير نمذجة معلومات البناء. في هذه الحالة يمكّن أن تعتبر المساحة التصويرية المؤتمتة بديلاً ممكناً للماسحات الليزرية ثلاثية الابعاد مرتفعة الكلفة الماديةً وذلك لانخفاض كلفتها ولقدرتها على تمثيل هندسية العناصر بشكل تفصيلي.

تم في هذا البحث مناقشة منهجية تساعد على الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق من وجهة نظر مترية يصلح كأساس للحصول على بيانات معمارية في نظم المعلومات الجغرافية المعمارية وكمدخل لبرمجيات نمذجة معلومات البناء وذلك بدءاً من اختيار آلة التصوير الأفضل، التقاط الصور المناسبة، تحضير المعطيات المرجعية، المعالجة والحصول على النتائج. أما المبنى الذي سنطبق عليها هذه المنهجية فهو مبنى مركز بيع الكتب في جامعة تشرين.

الكلمات المفتاحية: صورة مرجعة عامودياً، غمامة نقاط ثلاثية الأبعاد، نموذج معلومات البناء، نظم معلومات معمارية.

* 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.
waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy

مقدّمة:

عند تطبيق أية طريقة من طرائق النمذجة ثلاثية الأبعاد للمباني، فإنه يتوجب مراعاة مجموعة من القواعد التي تضمن فعالية هذه الطريقة وتحقيقها للغاية المرجوة منها. وفيما يتعلق بطريقة المسح التصويري ثلاثي الأبعاد، فإنه تتوفر طريقتان أساسيتان هما: المساحة التصويرية التجسيمية Stereoscopic photogrammetry والمساحة التصويرية متعددة الصور Multi-images. وعند استخدام المساحة التصويرية التجسيمية يجب مراعاة قواعد تتعلق بالتداخل بين الصورة، النسبة بين البعد بين مواقع آلة التصوير والمسافة بين هذه المواقع والعنصر المصور، والتعامد بين محاور التصوير والعنصر المصور. إن مجموعة الشروط السابقة تعرف باسم شروط الحالة الطبيعية Normal case [1]. أما في المسح التصويري متعدد الصور، فإنه لا يشترط تحقق الشروط السابقة ولكن يجب أن يتم التقاط الصور بحيث تظهر كل نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل. إن تحقيق هذا الشرط يستوجب تطبيق قواعد معينة عند التقاط الصور [2].

مع تطور الأبحاث في مجال المساحة التصويرية المؤتمتة، ظهر مفهوم "نظام المسح التصويري قليل التكاليف" Low cost system وهو نظام متكامل يشمل: آلة تصوير رقمية ذات دقة تمييز هندسية Geometric resolution مناسبة، قواعد وتوصيات لالتقاط الصور، برمجيات لمعايرة آلة التصوير وأخرى لمعالجة الصور لاستنتاج النموذج ثلاثي الأبعاد منها. فيما يخص هذه الأخيرة، فهي تستخدم طريقة البنية انطلاقاً من الحركة Structure from Motion (SfM) من أجل التوليد الآلي للنماذج ثلاثية الأبعاد للعناصر انطلاقاً من الصور المتعددة التي تغطي هذه العناصر [2]. وفي هذه الطريقة، يتم أولاً اقتطاع غمامة كثيفة من النقاط ثلاثية الأبعاد التي تمثل العنصر المصور ومن ثم تستخدم هذه الغمامة في بناء نموذج العنصر. هذا، ويمكن مقارنة غمامات النقاط المقتطعة والنماذج الرقمية للسطوح Digital Surface Models (DSMs) الناتجة عن هذه الطريقة، بتلك التي تنتجها الماسحات الليزرية الجوية والأرضية وذلك بالنظر إلى نوعية البيانات والكثافة المحققة [3]. أما الميزة الكبرى لهذه الطريقة، فهو الأسلوب البسيط في المعالجة وإمكانية الحصول على غمامات النقاط والنماذج السطوحية والصورية الواقعية ثلاثية الأبعاد وكذلك على الصور المرجعة عامودياً (الأورثوفوتو) Orthophots دون الحاجة إلى المعرفة المسبقة لمعاملات معايرة آلة التصوير أو لموقعها وتوجيها. إن هذه المنتجات ذات أهمية كبيرة في نمذجة معلومات البناء Building Information Modelling (BIM) للأبنية الموجودة وكذلك كمصدر لبيانات نظم المعلومات المعمارية Architectural Information System (AIS).

من جهة أخرى، تتأثر فعالية النظم قليلة الكلفة بنوع آلة التصوير المستخدمة، بالتغطية بين الصور المتعاقبة وكذلك بمعطيات الضبط التي تضمن توليد النموذج في جملة إحداثيات مترية ثلاثية الأبعاد. ومن هنا، نجد أن العديد من الأبحاث اقترحت مجموعة مبسّطة من القواعد والتوصيات التي تساعد غير المختصين في المساحة التصويرية على تحقيق كل الشروط اللازمة لضمان فعالية وجدوى استخدام هذه النظم. من هذه الأبحاث نذكر تلك التي اقترحها Waldhaeusl و Ogleby [4] وكذلك تلك المقترحة في [5] والتي سنطبّقها في بحثنا هذا.

إن الفائدة التي يحاول بحثنا الحصول عليها هي توجيه اهتمام العاملين في مجال نظم المعلومات الجغرافية على المستوى المعماري (مقاييس كبيرة) عند الحاجة إلى التعامل مع التفاصيل المعمارية، وكذلك تشجيع مديري المشاريع الهندسية على الاستفادة من نظم النمذجة قليلة التكاليف وذلك عند حاجتهم إلى توليد نماذج ثلاثية الأبعاد للأبنية الموجودة، حيث نسعى إلى الحصول على نمذجة معلومات البناء BIM "كما هو منفّذ" As-Built وهو مدخل مهم

وذلك للاستفادة من ميزات هذه النمذجة. في هذه الحالة، يجب إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لهذا البناء، سواء باستخدام وثائق متوفرة بشرط أن تكون مطابقة للواقع أو انطلاقاً من عملية رفع للواقع الحالي للبناء. ولكن عند عدم توفر هذا النوع من الوثائق، يجب القيام بعملية رفع للواقع الحالي، الأمر الذي يمكن إنجازه عادةً باستخدام الماسحات الليزرية ثلاثية الابعاد 3D Laser Scanners والتي تؤمن رفعاً تفصيلياً دقيقاً وسريعاً للبناء على شكل غمامات من النقاط. ولكن هذه النظم مرتفعة الكلفة المادية ويتطلب التعامل معها خبرةً ومعرفةً خاصتين. ولهذا قد تشكّل النمذجة القائمة على الصور Image–Based Modelling (IBM) حلّاً بديلاً لهذه النظم نظراً لانخفاض كلفتها ولقدرتها على تمثيل هندسية العناصر بشكل تفصيلي على شكل صور مرجعة عامودياً وعلى شكل غمامات هائلة من النقاط ثلاثية الأبعاد بطريقة دقيقة وسريعة [6]. إن هذه الإمكانيات يتمتع بها الجيل الجديد من برامج المسح التصويري المؤتمت والتي تملك إمكانية النمذجة القائمة على غمامات النقاط Cloud point based modelling وكذلك إمكانيات النمذجة المشابهة لنظم التصميم بمعونة الحاسب CAD– like modelling في نفس البيئة.

سنناقش في هذا البحث المنهجية المتكاملة التي تساعد على الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق من وجهة نظر مترية يصلح كأساس للحصول على بيانات معمارية في نظم المعلومات الجغرافية المعمارية وكمدخل لبرمجيات نمذجة معلومات البناء وذلك بدءاً من اختيار آلة التصوير الأفضل، التقاط الصور المناسبة، تحضير المعطيات المرجعية، المعالجة والحصول على النتائج. أما المبنى الذي سنطبق عليها هذه المنهجية فهو مبنى مركز بيع الكتب في جامعة تشرين.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في مناقشة إمكانيات تطبيق نظم المساحة التصويرية المؤتمتة قليلة التكاليف في الحصول على صور مرجعة عامودياً وعلى نماذج ثلاثية الأبعاد تفصيلية ودقيقة للمباني وذلك على شكل غمامات كثيفة من النقاط ثلاثية الأبعاد تسمح ببناء النماذج السطوحية والصورية الحقيقية والتي يمكن استخدامها كأساس للنمذجة الشعاعية Vector modelling ثلاثية الأبعاد عبر الرقمنة ثلاثية الأبعاد 3D digitization عليها. يمكن لاحقاً تصدير الصور المرجعة عامودياً إلى نظم المعلومات الجغرافية لاقتطاع بيانات معمارية، كما يمكن تصدير الغمامات او النماذج الشعاعية الناتجة عن الرقمنة إلى برمجيات نمذجة معلومات البناء وذلك ضمن مستويات التفاصيل Level Of Details الثاني LOD2 (جدران، سقف) والثالث LOD3 (نوافذ وأبواب). وبشكل عام يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية:

1. عرض مختصر لتدفق اكتساب بيانات الضبط وبيانات المسح التصويري بتطبيق معايير مبسّطة.
2. عرض لمعالجة بيانات المسح التصويري ولمنتجاته من غمامة نقاط ثلاثية الأبعاد، نموذج سطوحي وصوري حقيقي، صور مرجعة عامودياً للواجهات وكذلك للنموذج الشعاعي CAD الناتج عن الرقمنة على النموذج الصوري الحقيقي. هذه المراحل ستتم بمساعدة برنامج مسح تصويري مؤتمت.
3. مناقشة دقة النموذج ثلاثي الأبعاد وتوضيح التكامل بين برامج المسح التصويري وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافية وبرمجيات BIM للحصول على مستويات التفاصيل LOD2 و LOD3 للمبنى المنمذج.

طرائق البحث ومواده:

1- العنصر المدروس

يعتبر مبنى مركز بيع الكتب من المنشآت الهامة في جامعة تشرين في اللاذقية، حيث يقع بالقرب من مبنى رئاسة الجامعة، وهو مؤلف من عدة واجهات مستوية إضافة إلى سطح قرميدي مؤلف من مستويات مائلة. وأبعاد هذا المبنى التقريبية هي 14.5 m x 15 m مع ارتفاع يساوي تقريباً إلى7 m (الشكل (1)).

الشكل (1). مبنى مركز بيع الكتب.

2- اكتساب البيانات

الهدف من هذه المرحلة هو الحصول على المدخلات، بعد تطبيق مجموعة التوصيات الهندسية والفوتوغرافية، وهي مرحلة يدوية وتضم العمليات التالية:

- ✓ تأمين معطيات الضبط والتي تأخذ شكل نقاط أساس مساحي ونقاط ضبط على مختلف أقسام مركز بيع الكتب، حيث يتطلب إنجاز هذه المرحلة القيام بأعمال جيوديزية (أفقية وشاقولية) تقليدية.
- ✓ التقاط صور باستخدام آلة تصوير رقمية.

بالنسبة لشبكة الاستناد المساحي، ، توصي المعايير الهندسية بأن على هذه الشبكة تحقيق المعايير المتبعة في تصميم الشبكات الجيوديزية التقليدية [5]. وبناءً عليه، قمنا باعتماد نقطتين من الشبكة العامة تشكلان قاعدة مع زرع مرصدين (على شكل وتدين حديدين) بالقرب من المركز وذلك من أجل تغطية كامل المبنى، ورصد كل واجهة من الواجهات من هذين المرصدين.

بالنسبة لنقاط الضبط على جسم المنشأ، فالهدف منها هو حساب هندسية النموذج وتقييم دقته الهندسية. وهنا تبين التوصيات الهندسية المتعلقة بعدد ونوع وتوزع هذه النقاط أن عددها وتوزعها يجب أن يحققا معايير عدد وتوزع النقاط المعمول بها في التثليث الصوري. وهنا قمنا بتأمين وجود 6 نقاط ضبط على الأقل (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 رياضياً .إن توفر هذا العدد الكبير من نقاط الضبط سيمكننا لاحقاً من استخدام بعضها كنقاط اختبار للحكم على نوعية التوجيه الخارجي للصور. أما فيما يتعلق بالنوع (نقاط ضبط طبيعية أو صناعية)، فقد وجدنا انه يوجد إمكانية تحديد نقاط طبيعية على جسم المنشأ والتي هي موجودة في زوايا النوافذ الموزعة على كامل المنشأ. يوضح الشكل (2) توزع بعض نقاط الضبط على جزء من المبنى.

الشكل (2) . توزع نقاط الضبط على واجهات مركز بيع الكتب.

تم إجراء القياسات الحقلية المساحية للقاعدة والمراصد ونقاط الضبط على المبنى باستخدام جهاز المحطة المتكاملة Leica TS09 لإجراء قياسات الاتجاهات والمسافات، بدقة 3^{cc} للاتجاه الواحد، و $2\ mm$ للمسافة الواحدة.

أما فيما يخص الصور الخاصة بالمبنى، فقد تم التقاطها باستخدام آلة تصوير رقمية مرفقة مع الهاتف النقّال iPhone 7 والتي تبلغ دقة تمييزها 12 megapixels وحجم بكسل مساو لـ 1.22 ميكرون. كما استخدمنا البرنامج Agisoft PhotoScan في توجيه الصور والاقتطاع الآلي للنقاط منها على شكل غمامة كثيفة ومن ثم تحويلها إلى نموذج سطوحي ثم إلى نموذج صوري حقيقي وكذلك للحصول على صور مرجعة عامودياً للواجهات. يعتبر البرنامج Agisoft PhotoScan 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. كما يمكّن من توجيه الصور الملتقطة من أية مواقع مع مراعاة تحقيقها لشرط وقوع إي نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل [7].

من ناحية أخرى استخدمنا البرنامجين ArcGIS 10.5 كممثل عن برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والبرنامج Bentley Descartes من أجل نمذجة معلومات البناء الخاصة بمركز بيع الكتب.

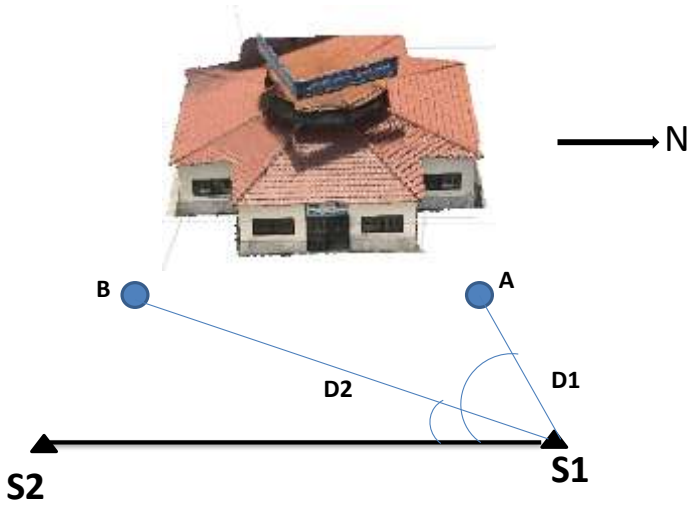
النتائج والمناقشة:

1- حساب الإحداثيات الأفقية والشاقولية لنقاط الضبط على الواجهة

تم استخدام نقاط من الشبكة العامة في حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لنقاط الضبط على جسم الواجهة. تم أولاً تعريف قاعدة من نقطتين معلومتي الإحداثيات في الجملة الستيريوغرافية السورية (النقطتان S1, S2)، ثم تمت زراعة مرصدين بالقرب من المبنى (المرصدان A, B) وحسبت إحداثياتهما عبر رصد الزوايا والمسافات (الشكل (3)). فيما يخص نقاط الضبط على جسم المبنى، فقد تم التعامل معها مما يتم التعامل مع نقاط الرفع التفصيلي أي أننا حسبنا إحداثياتها بالطريقة المباشرة (زاوية ومسافة وفرق ارتفاع) انطلاقاً من الأرصاد المنفذة من المرصدين A, B. وبما أنه يمكن رؤية كل من هذه النقاط من المرصدين السابقين، فقد تم اعتماد القيم المتوسطة لهذه الاحداثيات. يبين الجدول (1)، الإحداثيات الأفقية لنقاط القاعدة وللمراصد ولبعض نقاط الضبط على جسم المنشأ ومناسيبها بالنسبة لجملة الإحداثيات العامة.

جدول (1). الإحداثيات النهائية ثلاثية الأبعاد لبعض لنقاط الضبط.

رقم النقطة	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	−303045.416	151854.754	31.587
S2	−303005.540	151648.910	−
A	−303093.890	151800.503	29.958
B	−303090.970	151816.070	28.821
1	−303097.324	151816.067	30.139
2	−303097.322	151816.070	29.158
3	−303098.818	151817.238	29.159
4	−303098.817	151817.239	30.143
5	−303096.834	151811.874	30.154
6	−303096.831	151811.872	29.190

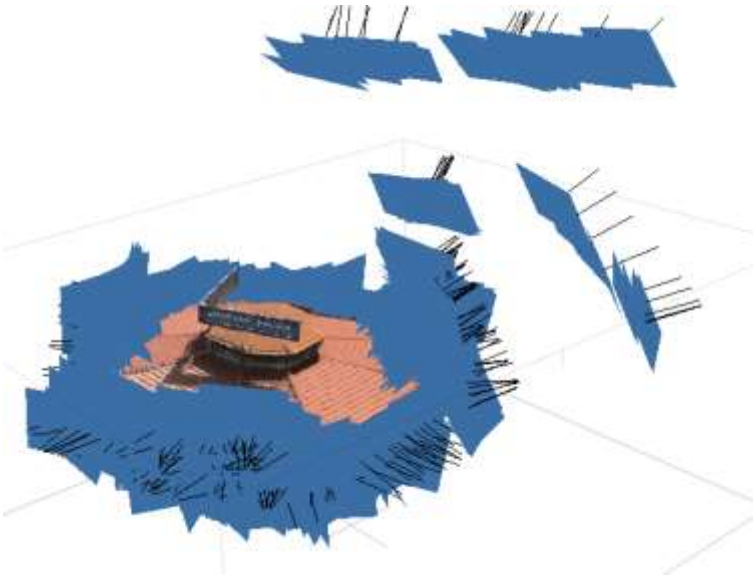


الشكل (3) . تحديد إحداثيات نقاط الضبط على واجهات مركز بيع الكتب.

2- التقاط الصور للعنصر

عند التقاط الصور، قمنا تطبيق طريقة الخاتم Ring method، وهنا قمنا بالوقوف بحيث يظهر كل العنصر في الصورة ثم قمنا بالتقاط صورة و تحركنا حول العنصر بحيث يشكل جهاز التصوير خاتماً مركزه العنصر و مع كل خطوة أخذنا صورة. ومن أجل الحفاظ على زوايا قريبة من القائمة بين الصور قمنا بالفصل الجيد بين محطات جهاز التصوير أفقياً وشاقولياً. أي لم نجعل كل المحطات في مستو واحد. قمنا أيضاً بإحاطة المبنى من الأعلى و الأسفل. كما قمنا بإضافة لقطات متعامدة للواجهة وذلك لأغراض الإرجاع وتصنيع الموزاييك الصوري في حالة الحاجة إلى هذا النوع من المنتجات. وخلال عملية التصوير قمنا أيضاً بالاقتراب من العنصر للحصول على تفاصيل أكبر وكذلك

بالابتعاد كثيراً من أجل تطويق العنصر أو محيطه. في نهاية عملية التصوير حصلنا على 572 صورة ويوضح الشكل (4) مواقع التقاط هذه الصور.



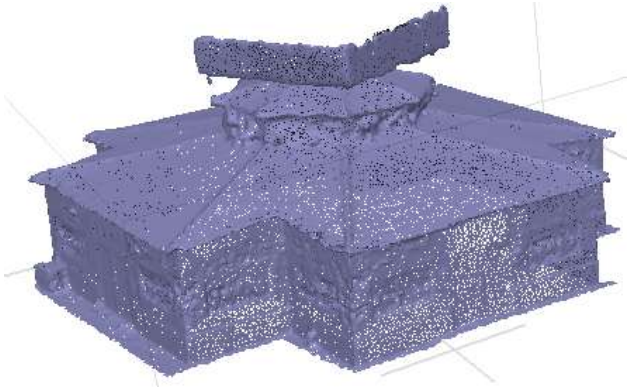
الشكل (4). مواقع التقاط الصور لمركز بيع الكتب.

3- حساب النموذج ثلاثي الأبعاد للمبنى

تم في هذه المرحلة قياس كل نقاط الضبط المتوفرة على الصور وتوجيهها بالاستعانة بالبرنامج Agisoft PhotoScan وذلك لتحديد مواقع وتوجيه آلة التصوير. تم بعد ذلك حساب غمامة النقاط الكثيفة الخاصة بهذا المبنى فحصلنا بعد عملية التحرير لهذه الغمامة على 3,115,000 نقطة تقريباً (الشكل (5)).

الشكل (5). غمامة النقاط الكثيفة لمركز بيع الكتب.

تم بعد ذلك توليد النموذج السطوحي للمبنى انطلاقاً من الغمامة الكثيفة السابقة فحصلنا على شبكة مثلثات غير منتظمة TIN عدد وجوهها 139000 تقريباً (الشكل (6)).

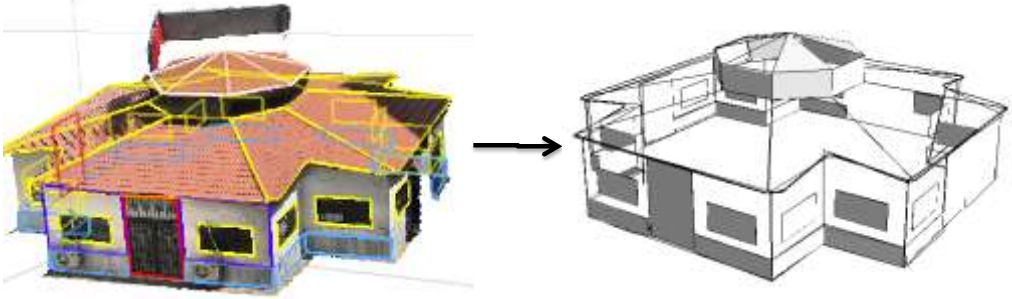


الشكل (6). النموذج TIN لمركز بيع الكتب.

وأخيراً، تم توليد النموذج الصوري الحقيقي للمركز (الشكل (7)) عبر إعادة إسقاط الصور على سطوح النموذج السطوحي الناتج عن الخطوة السابقة.

الشكل (7). النموذج الصوري الحقيقي لمركز بيع الكتب.

يمكّننا الجيل الجديد من برمجيات المساحة التصويرية المؤتمتة من القيام بالرقمنة على النموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام أدوات رسم تشبه تلك الموجودة في برامج التصميم بمعونة الحاسب. يمكن لاحقاً تصدير هذا النموذج إلى برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، الـ BIM وبرامج الرسم بمعونة الحاسب للاستفادة منها من قبل تطبيقات أخرى (الشكل (8)).



الشكل (8). الرقمنة ثلاثية الأبعاد على النموذج الصوري الحقيقي لمركز بيع الكتب.

4- مناقشة دقة النموذج الناتج

من الناحية البصرية، نلاحظ أن النموذج كامل ولا توجد فيه أية فجوات، وهذا عائد إلى توفر عدد كبير من الصور لكل جزء من اجزاء المبنى المنمذج. أما فيما يخص الدقة الهندسية للنموذج الناتج، فقد استخدمنا مفهوم نقاط التحقق

Check points والتي بلغ عددها 26 نقطة موزعة على كامل النموذج للحكم على نوعيته الهندسية. في الواقع، هذه النقاط هي نفسها نقاط الضبط المستخدمة في توجيه الصور والتي يعتبرها البرنامج نقاط تحقق ويعيد حساب إحداثياتها بعد حساب معاملات التوجيه الخارجي (موقع وتوجيه آلة التصوير) لكل الصور. باستخدام نقاط التحقق حصلنا على الأخطاء متوسطة التربيع الموضحة في الجدول (2):

جدول (2). الأخطاء متوسطة التربيع المرتكبة على نقاط الضبط (التحقق)

σ_{total} (mm)	σ_{xy} (mm)	σ_z (mm)	σ_y (mm)	σ_x (mm)	عدد نقاط الضبط
9.6	9.3	2.6	7.1	5.9	26

يمكننا تحديد قيمة مخرج المقياس الرسومي k المناسب للنمذجة عند هذه القيم للأخطاء، من خلال العلاقة [1] والتي تخص الدقة النسبية للتموضع (مدى قرب المواقع النسبية للسمات في مجموعة البيانات من مواقعها المعتبرة حقيقية).

$$\frac{1}{k} = \frac{\sigma xy}{0.2} \qquad [1]$$

وبالحساب نجد أن k=50 تقريباً وهو مقياس مناسب للمخططات المعمارية.

5- استخدام الصور المرجعة عامودياً في نظم المعلومات المعمارية

تعتبر الصور المرجعة عامودياً من أهم المنتجات التي يمكن الحصول عليها باستخدام نظم المسح التصويري المؤتمت. وهذه الصور تظهر صور العناصر في مواقعها الهندسية الصحيحة وبالتالي يمكن استخدامها كأساس للرقمنة وتلبية حاجة قواعد البيانات في نظم المعلومات الجغرافية والمعمارية. في الواقع، تمثّل الصور المرجعة عامودياً تعبيراً مستوياً صحيحاً يمكن استخدامه لإجراء قياسات مباشرة للمسافات والزوايا والمواقع والمساحات وذلك دون الحاجة إلى إجراء تصحيحات للتشوهات الناتجة عن الإزاحة في الصورة. و لإنتاج الصورة المرجعة عامودياً لعنصر ما، يلزمنا النموذج السطوحي لهذا العنصر إضافةً إلى معاملات التوجيه الخارجي Exterior orientation لآلة التصوير المستخدمة. للإشارة إلى إمكانيات نظم المسح التصويري قليلة التكاليف في تخديم قواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية، قمنا في بحثنا هذا بإنتاج الصورة المرجعة عامودياً للواجهة الرئيسية لمركز بيع الكتب (الشكل (9)) وذلك بحيث يكون مقياس هذه الصورة هو مقياس معماري للواجهات مساو لـ 1/200. يمكننا التحكم بمقياس الصورة المرجعة من خلال تحديد قيمة لدقة التمييز الأرضية Ground Sampling Distance (GSD) (ما يغطيه البكسل الواحد من الصورة على العنصر) مناسبة للمقياس المطلوب. كما أشرنا سابقاً، فإن بعد البكسل d في الصورة هو 1.2 ميكرون، وبالتالي يمكن حساب الـ GSD من خلال العلاقة التالية:

$$\frac{1}{S} = \frac{d}{GSD} \qquad [2]$$

بالتعويض نجد:

$$\frac{1}{200} = \frac{1.2.10^{-6}}{GSD}$$

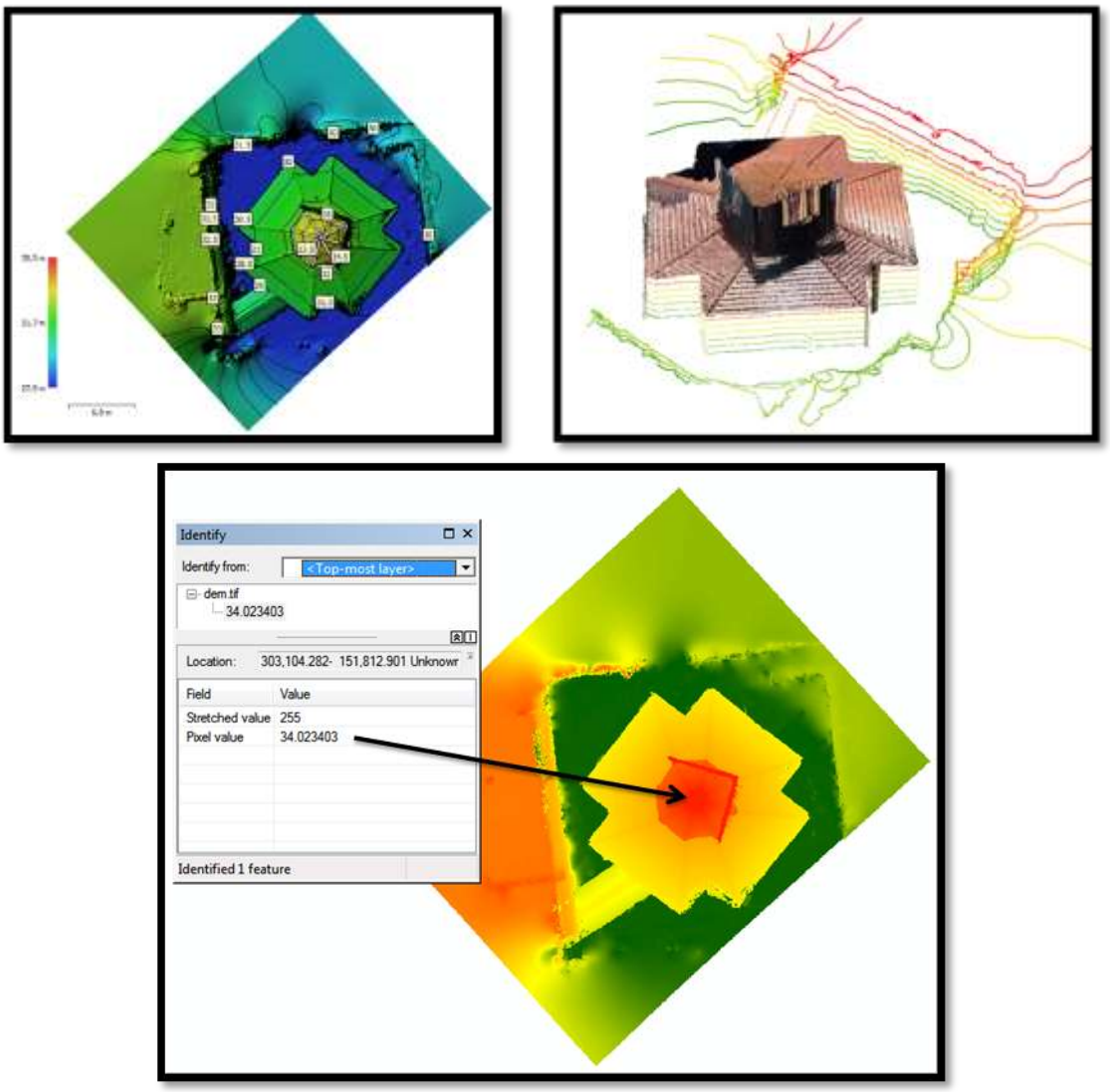
ومنه نجد أن: GSD= 0.24 mm.

يمكن تصدير الصورة المرجعة عامودياً إلى نظام معلومات جغرافي (ArcGIS 10.5) للاستفادة منها كمصدر للبيانات الهندسية والوصفية في قاعدة بيانات معمارية تخص المبنى. في الواقع، تشكّل هذه الصورة أساساً للرقمنة عليها من أجل اقتطاع هندسية السمات المختلفة مثل الجدران، النوافذ، الأبواب..الخ، وكذلك تحديد مواصفاتها ضمن قاعدة البيانات المعمارية (الشكل (10)).

الشكل (9). الصورة المرجعة عامودياً للواجهة الرئيسية لمركز بيع الكتب

الشكل (10). الرقمنة على الصورة المرجعة عامودياً ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

هنالك منتج آخر يمكن الحصول عليه من نظم المسح التصويري المؤتمت وهو النموذج الرقمي للارتفاعات Digital Elevation Model (DEM) والذي يعتبر مدخلاً مهماً للعديد من التحليلات باستخدام GIS والتي نذكر منها تحديد مواصفات العنصر مثل الارتفاع عند أية نقطة منه وكذلك الميل Slope إضافة إلى استخدامه كأساس في توليد خطوط الكونتور. إن هذه المعلومات مهمة فيما يسمى بالتحليلات المرتبطة بطبوغرافية للمشهد المصور Topography-related analyses. بالنسبة لمركز بيع الكتب، فقد تم توليد الـ DEM على شكل صورة بدقة تمييز 1.32 cm/pixel، كما تم توليد خطوط الكونتور للمشهد المصور انطلاقاً منه (الشكل (11)) وتصديرها إلى البرنامجين ArcMap و ArcScene.



الشكل (11). الـ DEM الناتج عن نظام المسح التصويري المؤتمت مع بعض استخداماته في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

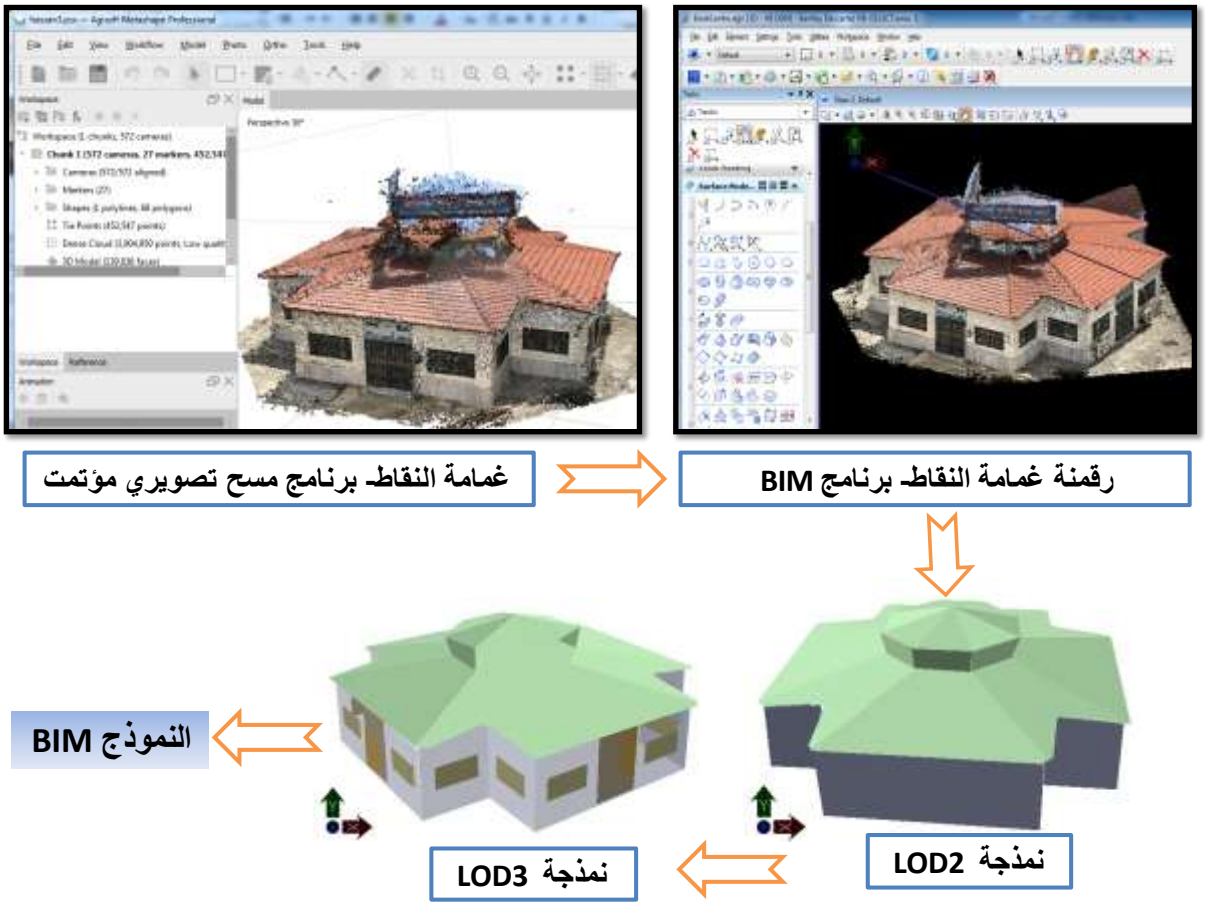
6- استخدام النموذج ثلاثي الأبعاد في نمذجة معلومات البناء

وفقًا للمعايير الدولية، يمكن تعريف الـ BIM على أنه التمثيل الرقمي المشترك للخصائص المادية والوظيفية لأي عنصر مبني والذي يشكل أساساً موثوقاً لاتخاذ القرارات [8]. وبشكل آخر، يمكن تعريفه على أنه تمثيل رسومي للبناء مع قاعدة بيانات لمكونات لهذا البناء (السمات والسلوك) وعملية تبادل المعلومات حيث يتم التعامل مع كل مكون كعنصر. يجب هنا التمييز بين نوعين من نماذج معلومات البناء والنماذج الرقمية للأبنية. فتلك التي يتم إنشاؤها عند تصميم البناء تسمى: نموذج معلومات البناء "كما هو مصمم" As-Planned ويتطلب تخيلاً من مصممي البناء. إن هذا النموذج يشكّل أداةً فعالة في الاستفادة من البناء وصيانته وهذا ما يشكّل 75% من الكلفة الخاصة بالبناء. وهنالك نموذج آخر من معلومات البناء يخص الأبنية الموجودة ويسمى نموذج معلومات البناء "كما هو منفّذ". وبهدف استخدام نموذج معلومات البناء في الأبنية الموجودة (وذلك للاستفادة من ميزاته)، يجب إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لهذا البناء. ولهذا قد تشكّل النمذجة القائمة على الصور IBM حلّاً بديلاً النظم المسح الليزري نظراً لقدرتها على تمثيل

هندسية العناصر بشكل تفصيلي ودقيق عبر توليد غمامات من النقاط ثلاثية الأبعاد. إن هذه الإمكانية الأخيرة هي ما سنختبره في بحثنا هذا حيث سنستخدم النموذج ثلاثي الأبعاد الناتج عن المعالجة السابقة كمدخل من أجل نمذجة معلومات مركز بيع الكتب وذلك ضمن مستويات التفاصيل LOD2 و LOD3.

من الجدير بالذكر أن نموذج معلومات البناء ليس مجرد مجسم ثلاثي الأبعاد للمبنى بأي حال من الأحوال، بل منظومة متكاملة من المعلومات يحتوى على تمثيل مفصل لجميع عناصر المبنى متعدد القياسات (Parametric)، ويشمل ذلك المعلومات الهندسية (وهذا هو النوع الوحيد من المعلومات الذي يمكن للمسح التصويري تأمينه) ويشمل أيضا المعلومات الوظيفية والإنشائية والتكلفة وتفاصيل التصنيع والتركيب والتراتب الزمني وغير ذلك. نظرا لهذه الطبيعة المعلوماتية للنموذج فإن الرسومات ثنائية الأبعاد (مساقط وواجهات وقطاعات وتفاصيل) تعتبر مجرد تقارير يتم تصديرها من هذا النموذج، وبالتالي فإن توجه (BIM) ليس فيه مفهوم الرسم الهندسي التقليدي، وإنما نمذجة فعلية للمعلومات [9].

في بحثنا، تمت عملية نمذجة معلومات البناء لمركز بيع الكتب بجامعة تشرين باستخدام البرنامج Bentley Descartes وهو منتج برمجي يدمج أنماط معلومات نمذجة البيانات الأساسية في سير العمل. وتشتمل أنواع البيانات الأساسية هذه على غمامات نقاط، نماذج رقمية للأرض وملفات صور. مرت عملية نمذجة معلومات البناء بمساعدة البرنامج Bentley Descartes عند المستويات التي استطعنا الحصول عليها بالمسح التصويري وهي تلك الخاصة بجزئه الخارجي (أي مستويات التفاصيل LOD2, LOD3) بالمراحل التي يوضحها الشكل (12). في الواقع، يمتلك البرنامج العمل مع هذا البرنامج Bentley Descartes العديد من الوظائف التي تمكننا من بناء السطوح انطلاقاً من مجموعة من النقاط الموجودة في الغمامة وذلك بشكل نصف آلي. قمنا باستخدام هذه الوظائف في بناء الجدران والسقف (LOD2) كما يملك أدوات لمسح النقاط الموجودة في موقع محدد وهذا ما استخدمناه من أجل تفريغ مكان النوافذ والأبواب في الجدران (LOD3).



الشكل (12). تسلسل العمل المنفذ بدءاً من المعالجة التصويرية وصولاً إلى النماذج LOD2 و LOD3 .

لتقييم الدقة الهندسية للنماذج LOD2 و LOD3 لمركز بيع الكتب، قمنا بمقارنة السطوح المكونة لهما مع النموذج الواقعي الذي تمثله غمامة النقاط الكثيفة. لقد تم بناء هذه السطوح انطلاقاً من نقاط هذه الغمامة باستخدام تقنية إلباس السطوح Surface fitting، وهنا يزودنا البرنامج بمعاملات إحصائية تدلل على قيمة انحراف هذه السطوح عن النقاط المكونة له. يعطينا البرنامج قيمة الانحراف الأصغر، المتوسط والأكبر وكذلك الانحراف المعياري لهذه السطوح عن غمامة النقاط. وفيما يخص النموذج LOD2، فقد بلغت قيمة الانحراف الأكبر 3 cm في حين بلغت قيمة الانحراف الأكبر بالنسبة للنموذج LOD3 القيمة 3.5 cm. تعتبر هذه القيم مقبولةً وفق المعايير المحددة في [10].

الاستنتاجات والتوصيات:

بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة حول إمكانية استخدام نظم المسح التصويري المؤتمت قليلة التكاليف كمصدر للبيانات اللازمة لنظم المعلومات المعمارية ونمذجة معلومات البناء، نستنتج مايلي :

1. يمكن اعتبار نظم المساحة التصويرية المؤتمتة مصدراً هاماً للبيانات اللازمة لقواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية، والتي وجدنا أنها تأخذ شكل صور مرجعة عامودياً من مقاييس معمارية وكذلك نماذج شعاعية ثلاثية الأبعاد.

2. تعتبر البرمجيات التي تؤتمت عملية توجيه الصور واقتطاع غيمة كثيفة من النقاط حلاً بديلاً رخيصاً مقارنةً بالأساليب القديمة التي تستخدم أسس المسح الليزري ثلاثي الأبعاد والتي تعتبر ذات كلفة مادية ومعرفية عالية. تعتبر هذه الغمامات مصدراً هاماً للبيانات الدقيقة اللازمة لنمذجة معلومات البناء، حيث وجدنا أنها أعطت نماذج LOD2 و LOD3 بدقة بضعة سنتيمترات.

3. لابد من الإشارة إلى أن برمجيات المسح التصويري المؤتمت تعاني من مشكلة وقت المعالجة الطويل والحاجة إلى ذواكر كبيرة جداً للحصول على منتجات جيدة. لقد بلغ زمن توجيه الصور ما يقارب 9 ساعات وزمن الحصول على غمامة النقاط الكثيفة ما يزيد عن 6 ساعات وذلك باستخدام حاسب معالجه Intel Core i5 2.53 GH, 4 GB RAM. يمكن تفسير هذه المدة الطويلة بالعدد المرتفع للصور.

يمكن أن نوصي باستخدام منهجية العمل السابقة في التفكير باستخدام المسح التصويري المؤتمت في الحصول على قواعد بيانات نظم المعلومات المعمارية ونمذجة معلومات البناء نظراً لمرونتها وانخفاض كلفتها مقارنة بالطرائق المعتمدة حالياً. كما نوصي من جهة أخرى بالتخطيط لعملية التصوير بحيث نحصل على العدد اللازم من الصور لإنتاج نماذج دقيقة ومكتملة، وهو الأمر الذي يخفّض زمن المعالجة الذي احتجناه لصور ملتقطة بأسلوب الخاتم. من ناحية أخرى نشير إلى أن استخدام البرمجيات التجارية الخاصة بنمذجة معلومات البناء مثل Bentley Descartes ليس سهلاً، لذلك نوصي بدراسة إمكانيات برمجيات الـ BIM المجانية ومفتوحة المصدر والتي تبدو واعدةً في هذا المجال.

المراجع:

[1] GRUSSENMEYER, P., HANKE, K., STREILEIN, A.(2001). Applications métrologiques de la photogrammétrie numérique. In Photogrammétrie numérique, Paris : LAVOISIER, 2001, pp.317-361.

[2] WALDHAUSL, P., OGLEBY C. (1994). 3X3 Rules for simple photogrammetric documentation of architecture. In: J. G. Fryer (Editor), Int. archives of Photogrammetry and remote sensing, Vol XXX, Part5. 1994.

[3] REMONDINO, F., SPERA, M.G., NOCERINO, E., MENNA, F., NEX, F., (2014). State of the art in high density image matching. In: *The Photogrammetric Record* 29, pp. 144–166. doi:10.1111/phor.12063.

[4] الخليل، عمر.، فحصة، إياد. (2018). تقييم تأثير دقة التمييز الهندسية للصور على نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد في المساحة التصويرية المؤتمتة. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. المجلد (40). العدد (4). 2018.

[5] دوه جي، محمد.، الخليل، عمر.، يحيى، منير. (2017). 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.

[6] BIM modelling using photogrammetry data. (2019). https://www.more-connect.eu/wp-content/uploads/2017/05/3rd_training-module_short.pdf (25/1/2019).

[7] AGISOFT. (2015). Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition. 2015.

[8] ISO Standard. ISO 29481-1:2010(E): Building Information modeling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format 2010.

[9] KENSEK, K., NOBLE, D. (2014). Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice (1st ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley.

[10] GARAGNANI, S., MANFERDINI, AM. (2013). Parametric accuracy: Building information modeling process applied to the cultural heritage preservation. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-5/W1. 87-92. 10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-87-2013.