

تطبيق نظام مسح تصويري قليل التكاليف في النمذجة ثلاثية الأبعاد للبنى المعمارية واللقى الأثرية

د. عمر الخليل*

د. عبد الرزاق عجاج**

*أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا .
**أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة دمشق . سوريا .

الملخص

تتمتع النماذج ثلاثية الأبعاد لللقى الأثرية (مثل التماثيل) وللبنى المعمارية بأهمية قصوى عند دراسة وتحليل وإعادة بناء وتوثيق هذه اللقى والبنى. كما يعطي الإظهار الخاص بهذه النماذج للمستخدم انطباعاً سورياً حقيقياً عن هذه اللقى والبنى بدلاً من التعبير عنها باستخدام الرسوم. إنَّ للإظهار ثلاثي الأبعاد العديد من التطبيقات في مجال الآثار، تاريخ الفن، العمارة، الهندسة المدنية، السياحة،... الخ.

يعتبر المسح الحقلّي التقليدي للبنى المعمارية أفضل من المسح التصويري من ناحية الدقة. وفيما يخص اللقى الأثرية، فإنَّ المسح الليزري ثلاثي الأبعاد يعتبر الحل الأمثل نظراً للكثافة العالية للنقاط الممسوحة بشكل آلي. ولكن هذه الحلول مكلفة من ناحية الوقت والاحتياجات. ولذلك فإننا نقترح في هذه المقالة استخدام نظام مسح تصويري قليل التكاليف في النمذجة والإظهار ثلاثي الأبعاد الدقيقين لللقى الأثرية وللأبنية. هذا النظام مكون من آلة تصوير رقمية عادية غير مخصصة للمسح التصويري، معطيات ضبط بسيطة ومن برنامج لتوجيه الصور والنمذجة. إنَّ الاستخدام الفعال لهذا النظام يتطلب تطبيق مجموعة من القواعد البسيطة المشروحة في متن البحث.

الكلمات المفتاحية: آلة تصوير رقمية، نمذجة ثلاثية الأبعاد، معايرة آلة التصوير، توجيه الصور.

Application of a low cost photogrammetric system in 3D modeling of architectural structures and archaeological finds

*Dr. Omar Al khalil	and	**Dr. Abdulrazzak Ajaj
----------------------------	------------	-------------------------------

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

**Associated Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

Abstract

3D models of archaeological finds (such as statues) and architectural structures are very important in order to study, analyze and also to reconstruct and document these finds and structures. The visualization of these also allows the user to get the photo realistic impression for these finds and structures rather than graphics-based presentation. 3D visualization has many applications in the field of archeology, art history, architecture, civil engineering, tourism, etc. From precision point of view, traditional field survey of architectural structures is better than photogrammetric documentation. With regard to archaeological finds, 3D laser scanning is the perfect solution because of the high density of scanned points. But these solutions are expensive in terms of time and needs. Therefore, we propose in this study the use of a low cost photogrammetric system for precise 3D modeling and visualization of archaeological finds (such as statues) and buildings. This system is composed of an ordinary digital camera (not designed for photogrammetric purposes), simple control data and a software for orientation and modeling. The effective use of this system require the application of some simple rules which are presented in this study.

Key words: Digital camera, 3D modeling, Camera calibration, Photos orientation.

1-المقدمة

في الوقت الحاضر، هناك طلب متزايد على البيانات ثلاثية الأبعاد لأغراض التوثيق والتخطيط والعمارة، والتحليل البيئي، والسياحة.. الخ (LERMA, J. L, GARCIA A, 2004). هذا، وتتوفر عدة تقنيات للحصول على هذا النوع من البيانات منها الرفع الطبوغرافي التقليدي، المسح التصويري والمسح الليزري ثلاثي الأبعاد 3D laser scanning. يعد المسح الطبوغرافي التقليدي أدق تقنيات الحصول على البيانات ثلاثية الأبعاد لكنه يتطلب استخدام تجهيزات خاصة ومرتبعة التكاليف إضافة إلى الخبرة الخاصة والوقت الطويل. أمّا فيما يخص المسح الليزري ثلاثي الأبعاد، فإنه تقنية سريعة جداً (مقارنة بالمسح التقليدي) ودقيقة ولكنها تعاني من مجموعة من المشاكل نذكر منها الكلفة المرتفعة جداً لأجهزة المسح، الخبرة والحاجة إلى معالجة لاحقة للبيانات بهدف تصنيف نقاط المسح وذلك لأن هذا المسح يولد غمامة من النقاط العمياء التي لا تعرف إلا مواقعها. من هذا المنطلق، يمكن اعتبار المساحة التصويرية حلاً وسطاً بين التقنيتين السابقتين فهو حل أسرع من المسح الطبوغرافي وأقل كلفة منه ومن المسح الليزري (KOEVA,M, 2004).

إن مصطلح المساحة التصويرية القريبة Close range photogrammetry يعني الحصول على معلومات كمية (إحداثيات، أطوال، مساحات، حجوم..) تخصّ عنصراً ما انطلاقاً من القياسات التي تتم على صور هذا العنصر والملتقطة عن مسافة تتراوح من ثلاثة إلى مئة متر عن هذا العنصر. هذا، ويمكن تعريف نظام المسح التصويري الرقمي Digital photogrammetry system المتكامل على أنه مجموعة من الأدوات والبرامج التي تسمح بالحصول منتجات المسح التصويري من صور رقمية باستخدام تقنيات قياس يدوية أو آلية. تنقسم هذه النظم إلى نوعين عامين: احترافية وتجارية. فعندما يتعلق الأمر بالدقة العالية، نلجأ إلى استخدام النظم الاحترافية التي

تستخدم آلات تصوير مترية مع برامج متطورة قائمة على أسس المساحة التصويرية التجسيمية Stereoscopic photogrammetry. إن هذا النوع من النظم مرتفع التكاليف كما أنه يتطلب متخصصين في المساحة التصويرية لتشغيله. أمّا عندما يتعلق الأمر بتطبيقات ذات دقة متوسطة، فإنه من الممكن استخدام النظم التجارية قليلة التكاليف للحصول على البيانات ثلاثية الأبعاد. إن هذا النوع من النظم له تطبيقات مهمة جداً في مجال توثيق التراث المعماري، نمذجة اللقى الأثرية، نمذجة الأبنية، تاريخ الفن، الخ. وهي نظم لا تحتاج إلى متخصصين لتشغيلها وهي مكونة من: آلة تصوير رقمية، برنامج لتوجيه الصور وتوليد النماذج الصورية الواقعية منها إضافة إلى بيانات ضبط Control data بسيطة مثل المسافات الأفقية والشاقولية المقاسة على العنصر المصور. يتطلب استثمار هذا النوع من النظم بشكل جيد تطبيق مجموعة من القواعد البسيطة (هندسية، صورية وتنظيمية) (WALDHAUSL P, OGLEBY C. 1994) والتي يمكن للعديد من غير المتخصصين تطبيقها دون صعوبة كبيرة. كما نجد في (EL-HAKIM,S et al., 2005) عرضاً لمختلف تقنيات إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد من الصور مبيناً حسنات تقنيات المسح التصويري بالنسبة لتلك القائمة على استخدام نظم التصميم بمعونة الحاسب CAD. سنقوم في هذا البحث بتجربة لاختبار دقة النماذج ثلاثية الأبعاد المنتجة باستخدام تقنية المسح التصويري. في هذه التجربة، سنقوم بتطبيق القواعد البسيطة المعطاة في (WALDHAUSL P, OGLEBY C. 1994) وباستخدام نظام مسح تصويري تجاري قليل التكاليف في الحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد لنسخة مقلدة من تمثال أثري (تمثال كسرى) ذي البنية الهندسية المعقدة وعلى النموذج ثلاثي الأبعاد لأحد الأبنية ذات الهندسية البسيطة نسبياً. العنصر الذي سننمذجه هو ماكيت يمثل بناءً بمقياس $\frac{1}{50}$ وهو منجز من قبل طلاب المعهد النقاني الهندسي في جامعة تشرين.

القياس على الصور. وبالنسبة لآلات التصوير المستخدمة في بحثنا فهي (الشكل 1):

١. آلة التصوير الرقمية المرفقة مع الهاتف النقال Samsung GT-18262 وهي آلة تصوير رقمية تتمتع بدقة تمييز هندسية تصل حتى 5 ميغابكسل، تتمتع هذه الآلة بمواصفات صورية جيدة مع إمكانيات الفلاش والتركيز الآلي وهي مزودة ببصريات مصنعة من قبل Carl Zeiss.

٢. آلة التصوير الرقمية المستقلة Casio Exilim EX-H10، ذات دقة تمييز هندسية أعظمية تصل حتى 12 ميغابكسل.



الشكل (1) آلات التصوير الرقمية المستخدمة في البحث.

3-2- العناصر التي نود نمذجتها

تمّ في هذه الدراسة إنتاج النماذج ثلاثية الأبعاد للعنصرين التاليين (الشكل (2)):

١. نسخة مقلّدة من تمثال أثري (تمثال كسرى). الهدف من استخدام هذا العنصر هو تبين قدرات الصور الملتقطة باستخدام آلة تصوير الهاتف النقال كمدخل أساسي في استنتاج الهندسية المعقدة لهذا النوع من العناصر. في الواقع، هذا العنصر مؤلف من سطوح ثلاثية الأبعاد غاية في التعقيد من وجهة نظر هندسية (سطوح محدّبة، مقعرة وأسطوانية الشكل).

٢. ماكيت لأحد الأبنية الحديثة بمقياس $\frac{1}{50}$ وهو منجز من قبل طلاب المعهد التقاني الهندسي في جامعة تشرين. هذا البناء مكوّن من سطوح مستوية أفقية، شاقولية ومائلة وهو ذو بنية هندسية بسيطة مقارنةً بتمثال كسرى.

2- أهمية البحث وأهدافه

تظهر أهمية البحث الحالي في أنّه سيّتيح لنا اختبار فعالية ودقة النمذجة ثلاثية الأبعاد للعناصر الصغيرة (اللقى الأثرية) وللعناصر المعمارية انطلاقاً من صورها وذلك بتطبيق قواعد بسيطة تتعلق بتحضير معطيات الضبط، بعملية التصوير وبتنظيم عملية المسح التصويري ككل. إنّ الأهداف التي يسعى البحث لتحقيقها هي التالية:

١. توضيح فعالية نظم المسح التصويري التجارية قليلة التكاليف في النمذجة ثلاثية الأبعاد للعناصر ذات الهندسيات المتنوعة (من البسيطة إلى المعقدة).
٢. توجيه اهتمام العاملين في مختلف المجالات التي تتعامل مع المعلومات ثلاثية الأبعاد إلى التعامل مع الجيل الجديد من آلات التصوير الرقمية ذات دقة التمييز المتوسطة والمرتفعة ومع برامج توجيه الصور والنمذجة منها. إنّ هذا النوع من البرامج أصبح يتمتع الآن بإمكانيات هائلة تتعلق بأتمتة القياسات والتعامل مع مختلف أنواع السطوح والأشكال ثلاثية الأبعاد، إضافةً إلى تعامله مع آلات تصوير رقمية معايرة وغير معايرة على حدّ سواء.

٣. إعطاء تطبيق عملي لقواعد المسح التصويري لغير المختصين في المساحة التصويرية.

3- طرق البحث ومواده

3-1- آلات التصوير الرقمية المستخدمة

على الرغم من أنّ آلات التصوير الرقمية (المستقلة أو المرفقة مع الهواتف الذكية) لم تصمم لأغراض المسح التصويري، إلا أنّها تمتلك العديد من الميزات العملية، مقارنةً بمقابلتها التي تعتمد على الأفلام، لذلك فهي تقدم نفسها كأداة رقمية قوية وواعدة في مجال المسح التصويري. إنّ استخدام هذا النوع من آلات التصوير كأداة للحصول على المعلومات المترية يملّكن من تحطّي مرحلة المسح الضوئي للأفلام ومن أتمتة العديد من عمليات

المعطيات التالية: الصور، آلة التصوير المستخدمة في الحصول على الصور والقياسات على الصور. كما يمكن من معايرة آلة التصوير للحصول على مواصفاتها الهندسية الداخلية (معاملات التوجيه الداخلي) الدقيقة (Eos Systems, 2008). حيث يمكن، في هذه الحالة، حساب البعد المحرق للجهاز المستخدم و النقطة الرئيسية للصورة وتزيّعات العدسة.

يتمّ القياس على الصور المظهرة على الشاشة ويقوم البرنامج بحساب البنية ثلاثية الأبعاد للمشاهد المصور. ويمكن تصديرها على شكل ملف رسومي يمكن التعامل معه ضمن أيّ نظام تصميم بمعونة الحاسب. كما يمكن توليد نماذج صورية حقيقية للعنصر موضوع النمذجة. ويمكننا البرنامج من قياس النقاط، المستقيمات، المسطوح ثلاثية الأبعاد والأسطوانات.

4- النتائج والمناقشة

في هذا البحث، تمّ تقسيم العمل إلى المراحل الآتية:

1. الحصول على بيانات الضبط Control data.

2. النقاط الصور للعناصر المدروسة.

3. معايرة آلات التصوير المستخدمة والحصول على

معاملات التوجيه الداخلي.

4. إنجاز عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد للعناصر.

5. تنفيذ قياسات على النمذجة الناتجة السابقين و مقارنتها

مع قياسات حقيقية منقذة على العناصر نفسه.

4-1- بيانات الضبط

للحصول على بيانات الضبط، قمنا بتطبيق بعض القواعد

البسيطة المعطاة في (WALDHAUSL P, OGLEBY C. 1994) حيث قمنا أولاً بقياس بعض

المسافات الأفقية والشاقولية على العناصر وذلك بهدف

وضع النماذج على المقياس. الشكل (3) يوضح هذه

البيانات:



الشكل (2) العناصر النمذجة.

3-3- الصور اللازمة للنمذجة

تم تطبيق أسلوب الصور المتعددة Multi-

images Approach في النقاط الصور اللازمة لنمذجة

العناصر المدروسة. إن إستراتيجية النقاط الصور هنا هي

أن كل نقطة مطلوب تحديدها يجب أن تكون واقعة على

تقاطع شعاعين مارين بمرسّمات هذه النقطة على

صورتين على الأقل بزواوية مقبولة بحيث يمكن تحديد

موقعها في العنصر بالنقاط الفراغي. و تعتمد هذه الزاوية

على متطلبات الدقة فقط. إن معرفتنا بالطبيعة الهندسية

للعنصر المصور (وجود خطوط متوازية، وقوع بعض

المسطوح في نفس المستوي و تعامد بعض العناصر في

فراغ العنصر) سيمكننا من زيادة القياسات الداخلة في

الحسابات وهذا سيسم ح بللحصول على حل قوي و

متجانس يحدد هندسية العنصر من خلال القياسات المنقذة

على الصور (COOPER M.A.R., ROBSON S.1996)

بالنسبة لهتمثال كسرى، فقد تمّ التقاط صورته باستخدام آلة

التصوير الرقمية المرفقة مع الهاتف النقال Samsung

GT-18262. أمّا صور الماكيت فقد تمّ التقاطها

باستخدام آلة التصوير الرقمية Casio.

3-4- برنامج النمذجة

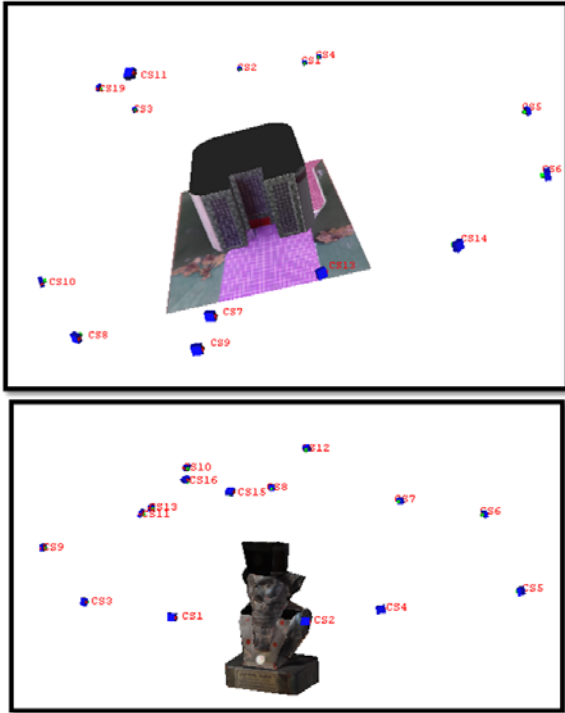
فيما يخص معايرة آلة التصوير، حساب توجيهات الصور

وحساب النموذج ثلاثي الأبعاد فقد تمّ باستخدام البرنامج

Photo Modeler Pro.6. هذا البرنامج مطوّر من قبل

الشركة الكندية EosSystems يعمل بنظام Windows.

يستخدم هذا البرنامج مفهوم المشروع والذي يقوم على



الشكل (4) مواقع الصور اللازمة للنمذجة.

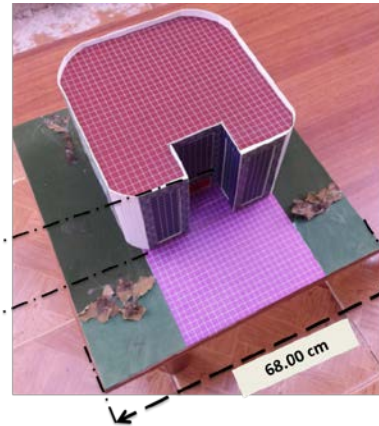
3-4- معايرة آلات التصوير

تحتوي معظم برامج (ومنها البرنامج المستخدم في البحث) على آلية تضمن القيام بمعايرة آلة التصوير المستخدمة (تحديد معاملات توجيهها الداخلي وتزيغات العدسة). إن عملية المعايرة ضرورية من أجل الحصول على نم وذج ثلاثي الأبعاد دقيق. لقد تمت طباعة شبكة معايرة على لوحة من القياس A0 على حامل بلاستيكي مقاوم للتمدد والتقلص ومن تمَّ تمَّ النقاط 12 صورة لهذه الشبكة كي يقوم برنامج المعايرة بإنجاز المعايرة بشكل آلي. نبين في الجدول (1)، معاملات المعايرة لآلة التصوير

المستخدمتين في البحث:

الجدول (1) المعاملات الداخلية (المعايرة) لآلة تصوير الهاتف النقال Samsung GT-18262 و لآلة التصوير الرقمية Casio.

Casio	Samsung GT-18262	المعامل
6.1754 mm	3.1637 mm	البعد المحرقى
2.9193 mm	1.6835 mm	X_p
2.2950 mm	1.2834 mm	Y_p
5.792e-003	-1.0200E-02	$K1$
-1.108e-004	-2.3490e-004	$K2$
0.000e+000	2.300e-005	$K3$
3.426e-004	1.6920e-004	$P1$
-2.004e-004	-2.7960e-004	$P2$



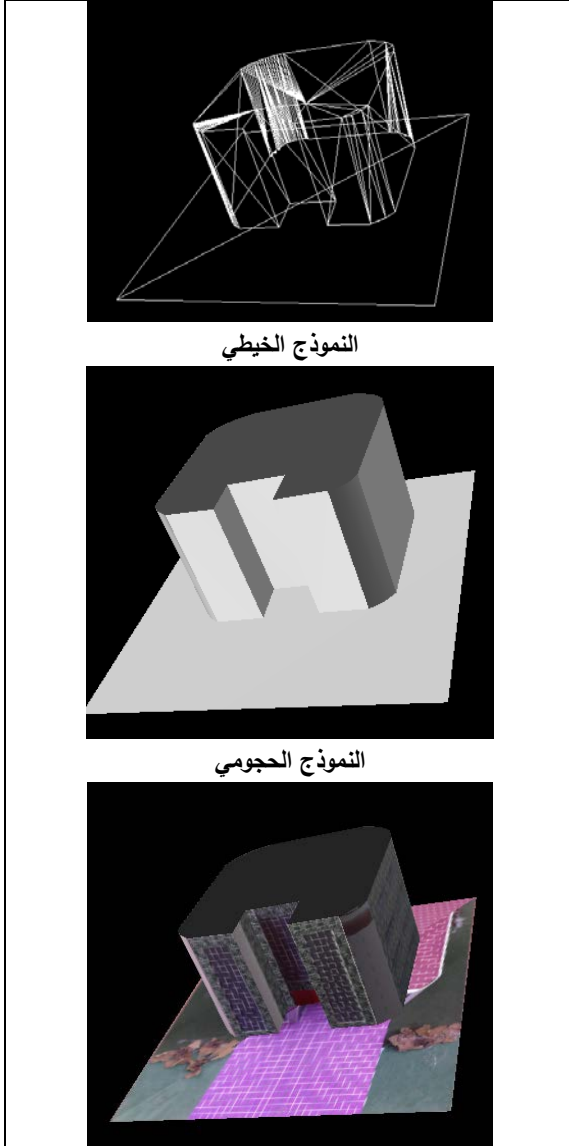
الشكل (3) بيانات الضبط.

2-4- النقاط الصور

حرصنا على النقاط هذه الصور على شكل حلقة حول العنصر مع نسبة تداخل بين الصور الم تتالية تقارب 60 % على الأقل. إنَّ هذا سيضمن وجود كل نقطة من نقاط العنصر على أكث من صورتين. كما تمَّ النقاط صور تغطي الأجزاء المتجاورة من العناصر. قمنا خلال النقاط الصور بتثبيت الجزء البصري للآلات أي لم نستخدم التكبير و التصغير أو التركيز الآلي Auto focus. عند النقاط الصور حرصنا على العمل في شروط إضاءة متجانسة لتفادي تأثير الظلال.

احتجنا في حالة الماكيت إلى 15 صورة لتغطية كل أجزائه. أمَّا في حالة التمثال، فقد احتجنا إلى 17 صورة وذلك بالرغم من حجمه الصغير مقارنةً بالماكيت. إنَّ هذا العدد الكبير من الصور مبرر بالتعقيد الهندسي لأجزاء التمثال (الشكل (4)).

من أبعاده الصغيرة) لتغطية أجزاءه المختلفة. في الواقع، لا يوجد لهذا التمثال مركب أساسي واحد ولكن توجد مركبات مختلفة منها المستويات والسطوح المنحنية والأسطوانات. إنَّ هذا التركيب الهندسي دفعنا إلى قياس عدد كبير جداً من النقاط على الصور لتعريف المركبات الهندسية. على هذا المثال تمَّ قياس ما مقداره 340 نقطة على الصور بهدف التوجيه والنمذجة. ولا بدَّ أن نشير هنا إلى استفادتنا من الإمكانيات الهائلة لبرامج النمذجة التجارية قليلة التكاليف (ومنها البرنامج المستخدم في بحثنا) وذلك فيما يخص الحالات المتنوعة لنمذجة السطوح المعقَّدة والأسطوانات وغيرها. نبين في الشكل (6) مراحل بناء النموذج الصوري ثلاثي الأبعاد لتمثال كسرى.

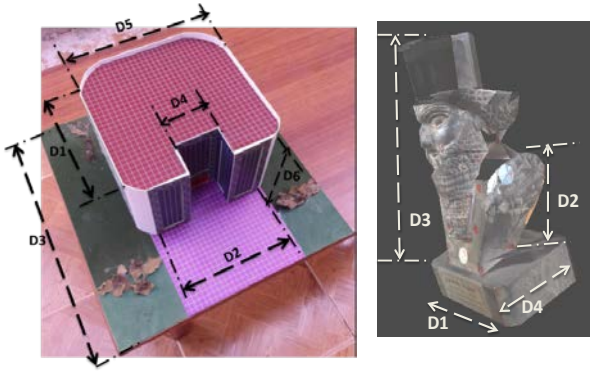


نلاحظ من الجدول السابق أنَّ النوعية البصرية لعدسات آلة التصوير الرقمية Casio أفضل من تلك الخاصة بالهاتف النقال وذلك من خلال مقارنة معاملات تزيُّع العدسة الخاصة بكل منهما k3 على سبيل المثال . على كلِّ، يمكن اعتبار أنَّ تأثير هذه القيم على الدقَّة النهائية للنموذج ثلاثي الأبعاد محدود (الخليل، عمر، 2011).

4-4- توليد النموذج ثلاثي الأبعاد

لإنجاز عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد نحتاج إلى المدخلات التالية: مجموعة الصور الخاصة بالعنصر، ملف معاينة آلة التصوير، قياسات على الصور من أجل إنجاز توجيه الصور (توجيه خارجي)، و بعض القياسات المرجعية (مسافات أفقية و شاقولية) لوضع النموذج على المقياس. أمَّا مراحل عملية المعالجة فهي تقوم على تنفيذ قياسات على الصور الموجهة لتعريف المركبات الهندسية الأساسية للعنصر المنمذج وتوليد النموذج الخيطي Wireframe model للعنصر. تتبع هذه الخطوة عملية توليد النموذج الحجمي أو السطوح Surfaces model للعنصر ومن ثم توليد النموذج الصوري الحقيقي Photorealistic model وذلك بإعادة إسقاط الصور الأصلية على أجزاء النموذج الحجمي (GRUSSENMEYER, P et al. 2001).

فيما يخص ماكيت البناء ذي الهندسية البسيطة، فقد احتجنا إلى عدد محدود من الصور (بالرغم من أبعاده الكبيرة مقارنةً بالتمثال) وذلك لأنَّ المكوّن الهندسي الأساسي لبنينته هي المستويات ثلاثية الأبعاد والتي احتجنا فقط لتحديد محيطها الخارجي على الصور الموجهة. في هذا المثال قسنا ما مقداره 302 نقطة على الصور بهدف التوجيه والنمذجة. من جهة أخرى، ساعدتنا دقة التمييز العالية لصور هذا العنصر على إنجاز قياسات دقيقة عليها. نبين في الشكل (5) مراحل بناء النموذج الصوري ثلاثي الأبعاد للماكيت. أمَّا في حالة التمثال ذي الهندسية المعقَّدة، فقد احتجنا إلى عددٍ كبير من الصور (بالرغم



الشكل (7) المسافات المقاسة على النماذج للمقارنة.
الجدول (2) الفروق بين المسافات المقاسة والحقيقية في حالة الماكيت.

المسافة	المسافة الحقيقية (m)	المسافة المقاسة (m)	الفرق (m)
D1	0.260	0.263	0.003
D2	0.320	0.317	-0.003
D3	0.700	0.704	0.004
D4	0.120	0.116	-0.004
D5	0.400	0.399	-0.001
D6	0.260	0.258	-0.002

نلاحظ من الجدول أنّ الفروقات بين المسافات المقاسة على النموذج والمسافات الحقيقية المقاسة على العنصر هي عموماً من نفس الفئة وذلك لأنّ العناصر المقاسة هي مستقيمات محدّدة وواضحة بشكل جيد على النموذج الناتج. إضافة إلى وضوح الصور (دقّة تمييز عالية) واستخدام آلة تصوير معايرة. لاشك بأنّ مسافات مثل D3 وD4 فيها فروقات كبيرة نسبياً ولكن ذلك يرجع إلى بعض التلف الذي يعاني منه العنصر المنمذج (الماكيت) والناتج عن عملية التخزين في شروط سيئة. إنّ هذه المشكلة جعلت من قياس هذه المسافات على العنصر صعباً بعض الشيء.

الجدول (3) الفروق بين المسافات المقاسة والحقيقية في حالة التمثال.

الفرق (cm)	المسافة المقاسة (cm)	المسافة الحقيقية (cm)	المسافة
0.09	5.09	5.00	D1
-0.12	5.48	5.60	D2
-0.16	8.74	8.90	D3
-0.01	3.09	3.10	D4

نلاحظ من الجدول السابق أنّ قيم الفروقات ازدادت حسب الطبيعة الهندسية للعنصر المقاس. فمثلاً، عند قياس

النموذج الصوري الحقيقي

الشكل (5) مراحل بناء النموذج ثلاثي الأبعاد للماكيت.



الشكل (6) مراحل بناء النموذج ثلاثي الأبعاد لتمثال كسرى.
4-5- تقييم دقة النماذج ثلاثية الأبعاد

تمّ استخدام المسافات المرجعية السابقة (الشكل 3) لوضع النماذج على المقياس ومن ثمّ أجرينا عدد من القياسات لمسافات على هذه النماذج ومقارنتها مع قيمها الحقيقية المقاسة على العنصر باستخدام مسطرة معدنية مقسّمة بشكل دقيق. والهدف هنا تبيين تأثير دقة تمييز آلة التصوير ومعايرتها وكذلك تعقيد هندسية العنصر على دقة النموذج. نبين في الشكل (7) المسافات التي ستستخدم في المقارنة في كلا النموذجين. أمّا في الجدولين (3) و(4) فنبيّن نتائج المقارنة.

لأغراض الإظهار والحركية Animation للعناصر.

نوصي : باستخدام آلات تصوير الرقمية (المستقلة أو المرفقة مع الهواتف النقالة) بعد معايرتها في تطبيقات المسح التصويري القريب التي لا تتطلب دقة عالية جداً. كما نوصي باختيار آلة التصوير التي تمكننا من الحصول على دقة تمييز عالية (5 ميغابكسل أو أكثر) في حالات العناصر المعقدة هندسياً. وفي هذه الحالة نوصي أيضاً بزيادة عدد الصور ما أمكن لأخذ كل الأجزاء الهندسية بعين الاعتبار.

المسافات D1 و D4 قما بقياس مستقيمت واضحة على النموذج وهذا ما يبرر الفروق القليلة نسبياً. أمّا المسافات D2 و D3 فهي مسافات تخص مركبات معقدة هندسياً (سطوح منحنية وأسطوانة مائلة) وهذا ما جعل الفروق بينها وبين المسافات الحقيقية كبيراً نسبياً. إنّ هذه الفروق الكبيرة تعبر عن أمرين أولهما صعوبة القيام بالقياس على النموذج وثانيهما تأثير نمذجة المكونات المعقدة باستخدام نقاط فقط مقاسه على الصور. يمكن أن نضيف دقة التمييز المنخفضة للصور (مقارنةً بصور الهاتف النقال) وعدم وضوح حدود بعض الأشكال في التمثال الأصلي وهذا ما جعل قياسها على الصور صعباً.

5- الاستنتاجات والتوصيات

انطلاقاً من الدراسة السابقة، نستنتج أنه :

- من الممكن استخدام الصور الملتقطة بآلات تصوير رقمية غير مخصصة للمسح لتصويري وذلك من أجل توليد نماذج ثلاثية الأبعاد للعناصر.
- من الممكن تطبيق بعض القواعد البسيطة المقترحة لغير المتخصصين من أجل الحصول على أفضل نمذجة ممكنة من ناحية الدقة وقلّة الكلفة.
- نستنتج أنه من الممكن تنفيذ نمذجة كاملة هندسياً وصورياً باستخدام برامج نمذجة تجارية قليلة الكلفة (من ناحية السعر والتشغيل) تعمل على حواسيب شخصية وتتمتع بقدرات معالجة عالية وواعدة.
- وجدنا أنّ دقة النموذج الناتج تعتمد على دقة تمييز الصور من ناحية وعلى التعقيد الهندسي للعنصر المنمذج.
- مما سبق، وجدنا أيضاً أنه من غير الممكن استخدام هذا النوع من النماذج في الحصول على قياسات عالية الدقة ولكن من الممكن له أن يلبي احتياجات الكثير من المماريين أو الآثاريين

المراجع : References :

- [1]. LERMA, J.L., Garcia, A. 2004. *3D city modeling and visualization of historic centers*, Int workshop on vision techniques applied to the rehabilitation of city centre's, 25-27 oct, Lisbon, Portugal
- [2]. KOEVA, M. 2004. *3D realistic modeling and visualization of buildings in urban areas*, Int sym on Modern technologies, technologies, education and professional practice in geodesy and related fields, Sofia, 04-05 November.
- [3]. El-Hakim, S, et al. 2005. *3D reconstruction of complex architectures from multiple data*, ISPRS Int. Workshop on 3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures (3D-Arch 2005), August 22-24, Venice-Mestre, Italy.
- [4]. Waldhausl P, Ogle by 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.
- [5]. COOPER M.A.R., ROBSON S.1996 *Theory of close range photogrammetry*. In *Close range photogrammetry and machine vision*. ed. by K.B. Atkinson. Department of Photogrammetry and Surveying. University College London, 1996, 13.
- [6]. EOS Systems Inc. 2008. *Photo modeler Pro 6 Help*.
- [7]. GRUSSENMEYER, P., HANKE, K., STREILEIN, A. *Applications métrologiques de la photogrammétrie numérique*. In *Photogrammétrie numérique*, Paris : LAVOISIER, 2001, 317-361.
- [8]. الخليل ، عمر . 2011: التحقق من استخدام آلات التصوير المرفقة مع الهواتف الن قابلة في النمذجة. مجلة جامعة تشرين للعلوم الهندسية. 2011.