

## استخدام تسجيلات الفيديو في النمذجة ثلاثية الأبعاد للمنشآت الأثرية الضخمة

الدكتور عمر محمد الخليل\*

(تاريخ الإيداع 26 / 4 / 2016. قُبل للنشر في 20 / 11 / 2016)

### □ ملخص □

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو استكشاف إمكانيات آلات تصوير الفيديو منخفضة التكاليف في حل مسألة النمذجة ثلاثية الأبعاد للمنشآت الأثرية الضخمة. وكما نعلم، فإن اقتطاع الصور اللازمة لأي مشروع مسح تصويري هو مسألة جوهرية. لأن كلفة المشروع والمدة الزمنية اللازمة لإنهائه تعتمدان على طريقة اقتطاع هذه الصور. وعادةً ما يتم التقاط هذه الصور واحدةً فواحدة بحيث تظهر كل نقطة من نقاط العنصر المصور على صورتين على الأقل. هذه العملية تستغرق الكثير من الوقت وخاصةً في المشاريع التي تهدف إلى نمذجة المشاهد المتسعة. من ناحية أخرى، نعلم أن تسجيل الفيديو هو عملية بسيطة نسبياً وتستغرق وقتاً أقل من ذلك المطلوب لالتقاط الصور بالطريقة التقليدية. ومنه، سيكون من المفيد اقتراح منهجية للاستفادة من تسجيلات الفيديو كمصدر للصور اللازمة لتوليد النماذج ثلاثية الأبعاد. في هذه الدراسة سنختبر إمكانيات آلي تصوير فيديو، واحدة تجارية مستقلة وأخرى مرفقة مع هاتف نقال وذلك من أجل اقتطاع الصور اللازمة لنمذجة عناصر ضخمة نسبياً. من الملاحظ أن دقة التمييز الهندسية للقطات المقطعة من تسجيلات الفيديو باستخدام الهواتف النقالة أو التجارية المستقلة (مقارنةً بآلات الفيديو الاحترافية) هي أقل بكثير من دقة التمييز الخاصة بالتقاط الصور العادية. وبالتالي، فإن النماذج ثلاثية الأبعاد الناتجة من هذه القطات ستكون جيدة من أجل التطبيقات التي لا تتطلب دقة عالية.

**الكلمات المفتاحية:** آلة تصوير الفيديو، نمذجة ثلاثية الأبعاد، هاتف نقال، معايرة.

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

## Using video records in 3D modelling of large historical monuments

Dr. Omar AL Khalil \*

(Received 26 / 4 / 2016. Accepted 20 / 11 / 2016)

### □ ABSTRACT □

This research aims to explore the potential of low cost video camera for 3D modelling of large historical monuments. As we know, photos extraction is a fundamental issue in any photogrammetric project. In fact, cost and time are dependent on photo extraction method. Usually, photos are taken one by one assuring that every object point is on two photos at least. This operation is time consuming in large scenes modelling. In the other hand, video record is a simple operation and requires short time comparing to traditional photo shooting. Then, it will be useful to suggest an approach to use video recordings as a source of photos required for 3D modelling.

In the present study, we will evaluate the capability of two video cameras. The first one is a commercial independent camera and the second is associated with a mobile phone in the extraction of photos required for 3D modelling of a relatively large objects. It should be noted that the resolution of video frames in mobile phone cameras (comparing to professional ones) is less than the resolution of ordinary photos. Hence, 3D models resulting using these frames will be good for applications that don't require high precision.

**Key words:** Video camera, 3D modelling, mobile phone, calibration.

---

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

## مقدمة

تعتبر النمذجة ثلاثية الأبعاد القائمة على الصور (Image-Based 3D Modeling (IBM) واحدة من أهم محاور البحث في المساحة التصويرية والرؤية بمعونة الحاسب Computer vision. والنماذج ثلاثية الأبعاد هي تعبيرات رقمية حاسوبية عن مكونات المشاهد المصورة. إن الطلب على هذا النوع من النماذج يتزايد يوماً بعد يوم في المجالات الهندسية وغير الهندسية. هذا وتتوفر عدة أساليب لتوليد النماذج ثلاثية الأبعاد سواء بالمسح الليزري الأرضي 3D laser scanning أو انطلاقاً من الصور. وبالنسبة لهذه الأخيرة، يتوفر ثلاثية أساليب: يدوي، نصف آلي وآلي [1]. تعتبر النمذجة باستخدام الصور أقل كلفةً من المسح الليزري ولكنها أقل تعبيراً عن الواقع منه وذلك لأن المسح الليزري يولد عدداً هائلاً من النقاط والتي تعبر بشكل أكثر واقعية عن المشهد. ولكن مع ظهور الجيل الجديد من برامج النمذجة القائمة على الصور (مثل البرنامج Agisoft PhotoScan المستخدم في بحثنا)، كنتيجة للأبحاث في مجال الرؤية بمعونة الحاسب، صار من الممكن مقارنة الكثافة الهائلة للنقاط المولدة ألياً انطلاقاً الصور الوجهة مع تلك التي يولدها المسح الليزري أمراً ممكناً. في الواقع، يمكن اعتبار هذه البرمجيات كنوع من محاكيات المسح الليزري 3D laser scanner simulators [2]. تولّد هذه البرمجيات غمامة من النقاط Points cloud ثم تقوم بتحويلها إلى نموذج شبكي Mesh model أو إلى نموذج بصوري حقيقي Photoreal model ثلاثي الأبعاد.

مهما كانت تقنية النمذجة المستخدمة، فإن اقتطاع الصور اللازمة يظل مسألةً جوهرية وهو عادةً ما يستهلك وقتاً كبيراً ويتطلب تطبيق قواعد معينة للحصول على نماذج جيدة وموثوقة [3]. فهنا يجب اختيار مواقع محطات التصوير بعناية والحرص على توفر عدد كافٍ من الصور بحيث تظهر كل نقطة من العنصر على صورتين على الأقل وهو أمر يحتاج إلى تخطيط لعملية اقتطاع الصور. ولهذا، يقترح العديد من الباحثين استخدام اللقطات المقطعة من تسجيلات الفيديو كمدخل أساسي في عملية النمذجة وخاصةً عند الرغبة في نمذجة المشاهد الممتدة مكانياً نظراً لسرعة إنجازها ولسهولة القيام بها من قبل غير المختصين. تعرف هذه التقنية باسم الفيديوغراممري Videogrammetry وهي تستند على نفس مبادئ المساحة التصويرية ولكنها تستخدم لقطات مقطعة من تسجيلات فيديو [4]. إذا فلفيديوغراممري هي تقنية للحصول على قياسات تسمح بالحصول على إحداثيات عنصر محدد في عدة صور. و مبدأ القياس هو نفس مبدأ قياسات المساحة التصويرية. و ضمن سياق النمذجة، نستخدم الفيديو كمصدر للحصول على الصور وذلك لأنه يسمح بتغطية المشهد المرصود بشكل مستمر. و يتم تسجيل الصور تحت شكل رقمي مباشرةً و هذا يعطينا من استخدام الأفلام و المعالجات الكيميائية اللاحقة. في الوقت الراهن، تعتبر الفيديوغراممري واحدةً من الأدوات الواعدة من أجل اقتطاع المعطيات ثلاثية الأبعاد الكاملة للجزء للعناصر الضخمة كالقلاع والقصور الأثرية. فالصور تحتوي كل المعلومات الهندسية اللازمة للنمذجة ثلاثية الأبعاد لهذ العناصر. و زيادةً على ذلك فهي تحوي معطيات راديومترية ضرورية من أجل توليد الجزء البصري الحقيقي للنموذج [6].

في كل الأبحاث السابقة تم استخدام آلات تصوير فيديو متخصصة تعطي دقة تمييز هندسية جيدة إضافةً إلى إمكانية التحكم بعدد اللقطات في الثانية أو ما يعرف باسم سرعة التسجيل. ولكن أياً منها لم يجرب استخدام آلات تسجيل الفيديو التجارية المستقلة أو المرفقة مع الهواتف النقالة وهذا ما سنقوم به في هذا البحث. إن هذا النوع من الآلات يعاني من مشكلتين أساسيتين. أول هذه المشاكل هي دقة التمييز الهندسية Geometric resolution المنخفضة للصور المقطعة منها، أما المشكلة الثانية، فهي عدم فعاليتها عند تحرك الآلة بسرعة كبيرة. ولكن ميزاتها الكبرى هي أنها خفيفة الوزن، مما يجعل حملها والتعامل معها سهلاً وكذلك انخفاض تكلفتها بالنسبة لآلة تصوير فيديو

احترافية. هذا ويمكن تجاوز مشكلة دقة التمييز المنخفضة إذا تم استخدام الصور المقطعة في أعمال لا تتطلب دقة عالية. ونشير هنا، إلى أنه من الممكن أن نشهد في الأجيال القادمة من الهواتف النقالة مثلاً تحسناً كبيراً في دقة التمييز هذه.

من ناحية أخرى، أحد تسجيلات الفيديو المستخدمة في البحث تم القيام به من قبل شخص غير متخصص في المساحة التصويرية (فيديو مدينة تدمر الأثرية) وبالتالي فهو لم يراع القواعد التقليدية اللازم تطبيقها عند الحاجة إلى لقطات تستخدم في بناء النموذج ثلاثي الأبعاد للعنصر المصور. إن هذه المشكلة ستؤثر على دقة النموذج النهائي والتي حاولنا تقليل تأثيرها عبر الاختيار الدقيق لأكثر مجموعة مفيدة من الصور. إن نجاحنا في هذا الاختيار سيفتح المجال للاستفادة من عدد هائل من تسجيلات الفيديو الملتقطة من قبل هواة أو سياح (كثير منها متوفر بشكل مجاني في مواقع الأنترنت) في إعادة بناء النماذج ثلاثية الأبعاد لمنشآت أثرية قد تكون تعرضت للتخريب (مثل قلعة تدمر المدروسة في بحثنا).

وأخيراً، سنقوم في هذا البحث بمعايرة آلة تصوير الفيديو المرفقة مع الهاتف النقال المستخدمة وهذا ما لم يتم التطرق إليه في الأبحاث السابقة. إن المعايرة مسألة أساسية في الحكم على نوعية آلة التصوير وكذلك في التخلص من مصادر كثيرة للأخطاء [7].

### أهمية البحث وأهدافه

تتركز أهمية هذا البحث في أنه يقترح منهجية لاستخدام تسجيلات الفيديو كمصدر لبيانات النمذجة ثلاثية الأبعاد. كما يحاول إبراز إمكانيات آلات تصوير الفيديو التجارية المستقلة وتلك المرفقة مع الهواتف النقالة في هذا النوع من الأعمال. وتتركز أهميته في الإشارة إلى وجود برمجيات حديثة قليلة الكلفة للنمذجة ثلاثية الأبعاد تستند إلى نتائج الأبحاث في مجال بحث آخر غير المساحة التصويرية (الرؤية بمعونة الحاسب). وبشكل عام يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية :

1. يسعى البحث لتقديم حل لاقتطاع الصور من خلال تسجيل فيديو للعنصر الذي نسعى إلى نمذجته ومن ثم اختيار اللقطات المناسبة لبناء النموذج. صحيح أن تحويل تسجيلات الفيديو إلى لقطات هو عملية سهلة وممكنة باستخدام برمجيات مجانية متوفرة على شبكة الإنترنت، ولكن يجب الانتباه عند اختيار اللقطات المناسبة للنمذجة. في الواقع، يجب أن تؤمن هذه اللقطات نسب تداخل كبيرة (تصل حتى % 80) تضمن وجود كل نقطة من نقاط العنصر المدروس على صورتين على الأقل.

2. يعرض البحث لطريقة معايرة أحد آلات تصوير الفيديو المستعملة في البحث باستخدام طريقة مطبقة في مجال الرؤية بمعونة الحاسب.

3. يحاول البحث الاستفادة من تسجيلات الفيديو المجانية المتوفرة عي موقع YouTube في إعادة بناء النموذج ثلاثي الأبعاد لعناصر قد تعرضت للتخريب (العنصر هنا هو قلعة تدمر الأثرية). إن هذا الأمر هام جداً فهو يعطينا على الأقل فكرة عن الأجزاء التي تخربت من هذا العنصر وذلك بهدف إعادة ترميمه.

4. يحاول البحث القيام بعرض مفصل لعملية النمذجة من خلال الصور والتي تنفذ بشكل آلي بالكامل دون تدخل يذكر للمستخدم.

5. يسعى البحث إلى توجيه اهتمام غير المختصين في مجال المساحة التصويرية إلى الاستفادة من الصور الملتقطة بآلات تصوير فيديو (و خاصةً تلك المرفقة مع الهواتف النقالة والتجارية المستقلة) وذلك كمدخلات للنمذجة ثلاثية الأبعاد.

6. يناقش البحث دقة و موثوقية نتائج النمذجة وذلك عبر مقارنتها بقياسات حقيقية منقذة على العنصر نفسه.

## طرائق البحث ومواده

### أولاً : العناصر المدروسة

عناصر الدراسة التي نسعى إلى نمذجتها هي منشآت أثرية ضخمة نسبياً وهي :

1. المنشأ الأثري المعروف باسم قوس النصر الواقع في حي الصليبية بمدينة اللاذقية (الشكل (1)). وهذا البناء مربع الشكل مشيد بالحجارة الرملية القطع، أقيم البناء على أربع دعائم حجرية، وهذه الدعائم تحمل سطحاً على شكل قبة نصف كروية وتحمل الوجوه الداخلية والخارجية من الأعلى منحوتات نافرة لشارات النصر (سيوف، تروس، خوذ، رماح، دروع)، وهذه المنحوتات تشير إلى عتاد المحاربين خلال الفترة الرومانية، وتتراوح أبعاده بين (12\*12) متراً مربعاً، وارتفاعه 16 متر [11]. لقد وقع اختيارنا على هذا المنشأ نظراً لهندسته المعقد وتولجود نقوش نافرة فيه تصعب نمذجتها بالطرق التقليدية إضافةً إلى أهميته التاريخية والسياحية. أما آلة التصوير المستخدمة في تسجيل فيديو قوس النصر فهي المرفقة مع الهاتف النقال Samsung GT-18262 و هي آلة تصوير رقمية تتمتع بدقة تمييز هندسية تصل حتى 5 ميغابكسل في حالة التقاط صور عادية، في حين تصبح دقة تمييزها العظمى في حالة تسجيل الفيديو 0.35 ميغابكسل وهي دقة تمييز منخفضة.

2. المنشأ الأثري المعروف باسم قلعة فخر الدين المعني أو قلعة ابن معن أو قلعة تدمر (الشكل (1)) والتي تُعتبر من أبرز معالم وأثار مدينة تدمر الأثرية السورية. تقع القلعة فوق أكبر وأعلى جبال تدمر بارتفاع 150م عن سطح الأرض تطل القلعة على مدينة تدمر وواحتها. ويحيط بالقلعة خندق بعرض 12م وعمق 12م أقيم كمانع مائي لمنع المهاجمين من الدخول إليه. [12] لقد وقع اختيارنا على هذا المنشأ نظراً إلى أن أجزاءً منه قد تعرضت للتخريب بسبب الحرب القائمة على سوريا. الهدف هنا هو إعادة بناء النموذج ثلاثي الأبعاد الافتراضي لهذه القلعة كما كان قبل الحرب. إن هذا النموذج سيكون ذا فائدة كبيرة لتقييم الأضرار التي لحقت بالقلعة. وفيما يخص تسجيل الفيديو الخاص بهذه القلعة، فإننا حصلنا عليه مجاناً من موقع YouTube و هو فيديو سجله مظلي لمدينة تدمر الأثرية في العام 2009 حيث تظهر القلعة في أجزاء منه. تجب الإشارة إلى أن الفيديو المستخدمة هي آلة تجارية مستقلة مع دقة تمييز للقطعة تساوي 2.1 ميغابكسل.

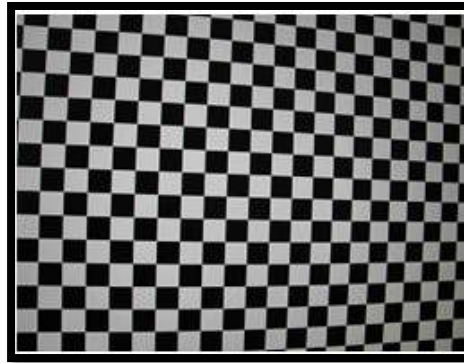


الشكل (1). العناصر التي سننمذجها : قوس النصر في اللاذقية (مع مسافة مرجعية مقاسة عليه) وقلعة تدمر الأثرية.

### ثانياً: البرامج المستخدمة

تم في هذا البحث استخدام البرامج التالية :

1. برنامج تحويل تسجيل الفيديو إلى لقطات وهو البرنامج المجاني Free Video to JPG Converter. يملك هذا البرنامج إمكانية التحكم بمعدّل اللقطات Frames ratio. وهذا يعني أنه إذا كانت مدة تسجيل الفيديو دقيقة واحدة (60 ثانية)، فيمكننا اقتطاع عدد من اللقطات واحدة خلال زمن نحدده. فإذا كان عدد اللقطات التي نريد اقتطاعها هي لقطة واحدة كل 1 ثانية، فيمكننا عندها اقتطاع 60 لقطة.
2. البرنامج Agisoft Lens وهو مستخدم لمعايرة آلة التصوير. في الواقع، يمكن اعتبار أن آلة التصوير معايرة إذا تم تحديد معاملاتها الداخلية أي البعد المحرقى Focal length، المسافة الرئيسية Principal distance، إحداثيات النقطة الرئيسية Principal point ومعاملات التزيغات نصف القطرية Radial distortions وعدم المركز الاشتراك Decentering للعدسة. يمكننا هذا البرنامج من إظهار لوحة معايرة على شاشة الحاسب (الشكل (2)) وتصويرها باتجاهات مختلفة. ثم يقوم البرنامج بعد ذلك بإيجاد معاملات التوجيه الداخلي Interior orientation لآلة التصوير بشكل آلي.



الشكل (2). شاشة الـ LCD المستخدمة كشبكة معايرة.

يتم في هذا البرنامج، استخدام النموذج الرياضي للترميزات المقترح من قبل [8] Brown والذي يقوم على استخدام مساقط المستقيمت في الصورة. أما بالنسبة لباقي المعاملات (البعد المحرقي وإحداثيات النقطة الرئيسية)، فيتم حسابها بطريقة الخطوتين المعتمدة في مجال الرؤية بمعونة الحاسب [9].

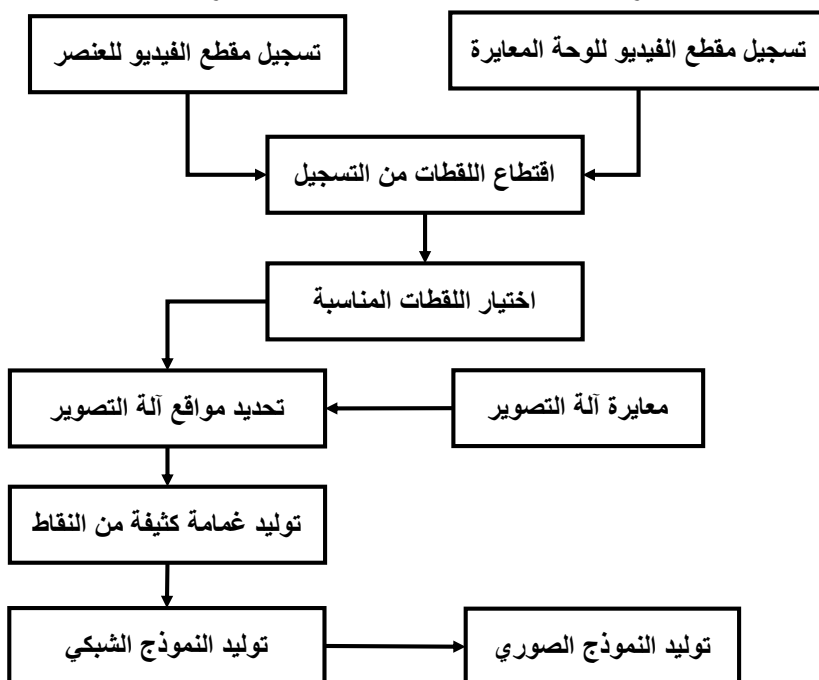
3. البرنامج AgisoftPhotoScan وهو المستخدم في توجيه الصور واقتطاع النقاط منها على شكل غمامة كثيفة ومن ثم تحويلها إلى نموذج شبكي يتم إسقاط الصور عليه للحصول على النموذج الصوري Photorealistic model. يعتبر البرنامج AgisoftPhotoScan أداة للنمذجة ثلاثية الأبعاد القائمة على الصورة Image-based 3D modeling. وهو يستخدم أحدث تقنيات البناء ثلاثي الأبعاد من الصور المتعددة Multi-view ويعمل في حالتها الشروط المضبوطة وغير المضبوطة. ونقصد بالشروط المضبوطة، الحالات التي تتوفر فيها معطيات ضبط Control data (مثل نقاط الضبط أو المسافات المرجعية أو القيود الهندسية) تسمح بحساب مقياس وموقع وتوجيه النموذج. أما الشروط غير المضبوطة، فتخص الحالات التي لا تتوفر فيها معطيات الضبط. وهنا يقوم البرنامج بحساب النموذج في جملة إحداثيات ثلاثية الأبعاد خاصة به. كما يمكن التقاط الصور من أية مواقع مع مراعاة شرط وقوع أي نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل. وباستخدام هذا البرنامج يتم توجيه (أو مرافقة Alignment) الصور وبناء النموذج ثلاثي الأبعاد بشكل مؤتمت [10].

## النتائج والمناقشة

### أولاً : نمذجة قوس النصر

نبين في المخطط التدفقي التالي (الشكل (3))، مراحل العمل المنفذة لمعايرة آلة التصوير وللوصول إلى النموذج

الصوري ثلاثي الأبعاد انطلاقاً من الصور المقطعة من تسجيلات الفيديو لقوس النصر :



الشكل (3). تدفق العمل لمعايرة آلة التصوير والحصول على النموذج الصوري لقوس النصر .

### ✓ معايرة آلة تسجيل الفيديو المرفقة مع الهاتف النقال

قمنا بتسجيل مقطع فيديو للوحة المعايرة المظهرة على شاشة الحاسب ومن ثم اقتطعنا اللقطات من هذا المقطع وباستخدام البرنامج Agisoft Lens، حصلنا على معاملات التوجيه الداخلي لآلة تصوير الفيديو:

الجدول (1). المعاملات الداخلية (المعايرة) لآلة تصوير الفيديو المرفقة مع الهاتف النقال Samsung GT-18262.

المعامل	القيمة
البعد المحرقى	33.0465(mm)
إحداثيات النقطة الرئيسية	XP=-0.3239(mm) YP= 0.0022(mm)
K1	-1.27E-04
K2	2.92E-07
K3	-7.64E-11
P1	5.65E-08
P2	-2.76E-10

ستشكل هذه المعاملات مدخلات في عملية حساب أو توجيه الصور وذلك لتخليص القياسات في الصورة من عدد مهم من الأخطاء.

### ✓ بناء النماذج من تسجيل الفيديو

كما هو موضح في المخطط التدفقي (الشكل (3))، قمنا أولاً بتسجيل مقطع فيديو للعنصر. مدة هذا التسجيل 52 ثانية حاولنا خلاله تغطية كل أجزاء العنصر. قمنا بعد ذلك بتحويل هذا التسجيل إلى لقطات بحيث اقتطعنا لقطة كل 1 ثانية فحصنا على 52 لقطة. كان من الممكن استخدام كل هذه اللقطات في النمذجة ولكن الحساب سيكون ثقيلاً جداً وسيحتاج إلى ذاكرة كبيرة. في كل الأحوال، إن توفر هذا العدد الكبير من اللقطات، أتاح لنا اختيار ما يلزم منها للنمذجة (21 صورة). وعند الاختيار، أخذنا بعين الاعتبار ظهور كل نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل (الشكل (4)).



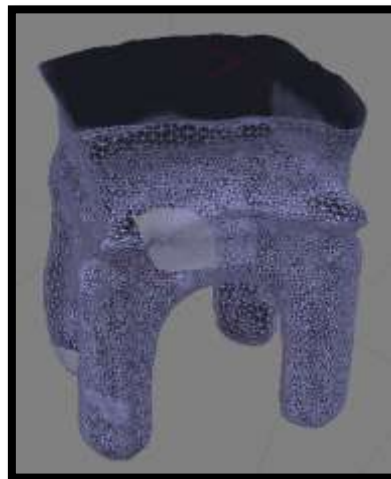
الشكل (4). اللقطات المستخدمة في نمذجة قوس النصر.



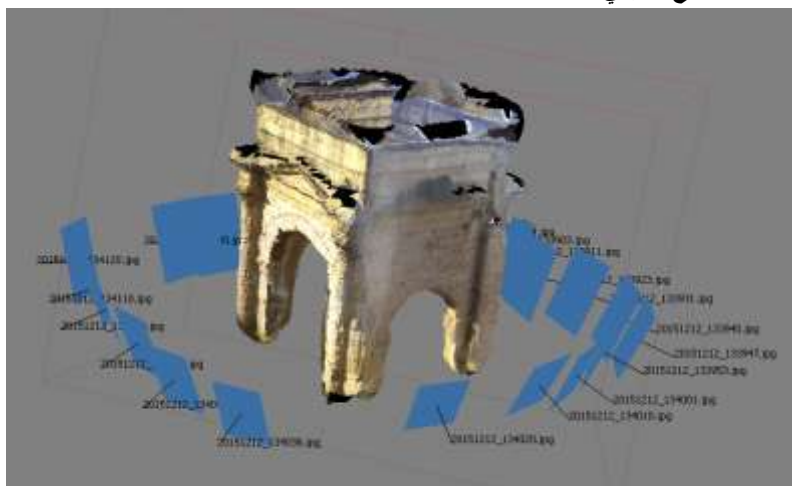
قمنا بعد ذلك، بإدخال اللقطات ومعاملات معايرة آلة التصوير إلى برنامج المعالجة والذي سيحدد أولاً مواقع آلة التصوير ومن ثم سيولد غمامة النقاط الكثيفة (قام البرنامج بالتوليد الآلي لـ 1200204 نقطة). ومن هذه الغمامة يمكن توليد النموذج الشبكي (قام البرنامج بالتوليد الآلي لـ 39203 مثلثاً أو وجهاً) ومن ثم الصوري الحقيقي (الشكل (5)).



غمامة النقاط الكثيفة



النموذج الشبكي



النموذج الصوري الحقيقي مع مواقع آلة تسجيل الفيديو

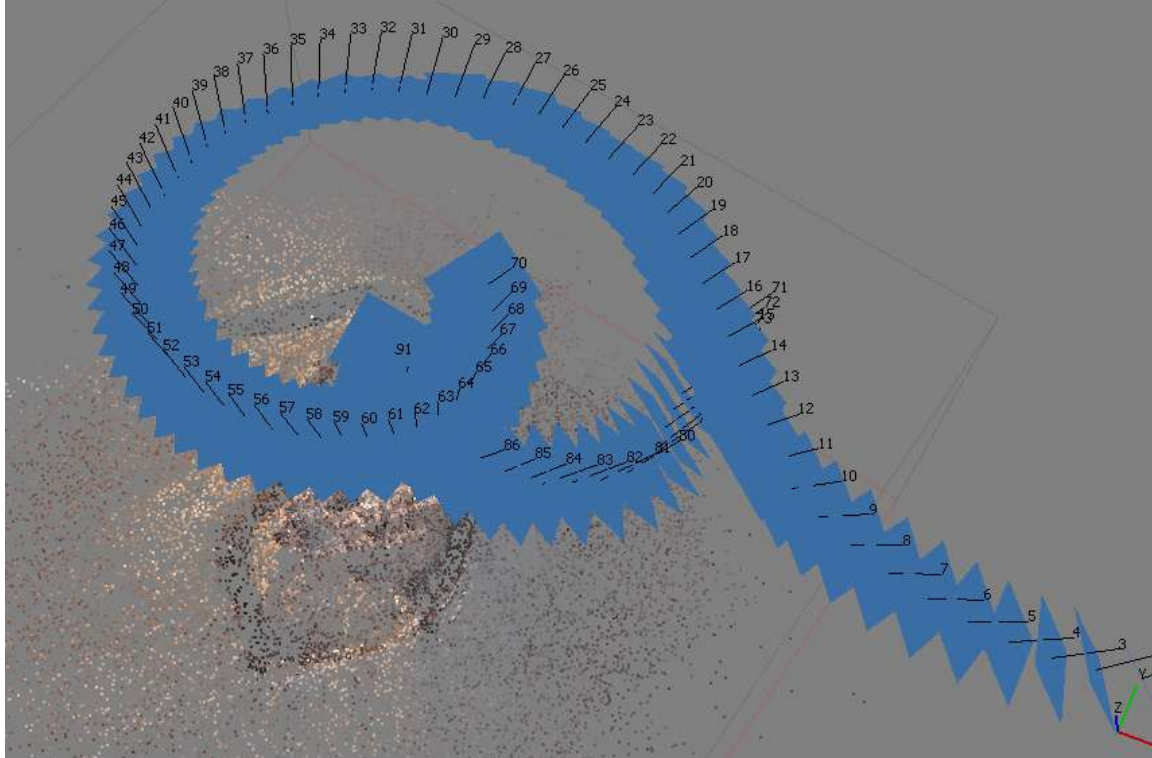


لقطة قريبة تبين نمذجة التفاصيل المنقوشة على العنصر

الشكل (5). غمامة النقط والنماذج الشبكي والصوري لقوس النصر .

## ثانياً : نمذجة قلعة تدمر

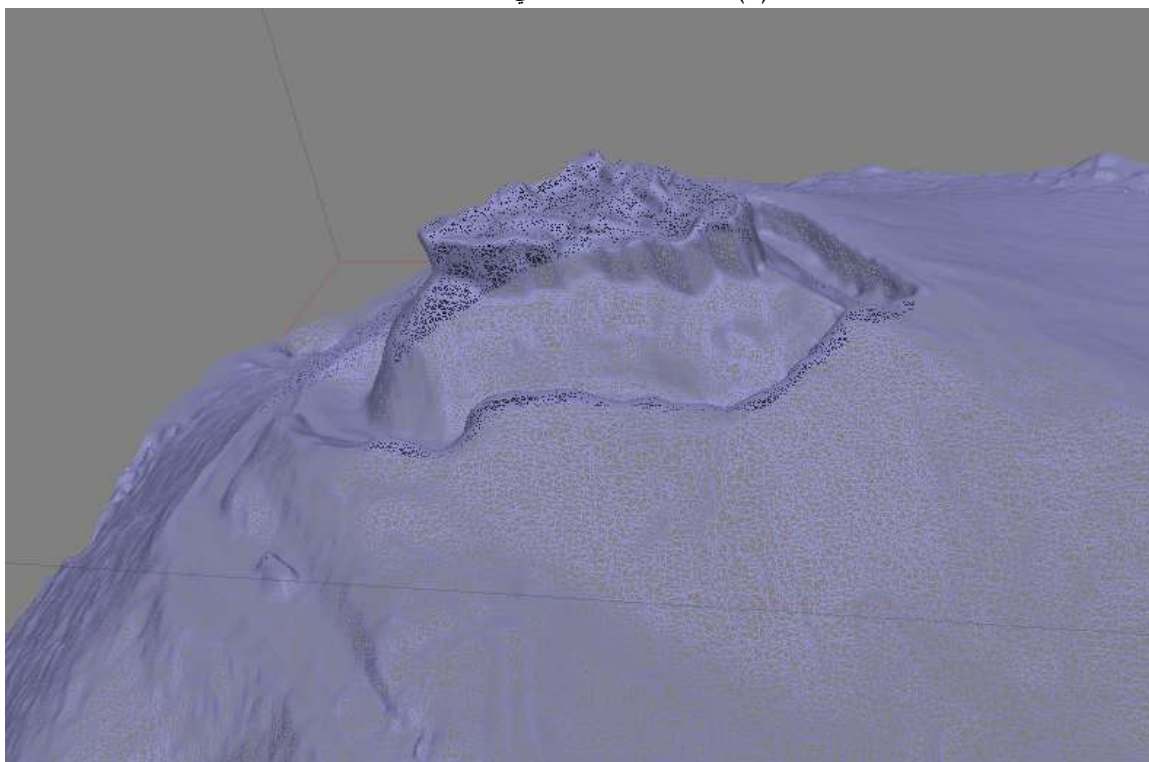
قمنا بتحميل مقطع الفيديو الخاص بمدينة تدمر الأثرية عن الأنترنت. هذا التسجيل مدته الكاملة 18 دقيقة التقطه مظلي فرنسي خلال هبوطه فوق المدينة في العام 2009 أي قبل بدء الحرب على سوريا وذلك ضمن فعاليات مهرجان للطيران الشراعي يحمل اسم "سلام إلى غزة". قمنا بعد ذلك بتحويل هذا التسجيل إلى لقطات بحيث اقتطعنا لقطة كل 1 ثانية فحصلنا على 1080 لقطة. قمنا لاحقاً باختيار اللقطات التي تخص القلعة فقط ( 91 صورة) والتي تحقق نسبة تداخل كبيرة وظهور كل نقطة من القلعة على صورتين على الأقل. إن الفرق بين المثال السابق وبين هذا المثال هو أننا لا نعرف أي شيء عن آلة الفيديو المستخدمة أو عن معاملات معايرتها وهذا سيؤثر بالتالي على النوعية الهندسية للنموذج الناتج. استخدمنا في هذا المثال كل الصور المتاحة ضمن برنامج المعالجة والذي سيحدد أولاً مواقع آلة التصوير (الشكل (6) ولنلاحظ المسارات الحلزونية الهابطة الذي سلكها المظلي خلال تسجيل الفيديو) ومن ثم سيولد غمامة النقاط الكثيفة (قام البرنامج بالتوليد الآلي لـ 970000 نقطة) (الشكل (7)). ومن هذه الغمامة يمكن توليد النموذج الشبكي (قام البرنامج بالتوليد الآلي لـ 193800 مثلثاً أو وجهاً) (الشكل (8)) ومن ثم حسب النموذج الصوري (الشكل (9)). نشير هنا إلى أن حساب توجيه الصور من قبل البرنامج واستشعار النقاط استغرق ما يقارب ساعة كاملة وهو زمن معالجة طويل نسبياً. إضافة إلى مشكلة الذاكرة الكبيرة التي تطلبها حساب النموذج الشبكي والصوري انطلاقاً من غيمة النقاط.



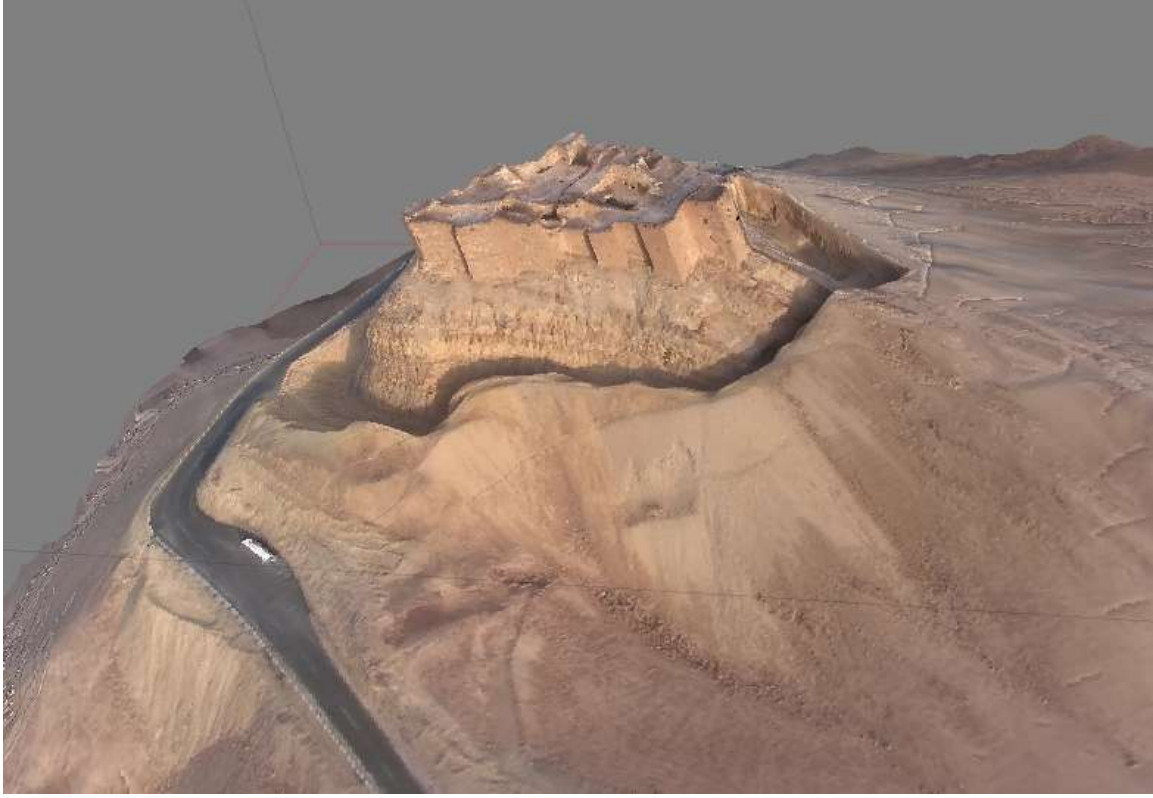
الشكل (6). مواقع آلة التصوير. لاحظ الشكل الحلزوني الهابط للمسار المتبع خلال التسجيل.



الشكل (7). غيمة النقاط الكثيفة التي تجسد القلعة.



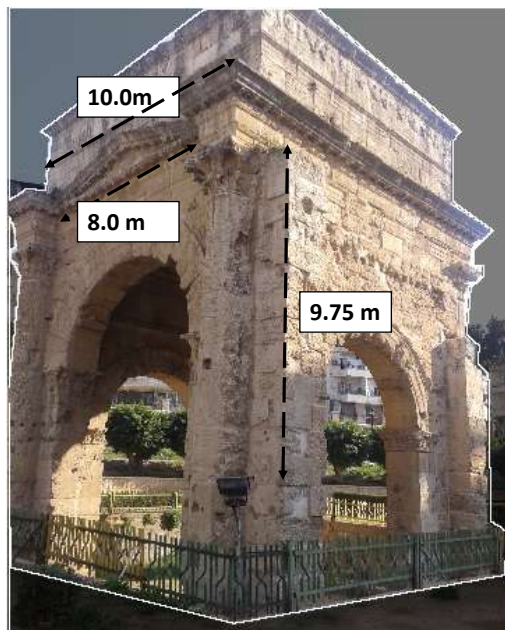
الشكل (8). النموذج الشبكي ثلاثي الأبعاد للقلعة.



الشكل (9). النموذج الصوري الحقيقي ثلاثي الأبعاد للقلعة.

### ثالثاً : اختبار دقة نموذج قوس النصر

باستخدام المسافة المرجعية الموضحة في الشكل (1) على صورة قوس النصر، قمنا بوضع نموذج هذا قوس على المقياس. لا بد من الإشارة إلى أننا حصلنا على هذه المسافة من مسقط لهذا لقوس متوفر على الأنترنت. من نفس المخطط، قسنا مسافات أخرى (الشكل (10)) واعتبرناها مسافات اختبار. بعد وضع النموذج على المقياس، قمنا بقياس نفس المسافات على هذا النموذج. الجدول (2) يوضح المسافات المرجعية والمقاسة على نموذج قوس النصر مع الفروق بينهما.



الشكل (10). مسافات الاختبار .

الجدول (2). مقارنة بعض المسافات المرجعية مع مقابلاتها على نموذج قوس النصر .

النموذج	المسافة المرجعية (m)	المسافة المقاسة (m)	الفرق (m)
قوس النصر	10.0	9.69	0.31
	8.0	7.85	0.15
	9.75	9.92	0.17

نلاحظ من نتائج المقارنة أن دقة نموذج قوس النصر منخفضة وقد تكون غير مقبولة لأغراض التوثيق الدقيق للمنشأ. ويمكننا تبرير هذه الفروق بعدم وجود لقطات كافية للجزء الأعلى من المنشأ وهو الجزء الذي لفرق المسافة أكبر قيمة فيه. في الواقع، كان من الصعب القيام بتسجيل الفيديو لهذا الجزء من الأرض نظراً لارتفاعه الكبير. كما لعبت دقة التمييز الهندسية المنخفضة للقطات المستخدمة دوراً هاماً في هذه المشكلة.

#### رابعاً : اختبار دقة نموذج القلعة

لوضع نموذج القلعة على مقياس دقيق، يلزمنا مسافة مقاسة بدقة على أرض الواقع. ولكن بسبب صعوبة القيام بذلك حالياً بسبب ظروف الحرب، قمنا بمحاولة وضعه على مقياس تقريبي وذلك بقياس مسافة باستخدام المتصفح المجاني Google Earth (الشكل (11)). هذا، وقد بلغت القيمة التقريبية للمسافة 66.07 m.



الشكل (11). المسافة المقاسة لوضع نموذج القلعة على مقياس تقريبي. المسافة قيست باستخدام Google Earth.

ولاختبار الدقة الهندسية الخاصة بالنموذج ذي المقياس التقريبي، قمنا بقياس عرض الخندق المحيط بالقلعة على النموذج (الشكل 12)) والذي تشير الدراسات الأثرية التي تخص القلعة أنه يبلغ تقريباً 12.00 m. بلغت قيمة عرض الخندق المقاس على النموذج 11.13 m مما يعني أن فرق القيمتين هو 0.87 cm. لا بد أن نؤكد أن هذه الدقة مناسبة لأغراض العرض والتفسير والسياحة الرقمية عن بعد وليس لأغراض التوثيق الدقيق للقلعة. ولكننا نتوقع تحسن هذه الدقة بشكل كبير في حال توفر مسافات مرجعية حقيقية مقاسة على الأرض إضافة إلى توفر معاملات معايرة آلة تصوير الفيديو.

#### **خامساً : إظهار النموذج ثلاثي الأبعاد للقلعة في المتصفح المجاني Google Earth**

إن الغاية من عملية إظهار ونشر النموذج ثلاثي الأبعاد للقلعة على المتصفح المجاني Google Earth هو تشجيع السياحة الرقمية عن بعد حيث سيتمكن أي مستخدم من الإطلاع على هذا الصرح التاريخي الهام وعلى حضارة وعراقة مدينة تدمر. ولإنجاز هذه الفكرة، قمنا بعد الحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد ضمن جملة الإحداثيات الافتراضية التي يستخدمها البرنامج بمحاولة نقله إلى جملة الإحداثيات الجيوديزية العالمية WGS84 والتي يتعامل معها المتصفح المجاني Google Earth. لإنجاز هذا العمل، قمنا باستقراء الإحداثيات WGS84 لمجموعة من نقاط الضبط Control points باستخدام Google Earth. وحرصنا خلال اختيار النقاط أن تظهر أيضاً على الصور المستخدمة في النمذجة. يوضح الشكل (12) مواقع هذه النقاط كما يوضح الجدول (3) إحداثيات هذه النقاط في الجملة WGS84. لقد افترضنا أن تم قياس هذه النقاط بدقة تساوي إلى 1.70 متراً على المتصفح. في الحقيقة، قمنا بتحديد هذه القيمة من خلال معرفتنا لحجم البكسل على الصورة والذي بلغ 28.35 cm ومن ثم استخدمنا المعايير المعطاة في [13] لحساب دقة التموضع الأفقي للنقاط على هذه النقاط فكانت 1.70 متراً. في الواقع، هذه القيمة ستساعدنا في تقييم دقة إعادة توقيع نقاط الضبط السابقة بعد توجيه الصور.



الشكل (12). مواقع نقاط الضبط المقاسة باستخدام Google Earth.

الجدول (3). إحداثيات نقاط الضبط في النظام WGS84.

رقم النقطة	زاوية العرض (درجات) $\varphi$	زاوية الطول (درجات) $\lambda$	الارتفاع (متر) Z	الدقة الأفقية لقياس النقطة (m)
P1	34.56212	38.25718	528	1.70
P2	34.5625	38.25772	523	1.70
P3	34.56309	38.25738	529	1.70
P4	34.56221	38.25707	526	1.70

باستخدام النقاط السابقة تم إعادة توجيه الصور وبناء النموذج في جملة الإحداثيات العالمية واستقراء الخطأ على نقاط الضبط نتيجة هذا التوجيه، فوجدنا القيم التالية: الخطأ الكلي على زوايا العرض: 1.60 m و الخطأ الكلي على زوايا الطول: 0.36 m مما يجعل الخطأ الكلي على الموقع الأفقي هو: 1.64 m وهي دقة من نفس فئة نقاط

الدخل. وبعد إعادة بناء النموذج، قمنا بتصديره وإظهاره ضمن بيئة المتصفح المجاني Google Earth (الشكل (13)).



الشكل (13). لقطات للنموذج ثلاثي الأبعاد لقلعة تدمر ضمن بيئة المتصفح Google Earth.

### الاستنتاجات والتوصيات

- بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة حول استخدام آلة تصوير الفيديو التجارية المستقلة والمرفقة مع الهواتف النقالة في الحصول على الصور اللازمة للنمذجة ثلاثية الأبعاد، نستنتج مايلي :
1. يمكن اعتبار تسجيلات الفيديو حلاً بديلاً في النمذجة الصورية الحقيقية ثلاثية الأبعاد للمشاهد المتسعة والمنشآت الأثرية الضخمة. هذه التسجيلات تؤمن فائضاً كبيراً جداً في الصور اللازمة للنمذجة إضافة على سرعة الحصول عليها مقارنةً بآلات التصوير العادية.
  2. يمكن أن تشكل آلة تصوير الفيديو مع برامج تحويل التسجيلات إلى لقطات وبرامج النمذجة ثلاثية الأبعاد القائمة على الصور، نظاماً متكاملًا قليل التكاليف مادياً ومعرفياً (لا يحتاج إلى متخصصين).
  3. تعتبر البرمجيات التي تؤتمت عملية توجيه الصور واقتطاع غيمة كثيفة من النقاط حلاً بديلاً رخيصاً مقارنةً بالماصات الليزرية ثلاثية الأبعاد.
  4. تعاني الصور المقطعة من تسجيلات الفيديو المنفذة بآلة تصوير فيديو تجارية مستقلة والمرفقة مع الهواتف النقالة من انخفاض في الدقة الهندسية مما يسبب انخفاضاً في دقة النماذج المتولدة عنها. ولكن يمكن، في حال توفر



دقة تمييز عالية لصور تسجيلات الفيديو، أن تستخدم في التطبيقات التي تتطلب دقة عالية مثل توثيق المنشآت الأثرية الحاوية على نقوش وزخارف معقدة.

5. تعاني البرامج التي تحاكي المساحات الليزرية الأرضية من مشاكل كثيرة منها وقت المعالجة الطويل إضافة إلى الحاجة إلى ذواكر كبيرة جداً للحصول على منتجات جيدة. ولكن إدارة الذاكرة هنا هو موضوع هام تحاول الشركات الصانعة لهذه البرامج معالجته.

يمكن أن نوصي باستخدام منهجية العمل السابقة في توليد النماذج ثلاثية الأبعاد للمشاهد المتسعة (الوسط الحضري 3D city modelling) والعناصر الضخمة كالقلاع والقصور الأثرية وذلك نظراً لسرعتها العالية ولقدرتها على إظهار تفاصيل هذه العناصر بشرط توفر بيانات مرجعية دقيقة ومعاملات معايرة آلة التصوير وذاكرة كبيرة في الحواسيب المستخدمة. وفي كل الأحوال يمكن أن يساهم هذا النوع من النماذج في تشجيع السياحة الرقمية عن بعد في حال عدم توفر الاشتراطات السابقة حيث أن مسألة الدقة الهندسية ليست ذات أهمية. كما يفتح الباب لمحاولة الاستفادة من عدد هائل من تسجيلات الفيديو المجانية المتوفرة على الأنترنت وذلك في محاولة في إعادة بناء النماذج ثلاثية الأبعاد لمنشآت أثرية قد تكون تعرضت للتخريب.

## المراجع

- [1] FORSTNER, W.,1999. 3-D City Models: Automatic and Semi-automatic Acquisition methods. Photogrammetric week, Wichmann, Karlsruhe. 1999.
- [2] SINGH, SP; JAIN, K; MANDLA, V ,2013. Virtual 3D city modeling : Techniques and applications. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information, Istanbul, Turkey. 2013
- [3] WALDHÄUSL, P. 1994. 3x3 Rules for simple Photogrammetric documentation of architecture. <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/wgv/3x3.htm>.
- [4] GRUEN, A. 1997. Fundamentals of videogrammetry—a review, Human movement science, Page- 155-187. 1997.
- [6] HAGGRÉN, H., MATTILA, S.1997. 3-D indoor modeling from videography”. Helsinki University of Technology, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, FIN-02150 Espoo, Finland.1997. [http://foto.hut.fi/publications/paperit/hhaggren/videometrics\\_1997\\_mattila/text.html#1](http://foto.hut.fi/publications/paperit/hhaggren/videometrics_1997_mattila/text.html#1).
- [7] REMONDINO, F; EL-HAKIM, S. 2006. Image based 3D modelling: A Review. The Photogrammetric Record, 21, 115, 269-291.2006.
- [8] Brown, D.C., 1972. Calibration of close-range cameras. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 19(5) unbound paper: 26 pages, ISP Congress, Ottawa.1972.
- [9] HARTLEY, R; ZISSERMAN, A. 2000. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2000.
- [10] Agisoft., 2015. “Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition”.
- [11]. ويكيبيديا، الموسوعة الحرة. قوس النصر (اللاذقية). <https://ar.wikipedia.org> (تاريخ الدخول إلى الموقع 22/02/2016).
- [12]. ويكيبيديا، الموسوعة الحرة. قلعة فخر الدين المعني. <https://ar.wikipedia.org> (تاريخ الدخول إلى الموقع 22/02/2016).