

طريقة تحديد البنية انطلاقاً من الحركة كحل بديل لإنتاج الخرائط الصورية للمناطق الممتدة

الدكتور عمر محمد الخليل *

الدكتور إياد إسماعيل فحصة **

تاريخ الإيداع 20 / 2 / 2019. قُبل للنشر في 23 / 4 / 2019

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى إنتاج خارطة صورية على شكل موزاييك رقمي لجزء من مدينة اللاذقية. مدخلات هذه الخارطة هي مرئيات متداخلة ونقاط ضبط مقتطعة من المتصفح المجاني Google Earth. أما المعالجة فقد تمت بطريقتين، الأولى هي الطريقة التقليدية التي تقوم على إرجاع كل صورة لوحدها باستخدام نقاط الضبط ومن ثم تصنيع الموزاييك من الصور المرجعة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. أما الثانية فهي طريقة جديدة تعتمد على توجيه الصور باستخدام برمجيات قائمة على مبدأ "تحديد البنية انطلاقاً من الحركة" Structure from Motion (SfM) وتوليد موزاييك غير مضبوط منها ومن ثم ضبط هذا الموزاييك ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام نقاط الضبط. تم في البحث مقارنة الخارطتين الصورتين الناتجتين من ناحية الدقة الهندسية حيث قُمنّا بمقارنة الخارطتين مع مخطط طبوغرافي أساسي (مقياسه 1/1000) للمنطقة المدروسة، كما ناقشنا مقاييس الخرائط المتجهية Vector maps الممكن توليدها من الخرائط الصورية الناتجة في كلتا الحالتين. أثبتت الدراسة أن النوعية الهندسية للخارطة الصورية أفضل عند تطبيق طريقة الـ SfM المؤتمنة والسريعة.

الكلمات المفتاحية: خارطة صورية، موزاييك رقمي، إرجاع الصور، تحديد البنية انطلاقاً من الحركة، مرئية فضائية.

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

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

Structure from Motion method as an alternative solution to produce photomaps of extended areas

Dr. Omar Al Khalil*
Dr. Iyad Fahsa**

(Received 20 / 2 / 2019. Accepted 23 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

The aim of this research is to produce a photomap in the form of a digital mosaic for a part of Latakia city. The inputs are a group of overlapping photos and control points, extracted from Google Earth. As for the processing, it was achieved in two manners. The first is a rectification-based method, where every image is rectified using control points and then the mosaic is produced from the rectified images using geographic information systems (GIS). The second is a new way of images orientation using Structure from Motion (SfM)-based software and then producing an uncontrolled mosaic. This mosaic is then georeferenced by using control points within GIS environment.

In this study the two resulted photomaps were compared in terms of geometric accuracy. They were compared a base topographical map (scale of 1/1000) that represents the studied area. Also, the scales of vector maps that can be generated from the resulted photomaps in both cases, were discussed. The results showed that the geometric quality of the photomap in the case of automated and fast SfM is better .

Key words: Photomap, Digital Mosaic, Image rectification, Structure from Motion (SfM), Satellite image.

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

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

مقدمة

تعتبر عملية صناعة وتحديث الخرائط التي تمثل سمات السواء Planimetric features عملية مكلفة مادياً كما أنها تحتاج إلى وقت طويل لإنجازها. ومن ناحية أخرى، هنالك العديد من الأشخاص الذي يحتاجون إلى هذه الخرائط والذين لم يعتادوا التعامل مع الخرائط الشعاعية Vector maps لأغراض الإظهار والتحليل، وبالتالي فهم يفضلون التعامل مع خارطة على شكل صورة. في هذه الحالة، تعتبر الخرائط الصورية Photomaps حلاً بديلاً معقولاً لمشكلة الكلفة المادية ولمشكلة التعامل مع الخرائط الشعاعية من قبل مستخدمين ليس لديهم الخبرة في هذا المجال. في الواقع، لقد أثبتت التجارب أن، الخرائط الصورية المرجعة Rectified photomaps هي منتج فعال في التعبير عن المشاهد المصورة وذلك لأنها ذات دقة هندسية مقبولة إضافة إلى الغنى البصري الذي تملكه الصورة في آن واحد [1]. وبفضل هذه الخاصية، يمكن للخرائط الصورية المرجعة أن تزودنا بمعلومات كمية (أي مترية) وكيفية (أي وصفية) وبالتالي فهي ذات قيمة عالية في مختلف أنواع الدراسات الهندسية المطلوب إنجازها في الوسط المصور.

من ناحية أخرى، وعند الرغبة بصناعة خارطة للمناطق الممتدة جغرافياً انطلاقاً من الصور، فإننا نلجأ إلى إنتاج ما يسمى بالموزايك الصوري Image mosaicking [2]، وهي عملية تهدف إلى تجميع عدة صور متداخلة ضمن صورة أكبر. وعادةً ما يتم تصنيع هذا الموزايك باستخدام صور جوية Aerial images وذلك لأن مقاييسها عادةً ما تكون أكبر من مقاييس المرئيات الفضائية إضافةً إلى كونها ملتقطة باستخدام آلات تصوير جوية قياسية معيارية مما يمكننا من تخليص الموزايك من العديد من مصادر الأخطاء [3]. من ناحية أخرى، يمكن في حالة المشاريع الهندسية التي لا تتطلب دقةً هندسية كبيرة والتي لا تملك ميزانيات كبيرة اعتماد مرئيات المتصفح المجاني Google Earth في صناعة الموزايك.

تقليدياً، يتم تحضير الموزايك الرقمي المضبوط Controlled Digital mosaics انطلاقاً من صور رقمية مرجعة باستخدام نقاط ضبط، وهنا يتم إنجاز الإرجاع الجغرافي Georeferencing لكل صورة على حدة وذلك من أجل إرفاق جملة إحداثيات مكانية مع هذه الصورة [4]، ومن ثم يتم تجميع الصور المرجعة وإنتاج الموزايك منها باستخدام برمجيات متخصصة بالمساحة التصويرية أو برمجيات نظم معلومات جغرافية. ولكن مع التطورات الحديثة في مجال المساحة التصويرية المؤتمتة، صار من الممكن الحصول على الموزايك الرقمي كأحد منتجات طريقة "تحديد البنية انطلاقاً من الحركة" Structure from Motion (SfM). تعتبر هذه الطريقة طريقةً قياس واسعة الانتشار وقليلة الكلفة وترجع أصولها إلى مجال الرؤية بمعونة الحاسب وهي تقنية المستقبل التي ستستخدم في اكتساب البيانات الأرضية. وعند استخدامها يتم توليد النماذج ثلاثية الأبعاد والموزايك الصوري للمشاهد انطلاقاً من سلاسل من الصور المتداخلة التي يتم التقاطها باستخدام آلة تصوير في حالة حركة [5]. مما يضيف نقطة من نقاط القوة إلى طريقة الـ SfM هو توفر عدة برامج لمعالجة غمامات النقاط Points clouds الناتجة عن هذه الطريقة واستخدامها كسطح إسقاط للموزايك الصوري مما يزيد من دقته الهندسية. من هذه البرامج ما هو تجاري مثل Microsoft Photosynth، و PhotoModeler و Agisoft Photoscan [6] ومنها ما هو مفتوح المصدر Open Source مثل Bundler و VisualSfM [7] ومنها ما هو مجاني مثل Regard3D. إذا تمت مقارنة كلفة (المادية والمعرفية) برمجيات المسح التصويري التقليدية أو برمجيات نظم المعلومات الجغرافية المخصصة لتوليد الموزايك مع هذه البرامج، فإننا سنجد أن هذه الأخيرة تمثل حلاً بديلاً مقبولاً لهذه البرمجيات.

قمنا في هذا البحث بتوضيح إمكانية استخدام طريقة SfM كحل بديل لتوليد الخريطة الصورية باستخدام صور المتصفح المجاني Google Earth لمنطقة متسعة من مدينة اللاذقية. تم في البحث مقارنة النوعية الهندسية الموزاييك الناتج مع النوعية الهندسية لنتائج الطريقة التقليدية التي تقوم على إرجاع كل صورة لوحدها باستخدام نقاط الضبط ومن ثم تصنيع الموزاييك من الصور المرجعة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. في الواقع، اعتمدنا على مقارنة نتائج الطريقتين مع قياسات تمت على مخطط طبوغرافي أساسي (مقياسه 1/1000) للمنطقة المدروسة، كما ناقشنا مقاييس الخرائط المتجهية Vector maps الممكن توليدها من الخرائط الصورية الناتجة في كلتا الحالتين.

أهمية البحث وأهدافه

تشكل المرئيات الفضائية المقطعة من المتصفح المجاني Google Earth مصدراً بديلاً عن المرئيات الفضائية والصور الجوية لصناعة الخرائط الصورية من المقاييس الصغيرة. تأخذ هذه الخرائط شكل موزاييك رقمي إذا كانت المنطقة المدروسة ممتدة جغرافياً. وبما أنه تتوفر عدة طرائق لتوليد الموزاييك انطلاقاً من الصور المتداخلة، فإن الهدف الأساسي لبحثنا هو مناقشة تأثير الطريقة المطبقة على النوعية الهندسية لهذا الموزاييك. في الواقع، تتوفر حالياً طريقة جديدة لتوليد موزاييك رقمي في برمجيات النمذجة ثلاثية الأبعاد القائمة على مبدأ SfM وهي طريقة مؤتمتة بالكامل ولكنها لم تناقش بعد من ناحية دقتها الهندسية وقدرتها التعبيرية مقارنة بالطريقة التقليدية المتبعة في توليد الموزاييك، لذلك فإن هذا البحث يهدف بشكل آخر إلى تقييم هذا النوع من المنتجات.

يعتبر هذا البحث مهماً من ناحيتين:

1. يسعى البحث إلى الاستفادة من مصدر مجاني من البيانات الصورية والمكانية في إنتاج الخرائط الصورية.
2. يسלט البحث الضوء على برمجيات مؤتمتة يمكن استخدامها من قبل المختصين وغير المختصين في صناعة الخرائط، فالبحث سيرفد هؤلاء بمنهجية وبتوصيات للاستفادة من المرئيات المجانية والبرمجيات المؤتمتة في أعمالهم الكاربتوغرافية والهندسية المختلفة.

طرائق البحث ومواده

تقوم طريقة البحث على إجراء مقارنات بين الخرائط الصورية للمناطق الممتدة جغرافياً الناتجة عن الطريقة التقليدية والخرائط الصورية المنتجة بطريقة الـ SfM مع مخطط طبوغرافي أساسي (مقياسه 1/1000) لنفس المناطق. المقارنة ستركز على الدقة الهندسية للخرائط الناتجة، وذلك من خلال مقارنة إحداثيات نقاط اختبار Check points مقاسة عليها وعلى المخطط الطبوغرافي ومناقشة الفروق.

أما البيانات والمواد المتوفرة للبحث فهي:

1. اثنا عشرة مرئية فضائية مقطعة من المتصفح المجاني Google Earth متداخلة بنسبة % 25 تقريباً فيما بينها وتغطي منطقة من مدينة اللاذقية أبعادها التقريبية 2.3 km x 2.1 km (الشكل (1)).
2. مخطط طبوغرافي من المقياس 1/1000 يغطي جزءاً من محافظة اللاذقية (الشكل (2)) وهو معطى داخل النظام الستيريوجرافي السوري.

3. شبكة من نقاط الضبط المقاسة (عددها 40 نقطة) في الجملة العالمية WGS-1984 باستخدام المتصفح Google Earth والتي تم تحويلها إلى النظام الستيرغرافي باستخدام البرنامج GeoCoords [8]. يوضح الجدول (1) الإحداثيات الستيرغرافية لبعض هذه النقاط.

4. مجموعة من البرمجيات أهمها البرنامج ArcGIS 10.2 وذلك لإنجاز عملية تصحيح المرئية الفضائية، والبرنامج Agisoft Photoscan الذي تم استخدامه لتوليد الخارطة الصورية باستخدام طريقة SfM.



الشكل (1). المنطقة التي تغطيها المرئيات المقتطعة.



الشكل (2). مخطط طبوغرافي 1/1000 لجزء من محافظة اللاذقية.

الجدول (1). إحداثيات بعض نقاط الضبط بعد تحويلها إلى النظام الستيريوغرافي السوري

Y (m)	X (m)	Name
152052.07	-304159.56	CP1
152112.35	-303932.38	CP2
151882.49	-303874.74	CP3
151627.10	-303800.54	CP4
151358.14	-303763.61	CP5
151028.57	-303740.29	CP6
151062.92	-304197.09	CP7
151423.34	-304155.82	CP8
151652.27	-304130.03	CP9
151883.53	-304127.86	CP10

النتائج والمناقشة

1- توليد الخارطة الصورية القائم على إرجاع الصور

تقوم المنهجية العملية المقترحة لتوليد الخارطة الصورية (الموزاييك) القائمة على إرجاع الصور على إرجاع كل صورة من الصور المقطعة لوحدها وذلك باستخدام كل نقاط الضبط المتوفرة فيها واستخدام تحويل كثير حدود من الدرجة الثانية وحساب الخطأ المتوسط التربيع لكل عملية إرجاع RMS_T . تم تطبيق كثير حدود من الدرجة الثانية لأنه الأنسب لهذا النوع من المشاهد (مشاهد عمرانانية) [9]. بعد ذلك، قمنا بحساب مقياس الخارطة المتجهية الممكن الحصول عليها من كل من الصور المرجعة وذلك عبر تطبيق العلاقة (1) التي تربط بين RMS_T ومخرج مقياس الخارطة :

$$RMS_T \leq \frac{(0.2 \rightarrow 0.3) \cdot S}{1000} \quad (1)$$

$$RMS_T \leq \frac{(0.2 \rightarrow 0.3) \cdot S}{1000} \quad (1)$$

تم توليد الموزاييك أو الخارطة الصورية من الصور المرجعة سابقاً آخذين بعين الاعتبار أن دقة هذا الموزاييك ستكون من فئة أسوأ دقة تم الحصول عليها في عملية إرجاع الصور. باستخدام البرنامج ArcGIS، أنجزنا عملية الإرجاع والتي نوضح نتائجها في الجدول (2).

الجدول (2). الأخطاء متوسطة التربيع على الصور وعدد نقاط الضبط المستخدمة.

رقم الصورة	عدد نقط الضبط المستخدمة	الخطأ متوسط التربيع للإرجاع (m)	مخرج مقياس الخارطة الممكن إنتاجها من الصورة	مخرج مقياس الخارطة النظامي الأقرب
1	12	1.31	5240	7500
2	11	1.96	7840	10000
3	11	1.74	6960	7500

7500	7440	1.86	10	4
10000	8440	2.11	10	5
10000	7600	1.90	12	6
7500	7160	1.79	13	7
7500	5040	1.26	20	8
7500	6160	1.54	16	9
7500	7200	1.80	15	10
7500	6280	1.57	17	11

مع اعتماد التحويل الهندسي بكثير حدود من نفس الدرجة (كثير الحدود من الدرجة الثانية)، نلاحظ من الجدول السابق أن قيم الأخطاء تتخفف عموماً بزيادة عدد نقاط الضبط المستخدمة. ولكننا نلاحظ من جهة ثانية اختلاف في قيم هذه الأخطاء ضمن الصنف الواحد، ويمكن تفسير هذه الحالة بأن هنالك عوامل أخرى، إضافة لعدد نقاط الضبط ودرجة كثير الحدود المستخدم، تؤثر في قيمة الخطأ وهي طبيعة توزع نقاط الضبط ضمن الصورة وطبوغرافية المشهد المصور، وهذا ما نجد في حالة الصورة 5.

فيما يخص الموزاييك أو الخارطة الصورية الممكن إنتاجها فستكون دقتها من فئة دقة إرجاع الصورة 5 وهي أسوأ دقة حصلنا عليها. أما مقياس الخارطة المتجهية الممكن إنتاجها من هذا الموزاييك فهو المقياس الموافق للصورة المرجعة رقم 5، أي 1/10000. قمنا بإنشاء هذا الموزاييك بمساعدة البرنامج ArcToolBox، وهو موضح في الشكل (3):

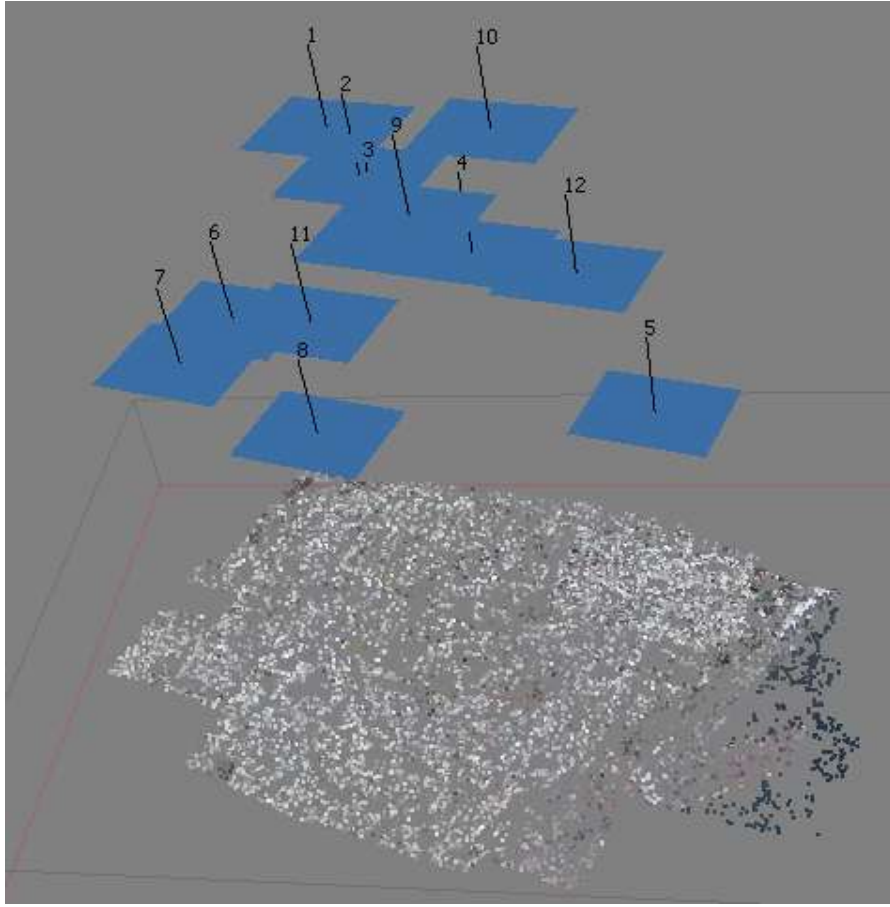


الشكل (3). الموزاييك (الخارطة الصورية) الناتجة عن الصور المرجعة.

2- توليد الخارطة الصورية القائم على الـ SfM

باستخدام مبادئ الحصول على البنية انطلاقاً من الحركة SfM المعتمدة في معظم البرمجيات القائمة على هذه المبادئ (ومنها البرنامج Agisoft Photoscan المستخدم في بحثنا [10])، مرّت عملية توليد الموزايك أو الخارطة الصورية بالمرحل التالية:

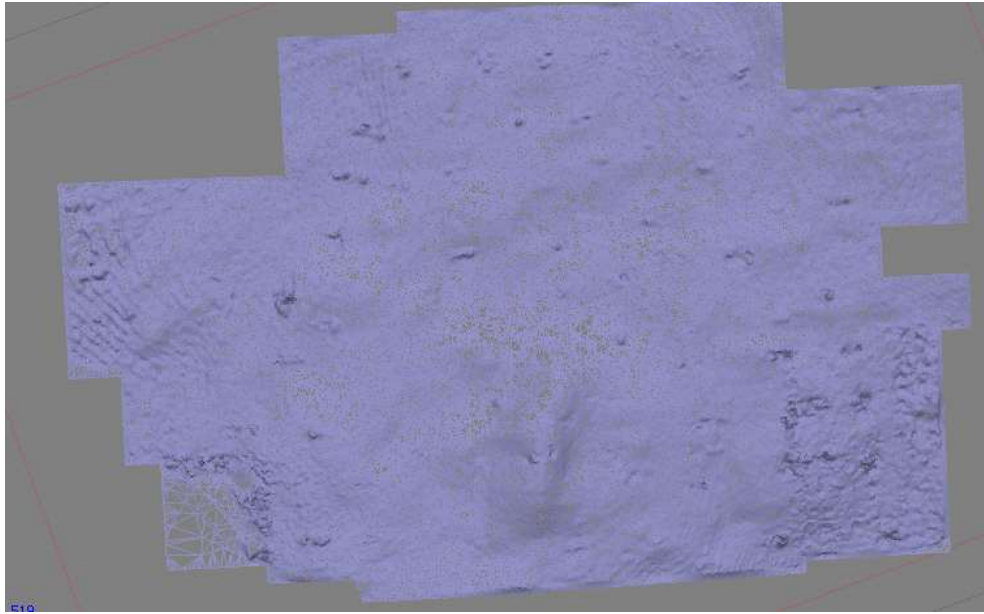
✓ **المرحلة الأولى: حساب مواقع آلة التصوير.** وفي هذه المرحلة يتم البحث عن النقاط المشتركة على الصور وربطها مع بعضها البعض كما يتم تحديد موقع آلة التصوير من أجل كل صورة. وكنتيجة لهذه المرحلة يتم الحصول على غمامة من النقاط المبعثرة (في هذه المرحلة، تم الاقتطاع الآلي لـ 16086 نقطة) وعلى مواقع آلة التصوير (الشكل (4)). في الواقع، تلزمنا معرفة مواقع آلات التصوير من أجل البناء اللاحق للنموذج ثلاثي الأبعاد. هذا، وتعتمد طريقة التثليث الصوري في هذا البرنامج على طريقة التعديل بالحزم Bundle adjustment.



الشكل (4). تحديد مواقع آلة التصوير واقتطاع غمامة النقاط المبعثرة بشكل آلي باستخدام Agisoft Photoscan.

✓ **المرحلة الثانية: توليد غيمة كثيفة من النقاط Dense point cloud.** وهنا يتم استخدام مواقع آلة التصوير والصور نفسها في بناء هذه الغمامة (الشكل (5)). تم هنا توليد 507000 نقطة تقريباً.

✓ **المرحلة الثالثة: توليد النموذج الشبكي.** يتم هنا بناء تعبير شبكي مضلعاتي ثلاثي الأبعاد لسطح العنصر استناداً إلى الغيمة الكثيفة من النقاط (الشكل (5)). بلغ عدد المثلثات في هذا النموذج 171500 مثلثاً تقريباً.



الشكل (5). غمامة النقاط الكثيفة والنموذج الشبكي للمنطقة المدروسة.

✓ المرحلة الرابعة: توليد الموزاييك أو الأورثوفوتو. لتوليد الأورثوفوتو بطريقة SfM، يجب استخدام النموذج الشبكي (الشكل (5)) مع معاملات التوجيه الخارجي للصور لتحويل ارتسام الصور من منظوري Perspective إلى Orthographic متعامد. ويعتبر الأورثوفوتو أفضل من الخارطة الصورية من الناحية الهندسية وذلك لأنه يأخذ تغيرات المقياس الناتجة عن اختلاف المناسيب في المشهد المصور وعن ميل الصور بعين الاعتبار وهذا غير محقق في حالة الموزاييك. في الواقع، الأورثوفوتو Orthophoto هو عبارة صورة تظهر صور العناصر في مواقعها الهندسية الصحيحة. وبناءً عليه فالأورثوفوتو مكافئ هندسياً للمخططات المستوية التقليدية والمؤلفة من خطوط ورموز والتي تعبر بدورها عن المواقع الهندسية الحقيقية للعناصر. ولكننا نعاني من مشكلة تخص البيانات المستخدمة في صناعة

الأورثوفوتو في بحثنا هذا وهي أن الصور الملتقطة والمتداخلة ليست تعبيراً فراغياً حقيقياً عن المشهد إذ أننا لا نملك أية معلومات عن البعد الثالث. في الواقع، الحالة التي نقوم بدراستها هي حالة مستوية تماماً لأن المتصفح المجاني Google Earth لم يزودنا بأية معلومات فراغية عن المشهد المصور وذلك بسبب عدم توفرها للمنطقة المدروسة، وإنما يمكننا من تقطيع مشهد مستو ممتد إلى مشاهد مستوية أصغر استخدمت لبناء المشهد الممتد وبالتالي، فالمنتج الذي حصلنا عليه هو موزاييك (الشكل (6)) أو خارطة تصويرية وليست أورثوفوتو بالمعنى الحقيقي للمصطلح.



الشكل (6). الموزاييك الناتج عن تطبيق طريقة SfM.

3- مقارنة نوعية الموزاييك القائم على الإرجاع والموزاييك القائم على تطبيق SfM

لمقارنة النوعية الهندسية للخرائط التصويرية (الموزايكات) الناتجة عن المراحل السابقة، يجب وضعها في نفس جملة الإحداثيات. ولإرجاع الموزاييك الناتج عن طريقة SfM إلى جملة الإحداثيات الستيريوغرافية السورية، قمنا باستخدام نقاط الضبط المستخدمة في إرجاع الصور السابقة وذلك بمساعدة البرنامج ArcGIS. بلغ عدد نقاط الضبط المستخدمة في الإرجاع 40 نقطة، أما الخطأ المتوسط التربيع فقد بلغ 1.2 متراً وذلك باعتماد كثير حدود من الدرجة الثانية. إن هذا يعني أنه بإمكاننا الحصول خارطة متجهية من هذا الموزاييك يبلغ مقياسها وفق العلاقة (1): 1/4800 (والذي يقابل المقياس النظامي 1/5000) وهو أكبر من مقياس الخارطة المتجهية الممكن إنتاجها من الموزاييك القائم على الإرجاع.

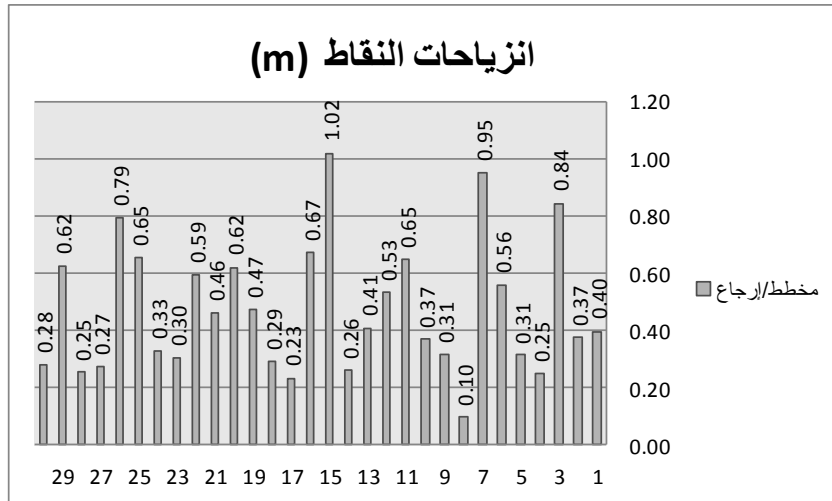
لمقارنة النوعية الهندسية للخرائط التصويرية (الموزايكات) الناتجة، قمنا باختيار 30 نقطة اختبار بحيث كانت موزعة على كامل أجزاء المشهد ومن ثم تم قياسها على المخطط الطبوغرافي الأساسي وعلى الخريطة التصويرية الناتجة عن الإرجاع وعلى الخريطة التصويرية الناتجة عن الـ SfM. فصلنا على النتائج التالية (الجدول (3)).

الجدول (3). إحداثيات نقاط الاختبار المقاسة على المخطط وعلى الخرائط التصويرية.

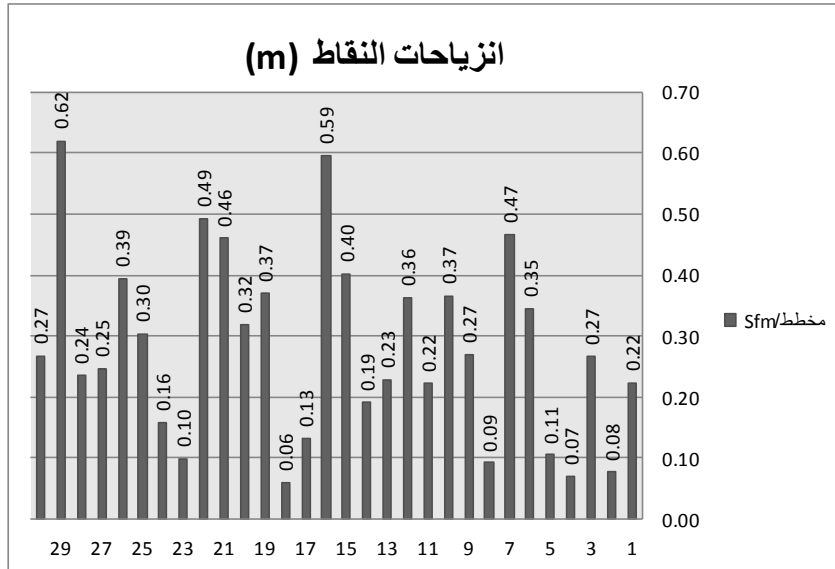
الإحداثيات من الموزاييك القائم على SfM		الإحداثيات من الموزاييك القائم على الإرجاع		الإحداثيات من المخطط الطبوغرافي (1/1000)		النقطة
Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	
152244.62	-305343.41	152244.42	-305343.45	152244.75	-305343.23	1
152466.00	-305457.43	152466.06	-305457.83	152465.94	-305457.48	2
152502.33	-304495.28	152502.53	-304496.28	152502.19	-304495.51	3
150927.15	-305113.20	150927.28	-305113.06	150927.08	-305113.21	4
151007.78	-306329.68	151007.58	-306329.78	151007.82	-306329.58	5
152160.55	-306462.05	152160.76	-306462.00	152160.21	-306462.11	6
152740.28	-306259.16	152741.28	-306260.16	152740.59	-306259.51	7
152860.87	-306363.02	152860.89	-306363.00	152860.93	-306363.09	8
153097.28	-306065.14	153097.32	-306065.12	153097.05	-306065.28	9
153086.75	-305468.13	153086.75	-305468.11	153086.38	-305468.15	10
153030.56	-305484.10	153030.16	-305483.95	153030.78	-305484.14	11
153151.61	-305013.96	153151.50	-305013.83	153151.88	-305014.20	12
153164.29	-305175.62	153164.39	-305175.42	153164.07	-305175.67	13
152991.01	-303496.88	152991.01	-303496.78	152991.17	-303496.98	14
153129.35	-303644.50	153129.71	-303645.50	153129.03	-303644.74	15
152980.78	-303683.05	152980.98	-303684.05	152980.51	-303683.58	16
153696.48	-305561.20	153696.45	-305561.30	153696.47	-305561.07	17
153652.35	-305569.46	153652.02	-305569.56	153652.29	-305569.45	18
153724.33	-306333.20	153724.23	-306333.17	153724.65	-306333.39	19
153773.91	-306184.67	153773.79	-306184.37	153774.16	-306184.87	20
153074.40	-306058.84	153074.40	-306058.84	153074.20	-306058.43	21
151001.79	-305707.60	151001.81	-305707.70	151001.74	-305707.11	22
151120.21	-305491.42	151120.16	-305491.72	151120.30	-305491.45	23
151117.62	-305440.80	151117.72	-305440.66	151117.49	-305440.89	24
151115.32	-305391.59	151115.02	-305391.79	151115.49	-305391.34	25
152051.62	-304210.44	152051.42	-304210.04	152051.98	-304210.60	26
152063.59	-304251.24	152063.57	-304251.22	152063.82	-304251.33	27
152050.87	-304100.25	152050.86	-304100.23	152050.80	-304100.48	28
152053.41	-304059.60	152053.40	-304059.58	152052.93	-304059.99	29
151990.39	-303951.81	151990.38	-303951.80	151990.65	-303951.87	30

انطلاقاً من الجدول (3) قمنا بحساب انتقال كل نقطة من نقاط الاختبار، المقاسة على الخارطين الصوريين، بالنسبة للنقاط المرجعية المقاسة على المخطط الطبوغرافي وهذا ما تعبر عنه المخططات البيانية (7) و(8). نلاحظ من هذه المخططات ومن الجدول (3) أن:

1. جهة انتقالات نقاط الضبط هي نفسها في الحالتين.
2. تعاني النقاط المقاسة على الخارطة التصويرية المنتجة بطريقة SfM من انتقالات أقل مقارنةً بمقابلاتها المقاسة على الخارطة التصويرية المنتجة بالإرجاع. وهذا الأمر منطقي حيث أن النقاط المقاسة على هذه الأخيرة أقل وضوحاً من مقابلاتها على الخارطة التصويرية المنتجة باستخدام SfM (ذات المقياس الأكبر) وبالتالي فدقة قياسها أقل. ومن ناحية أخرى، تم استخدام عدد هائل من النقاط (نقاط الغمامة الكثيفة) في تعريف مستوى الإسقاط لهذه الخارطة التصويرية مقارنةً بالعدد المحدود من نقاط الضبط المستخدمة في تعريف هذا المستوي في حالة الخارطة التصويرية الناتجة عن الإرجاع.
3. يتضح من المخططين (7) و(8) أن هنالك بعض النقاط الواقعة في مناطق مرتفعة (أسطح الابنية) تعاني انتقالات كبيرة مقارنةً بالنقاط الأخرى الواقعة عند منسوب الأرض الطبيعية وهذا عائد في رأينا إلى سببين هما:
 - a. برمجيات نظم المعلومات الجغرافية المستخدمة في تصنيع الخارطة لا تأخذ بعين الاعتبار التشوهات الناتجة عن طبيعة الإسقاط المركزي للصور حيث تتناسب انتقالات النقاط طردياً مع مناسبتها ومع بعدها عن مركز الصورة.
 - b. عدم توفر بيانات ضبط ثلاثية الأبعاد تمكّن البرمجيات القائمة على مبدأ SfM من التخلص من هذا النوع من الانزياحات.
4. تتمتع كلتا الخارطتين بدقة مقبولة حيث بلغ الخطأ المتوسط التربيع على انزياحات نقاط الاختبار في الخارطة التصويرية الأولى 0.52 m وبلغ في الثانية 0.32 m وهذه قيم متوقعة أخذين بعين الاعتبار تأثير مقياس الخرائط على توقيع النقاط.



الشكل (7). انزياحات نقاط التحقق في الخارطة التصويرية الناتجة عن الإرجاع.



الشكل (8). انزياحات نقاط التحقق في الخارطة الصورية الناتجة عن SfM.

الاستنتاجات والتوصيات

نستنتج من هذا البحث أنه بالإمكان استخدام طريقة تحديد البنية انطلاقاً من الحركة SfM في تصنيع الخرائط الصورية للمناطق المتسعة جغرافياً وذلك كبديل عن نظم المعلومات الجغرافية أو برامج المسح التصويري المتخصصة وذلك لأن هذه الأخيرة صعبة الاستخدام ومرقعة التكاليف. لقد وجدنا أن قوة هذا الحل تكمن في أنه قليل التكاليف، لا يتطلب أية معلومات حول مصدر الصور، كما أنه مؤتمت بشكل كامل. كما أوضحنا من خلال المثال العملي أن طريقة SfM تمكننا من توليد غمامة كثيفة من النقاط والتي قد تفوق كثافتها في بعض الحالات كثافة النقاط التي نحصل عليها بالمسح الليزري ثلاثي الأبعاد، وهذا ما يسمح بتوليد خرائط صورية ذات دقة هندسية جيدة (بلغ مقياس الخارطة في مثالنا 1/5000) وتلبي احتياجات الكثير من التطبيقات. من ناحية أخرى استنتجنا أنه صور المتصفح المجاني Google Earth يمكن ان تشكل مصدراً مهماً للصور اللازمة لإنتاج خرائط صورية قليلة التكاليف (مقارنةً بالصور الجوية) وذات دقة مقبولة.

في النهاية يمكننا أن نوصي باستخدام صور المتصفح المجاني Google Earth عند الحاجة إلى خرائط صورية ذات دقة هندسية متوسطة. أما عند الحاجة إلى دقة هندسية عالية، فإننا نوصي بالصور الجوية. كما نوصي باستخدام البرمجيات القائمة SfM كحل بديل عن البرمجيات المتخصصة بتوليد الخرائط الصورية أو برامج نظم المعلومات الجغرافية وذلك نظراً لسهولة استعمالها. نشير إلى ان الاستخدام الامثل لهذه البرامج يتطلب توفر معطيات ضبط ثلاثية الأبعاد وذلك للتخلص من تأثير الإزاحات الناتجة عن الارتفاع في الخريطة الصورية الناتجة.

المراجع

- [1] ROSSI., TIFFINY, A., 2004. Application Of Digital Photogrammetric Methods In The Of Land Cover Change On The Coastal Dunes Of Warren Dunes State Park, Berrien Country, Master Thesis, The Michigan State University, Michigan, 2004.
- [2] DeWitt, B. A., Wolf, P. R., 2000. Elements of Photogrammetry (with Applications in GIS). McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- [3] Botterill, T.; Mills, S.; Green, R., 2010 Real-time aerial image mosaicing. In Proceedings of the IEEE International Conference of Image and Vision Computing New Zealand, Queenstown, New Zealand, 8–9 November 2010.
- [4] Hackeloeer, A.; Klasing, K.; Krisp, J.M.; Meng, L., 2014. Georeferencing: a review of methods and applications". *Annals of GIS*. **20** (1): 61–69. 2014.
- [5] Remondino, F., El-Hakim, S., Image-based 3D modeling: a review. *The Photogrammetric Record* 2006, 21, 269–291, DOI: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.
- [6] Alsadik, B., Remondino, F., Menna, F., Gerke, M., Vosselman, G., Robust., 2013. extraction of image correspondences exploiting the image scene geometry and approximate camera orientation. *3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, 2013, Trento, Italy. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-5/W1.
- [7] Wu, C., Towards Linear-time Incremental Structure from Motion. *IEEE 2013. International Conference on 3D Vision*, 2012, Seattle, WA, USA, 127-134, DOI: 10.1109/3DV.2013.25.
- [8] حمودي، غنوة، الخليل، عمر، القاموح، أديب. 2011 المساهمة في وضع نظام حاسوبي لتحويل الإحداثيات من نظام إحداثيات جيوديزي إلى نظام إحداثيات محلي. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين. 2011.
- [9] L, Hung Liew., Y.C, Wang., W, Cheah., 2012. Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification. In *Procedia Engineering* 41 (2012) 1002 - 1008. 2012
- [10] Agisoft., 2018. Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition. 2018.