مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

حل بديل من أجل توثيق الواجهات الأثرية الضخمة: استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تصنيع الموزاييك الرقمي للصور

الدكتور عمر الخليل*

(تاريخ الإيداع 28 / 8 / 2013. قُبِل للنشر في 4/ 12 / 2013)

∇ ملخّص ∇

إن الحفاظ على التراث المعماري Architectural heritage يعتبر ضرورةً من أجل إنتاج التوثيق التقني الأولي الذي يمكّن من الحصول على مخططات تساعد في اتباع أفضل الأساليب لحماية هذا التراث. هذا وتعتبر الصور من أهم مصادر الحصول على المعطيات اللازمة لإنجاز هذا التوثيق إذ يمكن استخدامها في الحصول على المعطيات الوصفية والهندسية ثنائية وثلاثية الأبعاد. وفي حال وجود عناصر هندسية مستوية ضخمة يمكن لنا أن نستخدم موزاييك الصور المضبوط Controlled mosaics مصدراً لهذه المعطيات.

نقترح في هذا البحث حلاً بديلاً لاستخدام برامج المسح التصويري Photogrammetric surveying المتخصصة وذلك لتوثيق العناصر الأثرية المعمارية المستوية ذات الامتداد الكبير. يقوم هذا الحل على إنجاز موزاييك من مجموعة صور رقميّة مقوَّمة Rectified photos بمساعدة بعض إمكانيات برنامج نظم معلومات جغرافية Geographic Information System (GIS) المخصصة أصلاً لعمل موزاييك لمجموعة من الخرائط المتداخلة. سيتم لاحقاً استخدام الموزاييك الناتج بوصفه مصدر توثيق وصفي وهندسي بمساعدة نظام المعلومات الجغرافي هذا، والذي يسهّل وبشكل كبير عمليات التجديد والتطوير والحفاظ على المناطق الأثرية. وللتأكد من صلاحية الموزاييك السابق, سنقوم بمقارنته مع الموزاييك المحسوب من الصور نفسها، وذلك باستخدام برنامج مسح تصويري متخصص.

الكلمات المفتاحية: توثيق، الموزاييك الرقمي، نظم المعلومات الجغرافية، تقويم الصور.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013

Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

Alternative Solution to Document Large Historical Façades Using GIS to Produce a Digital Images Mosaics

Dr. Umar al-Khalil*

(Received 28 / 8 / 2013. Accepted 4 / 12 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

Culture heritage conservation is necessary to produce the initial technical documentation. This one provides plans that help in using the best approaches to protect culture heritage. Images are considered as an important source of data required to achieve this documentation, where they can be used to extract semantic and 2D-3D geometric data. In case of large planimetric objects, we can use the controlled mosaics as source of these data.

In the present study, instead of using professional photogrammetric software, we propose an alternative solution to document the large planimetric historical objects. This approach is based on producing a mosaics from a group of digital rectified photos by using some capabilities of a GIS that are originally applied to produce mosaics from overlapped maps. The produced mosaic well then be used as semantic and geometric documentation source in this GIS. Geographic Information System facilitates largely the conservation, development and renovation process of historical areas. To ensure the validity of the resulted mosaics, we will compare it with a mosaics calculated from the same photos by using a professional photogrammetric software.

Keywords: Documentation, Digital mosaics, Geographic Information System, Image rectification**.**

* Assistant Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tishreen, Lattakia: Syria.

مقدمة:

تعتبر الواجهات المستوية عنصراً معمارياً أساسياً في الكثير من المنشآت الأثرية. وبالتالي يمكن توثيقها هندسياً انطلاقاً من صورة واحدة (**Al KHALIL, and GRUSSENMEYER, 2002**). والتقنية المطبقة هنا تعرف باسم تقويم الصور Image rectification حيث تستخدم الصورة المقومة للحصول على معلومات ثنائية البعد حول العنصر المصور. وعندما لا تحوي الصورة الواحدة على تغطية كافية لتكون مصدراً للمعطيات اللازمة للتوثيق لواجهة ضخمة (ذات أبعاد هندسية كبيرة)، فإنه من الممكن تحضير موزاييك من عدة صور. وتقليدياً كان يتم عمل الموزاييك يدوياً باستخدام نسخ ورقية من الصور، أما الآن فإن تحضير الموزاييك يتم باستخدام صور رقمية وهو ما يعرف باسم الموزاييك الرقمي Digital mosaics. وفي كلتا الحالتين فإن تصنيع الموزاييك يتم باستخدام مجموعة من الصور المتعاقبة والمتداخلة ويلصق بعضها ببعض، بحيث تبدو معالم الواجهة في صورة متكاملة وطبيعية.

ينقسم الموزاييك إلى ثلاثة أنواع هي: الموزاييك المضبوط Controlled mosaics، الموزاييك نصف المضبوط Semicontrolled mosaics والموزاييك غير المضبوط Uncontrolled mosaics. ويعتبر الموزاييك المضبوط أدق الأنواع الثلاثة كان يتم تحضيره بطريقة من الصور المقوّمة، وهذا يعني جعل الصور مكافئة لصور أرضية أفقية لها المقياس نفسه. وعند تجميع الصور يتم جعل العناصر المشتركة في الصور المتجاورة منطبقةً أكثر ما يمكن، ولرفع الدقة الهندسية للربط يتم تحضير رسم لنقاط الضبط بمقياس الصور نفسه. ثم يتم ربط نقاط الضبط مع مثيلاتها المرسومة عند تجميع الصور لتشكيل الموزاييك، وبهذا نفرض قيداً على مواقع الصور ونرفع الدقة الهندسية. يملك الموزاييك الرقمي مواصفات الموزاييك المحضر يدوياً نفسها ولكنه يحضر بطريقة تحليلية (**WOLF, and DEWITT, 2000**). ويعتبر الموزاييك المضبوط مصدراً هاماً للمعطيات الهندسية في نظم المعلومات الجغرافية GIS.

عادةً ما يتم استخدام برامج مسح تصويري متخصصة في إنتاج الموزاييك المضبوط. نذكر من هذه البرامج، البرنامج ERDAS IMAGINE والبرنامج MSR والبرنامج RASTA. وهذا النوع من البرامج يتطلب خبرةً في الاستخدام وخلفية علمية في المسح التصويري وهو ما لا يتوفر عند معظم العاملين في مجال توثيق الآثار. لذلك فإننا نقترح في هذه الدراسة حلاً بديلاً بسيطاً يقوم على استخدام تقنية تصنيع الموزاييك الرقمي المضبوط لواجهة أثرية ضخمة، وذلك باستخدام إحدى إمكانيات برنامج ملحق بأحد برامج نظم المعلومات الجغرافية التجارية (التطبيق ArcToolBox الملحق بـ ArcGIS). لابد من الإشارة إلى أن هذه الإمكانية مخصصة أصلاً للتعامل مع الخرائط الرقمية المتداخلة وصناعة موزاييك منها. إن إنتاج الموزاييك المطلوب سيتم انطلاقاً من صور رقمية مقومة تم الحصول عليها بمساعدة هذا النظام، ثم سيتم لاحقاً استخدام هذا النظام في عملية التوثيق الهندسي والوصفي للواجهة انطلاقاً من الموزاييك السابق.

أهمية البحث وأهدافه :

يعتبر التوثيق خطوةً أساسيةً قبل البدء بأي عملية ترميم للمنشآت الأثرية. فهذه المنشآت تتعرض لتغيرات في الشكل واللون والمادة نتيجة للعوامل الجوية والكوارث الطبيعية وأعمال التخريب الناتجة عن النشاط البشري مثل الحروب وغيرها. وبالتالي فإن الحفاظ على الآثار أمر مهم ويجب البحث من أفضل الطرائق التي تُستخدم في توثيق وتسجيل هذه الآثار.

تعتبر الصور مصدراً هاماً للحصول على المعطيات الوصفية والهندسية ثنائية وثلاثية البعد للعناصر. وفي حال كون العنصر المعماري الأثري مستوياً، فإن تقنية تقويم الصور تعتبر فعالةً في التحضير لعملية التوثيق. وفي حالة العناصر الهندسية المستوية الضخمة يمكن تصنيع موزاييك رقمي مضبوط من الصور المقومة وذلك لضمان تجانس عملية التوثيق الهندسي من ناحية الدقة.

يهدف هذا البحث إلى مايلي:

1. إظهار فعالية استخدام الموزاييك الرقمي المضبوط في توثيق الواجهات الأثرية في معظم المواقع الأثرية السورية نظراً لضخامة هذه الواجهات وامتدادها الكبير.

2. توضيح فعالية بعض إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية في إنتاج الموزاييك الرقمي المضبوط ممّا يمثّل حلاً بدلاً من استخدام برامج المسح التصويري المتخصصة والتي تتطلب خبرة وخلفية علمية في المساحة التصويرية.

3. مساعدة العاملين في مجال التوثيق، في إنجاز هذا التوثيق باستخدام أدوات سهلة نسبياً ولا تتطلب مختصين في المسح التصويري.

4. توضيح الفائدة والفعالية عند استخدام آلات تصوير لامترية Non-metric cameras في التقاط الصور اللازمة لتصنيع الموزاييك.

توضيح التكامل بين طرائق المساحة التصويرية ونظم المعلومات الجغرافية في الوصول إلى توثيق هندسي وصفي متكامل للواجهات الأثرية.

طرائق البحث ومواده :

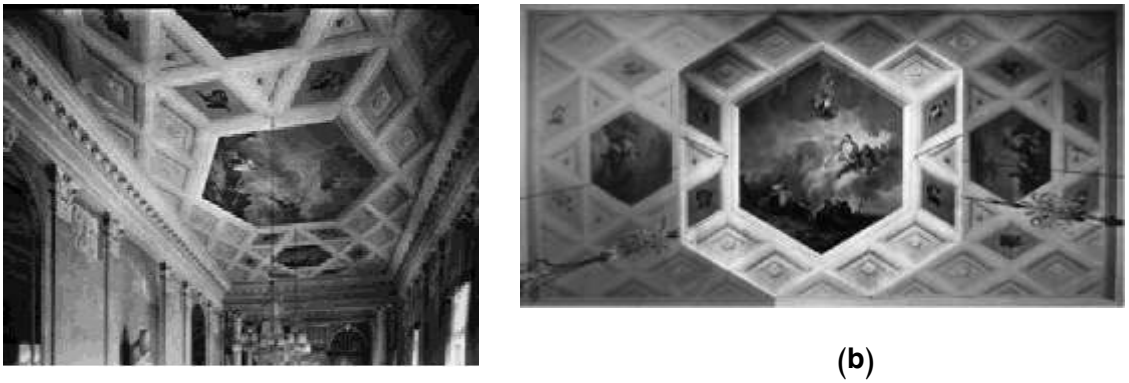
من الصحيح أن آلات التصوير الرقمية المتوفرة في السوق حالياً هي آلات تصوير لامترية (غير مصممة بالأصل لأغراض المسح التصويري)، ولكنها قليلة التكاليف وسهلة الاستخدام، مقارنةً بالآلات المترية Metric cameras. كما أنها ذات دقة تمييز هندسي Geometric resolution جيدة يمكنها أن تحقق مستوى مقبولاً من الدقة الهندسية في التوثيق. وهذا ما يشجعنا على استخدامها في التقاط الصور التي تستخدم لاحقاً في تصنيع الموزاييك الصوري للواجهات الأثرية الضخمة التي نصادفها في الكثير من المواقع الأثرية السورية.

من ناحية أخرى، تتوفر مجموعة من البرامج التجارية المصممة لغير المختصين بالمسح التصويري، والتي تملك أدوات فعالة للتعامل مع الصور منها إمكانية تقويم الصور الرقمية وتصنيع موزاييك منها. هذه البرامج مستخدمة من قبل عدد كبير من غير المختصين في مجال المساحة التصويرية كالمعماريين والطبوغرافيين والعاملين في مجال تاريخ الفن، والآثاريين الذين يهتمون بالتوثيق. بالنسبة لمعطيات الضبط Control data اللازمة لتقويم الصور، فيتم الحصول عليها عن طريق الأجهزة المساحية التقليدية (محطة الرفع المتكاملة Total station)، أو قد تكون ببساطة مسافات ضبط Control distances مقيسة على العنصر المصور من أجل وضع التوثيق الناتج على المقياس.

يقوم هذا البحث على فكرة استخدام آلة تصوير رقمية Digital camera لا مترية في التقاط صور لواجهة مستوية ضخمة، ومن ثمّ تقويم هذه الصور بشكل إفرادي وتصنيع موزاييك رقمي منها باستخدام أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية. وبعدها، سيتم استخدام الموزاييك الناتج بوصفه أساساً للتوثيق الهندسي والوصفي للواجهة المصورة بمساعدة البرنامج المستخدم نفسه.

كيف يتم تصنيع الموزاييك المضبوط للصور الرقمية ؟

يتم عمل الموزاييك المضبوط باستخدام صور مقومة وذلك عندما يكون العنصر المصور مكوناً من عدة مستويات. وتبدأ عملية تصنيع الموزاييك المربوط بعملية تقويم الصورة، وهذا يتطلب وجود أربع نقاط ضبط Control points على الأقل، يتم تعريفها في الصورة ومن ثمّ يتم تطبيق تحويل هندسي إسقاطي Projective transformation لتقويم الصورة هندسياً. ويطبق التحويل الإسقاطي في حال عدم معرفتنا لعناصر آلة التصوير المستخدمة في التقاط الصور. تعتبر هذه الحالة حالةً واسعة الانتشار في التوثيق انطلاقاً من الصور (**HEMMLEB, and WIEDEMANN, 1997**). وبما أن كل صورة رقمية مصححة ستكون مرجعة هندسياً، فإن العناصر الأرضية الإفرادية ستكون مرتبطة مباشرة مع الإحداثيات الأرضية. وكل ما يتبقى للحصول على الموزاييك المربوط هو تجميع الصور المرجعة هندسياً في مصفوفة وحيدة للعناصر الأرضية، تعبر عن كامل المنطقة التي يغطيها الموزاييك. ومرةً أخرى يجب اختيار مقادير اللمعان Brightness لكل عنصورة Pixel الواجب اعتمادها في مناطق تداخل الصور.



(**a**) (**b**)

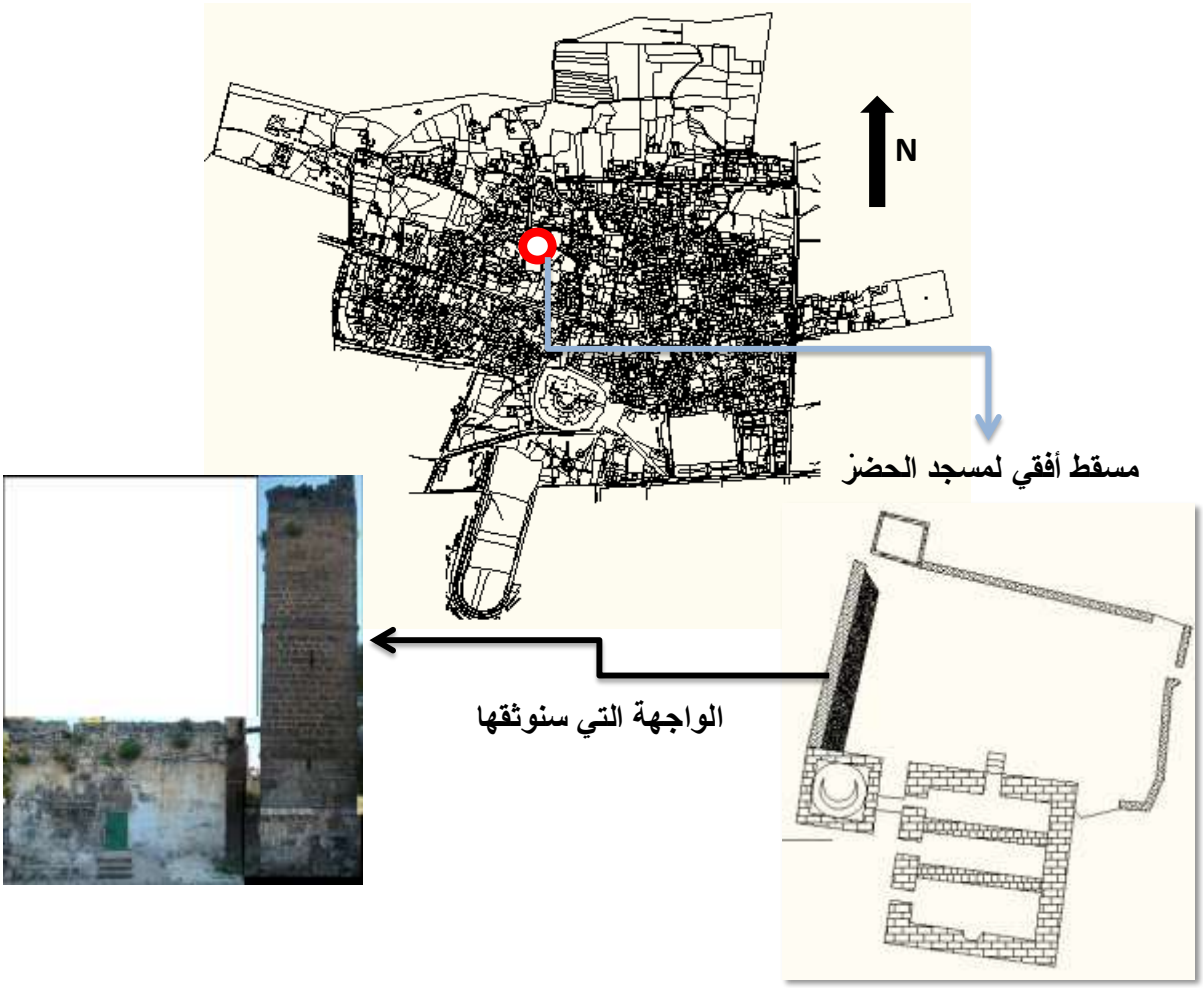
الشكل (1). الصورة الأصلية لعنصر مكون من عدة مستويات (a) مع الموزاييك الرقمي المقوم الناتج (b).

النتائج والمناقشة:

1- تصنيع موزاييك رقمي مضبوط لعنصر الدراسة

إن عنصر الدراسة هو الواجهة الأثرية لجامع الخضر الواقع في مدينة بصرى الشام التابعة لمحافظة درعا. وجامع الخضر هو مسجد إسلامي يطلق عليه السكان المحليون هذا الاسم نسبة للمقام المجاور له. أمر بتجديد هذا المسجد أمين الدولة أبو منصور كمشتكين الأتابكي والي بصرى عام 528 هجرية، بعد تهدمه أوائل القرن السادس للهجرة.

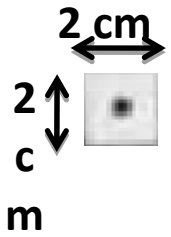
والجامع مبني على شكل مربع تقريباً يبلغ طول أحد أضلاعه سبعة أمتار وأربعين سنتمتراً و يتألف سقفه من عتبات مستطيلة مقطوعة من حجر البازلت. تستند إلى قوسين وجذوع أعمدة من الحجر ذاته، ويظهر فوق محرابه بقايا نقوش عربية ومدخل الجامع مؤلف من ثلاثة أبواب حجرية متتالية. أما الواجهة التي نهتم بتوثيقها فهي تحوي مئذنة الجامع التي يبلغ ارتفاعها أكثر من 17 متراً كما يبلغ طول هذه الواجهة ما يقارب الـ 16 متراً.



الشكل (2). الموقع العام لمسجد الخضر في بصرى الشام و الواجهة التي ستوثق.

نظراً للحجم الكبير للعنصر ولمسافة التصوير المناسبة، فقد احتجنا إلى ثلاث صور لتغطيته بشكل كامل. لقد حرصنا خلال التقاط هذه الصور على وجود منطقة مشتركة بين كل صورتين متتاليتين وذلك بهدف إنجاز موزاييك يغطي كامل العنصر لاحقاً. وقد تم التقاط هذه الصور باستخدام آلة التصوير الرقمية Kodak من النوع 8 ميغابكسل Megapixel وهي آلة تصوير قليلة التكاليف وتمكّن من الحصول على صور رقمية ذات دقة تمييز هندسية جيدة. لقد تم التقاط هذه الصور باتجاهات تصوير متعامدة ما أمكن مع الواجهة وفي المركز تقريباً للحصول على دقة عالية عند تقويم هذه الصور.

لإنجاز تقويم الصور الملتقطة، لابد من توفر مجموعة من نقاط الضبط الأرضي Ground control. وفي مثالنا، تم اختيار مجموعة من نقاط الضبط الطبيعية والاصطناعية. تم تصميم النقاط الاصطناعية بحيث يسهل تمييزها على الواجهة وإجراء القياس عليها كما في الشكل (3).



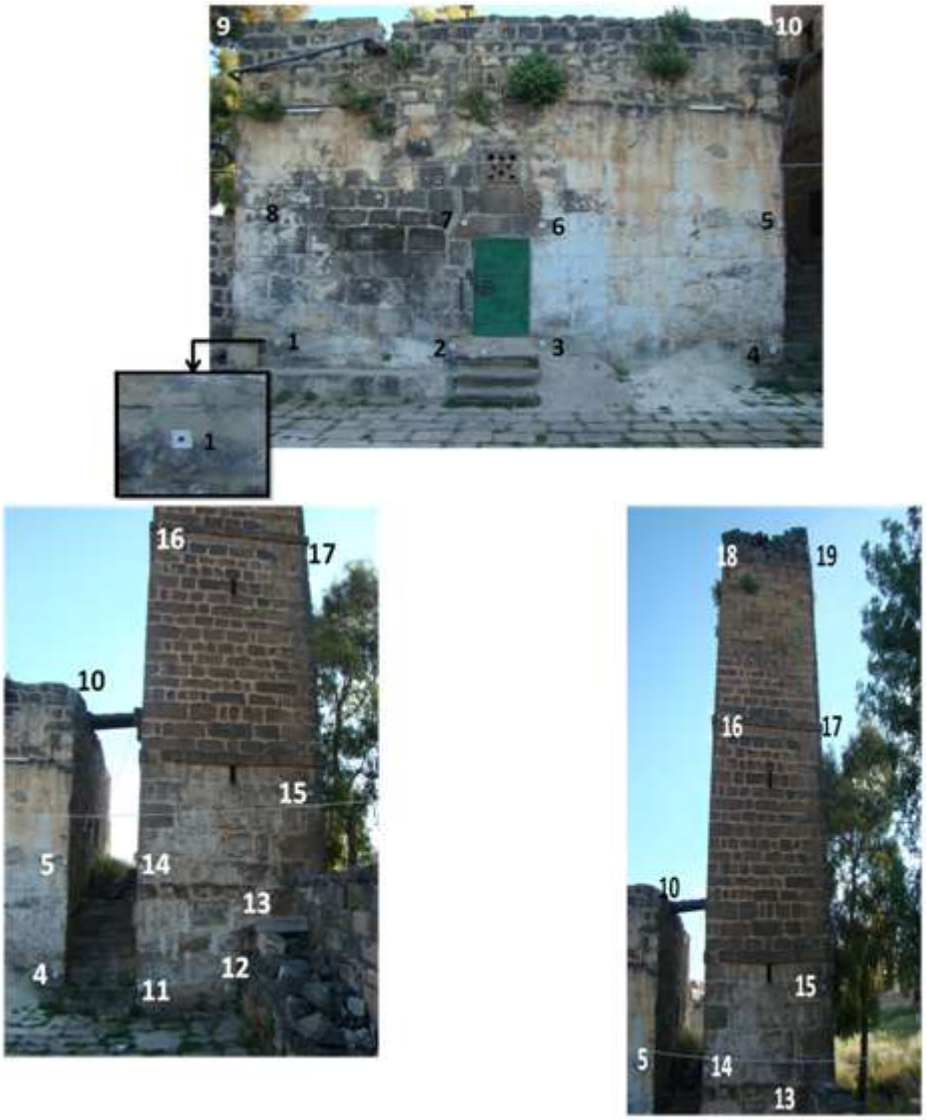
الشكل (3). شكل نقطة الضبط الاصطناعية المستخدمة وأبعادها.

وتم قياس إحداثياتها ضمن نظام إحداثيات محلي باستخدام محطة رفع متكاملة. تم تحديد نقاط الضبط بحيث كانت موزعةً بشكل متجانس على المستوي المراد تقويمه من هذه الصور. نبين في الجدول (1) إحداثيات نقاط الضبط ضمن جملة إحداثيات محلية. كما نبين في الشكل (4) هذه الصور مع نقاط الضبط موزعةً عليها.

يمكن أن نلاحظ وجود مناطق التداخل بين مختلف الصور وذلك من أجل التمكن لاحقاً من تصنيع الموزاييك الرقمي انطلاقاً منها، وذلك بعد تقويم كل منها بمفردها.

الجدول (1). إحداثيات نقاط الضبط في جملة إحداثيات محلية

رقم النقطة	X (m)	Y (m)
1	96.5239	835.2581
2	99.4468	835.2847
3	100.8955	835.3526
4	104.6495	835.2108
5	104.7682	837.3378
6	100.8755	837.3083
7	99.6301	837.3459
8	96.0498	837.4927
9	95.6063	840.9291
10	104.8757	840.7317
11	106.3836	835.0242
12	108.1906	834.9985
13	108.4277	836.4903
14	106.3805	837.2728
15	110.1384	838.7932
16	106.5479	844.6556
17	110.4202	844.547
18	106.6315	849.974
19	110.4035	849.8111



الشكل (4). الصور الملتقطة مع توضيح لتوزع نقاط الضبط عليها.

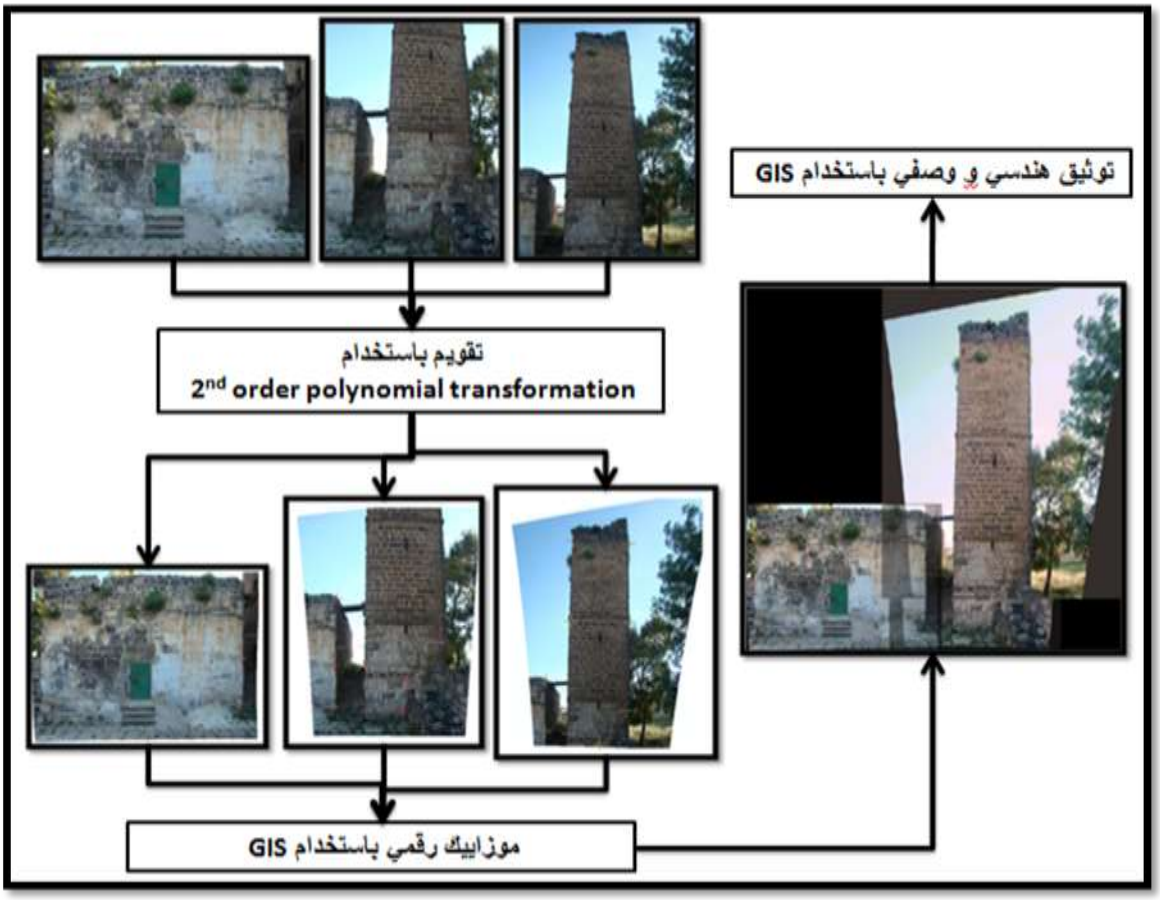
✓ **خوارزمية العمل**

يمكننا تلخيص المراحل المطبقة لإنجاز التوثيق لواجهة مسجد الخضر بالخطوات العامة التالية، (الشكل (5):

1. باستخدام برنامج نظم معلومات جغرافية (البرنامج ArcMap) أجرينا التقويم لكل الصور باستخدام نقاط الضبط، وباستخدام تحويل كثير حدود من الدرجة الثانية Second order polynomial transformation.

2. قمنا بإنجاز موزاييك رقمي من الصور المرجعة سابقاً باستخدام برنامج نظم معلومات جغرافية (البرنامج ArcToolBox).

3. استخدمنا الموزاييك مع برنامج نظم معلومات جغرافية (البرنامج ArcMap) من أجل إنجاز الرقمنة.



الشكل (5). الخوارزمية المطبقة من أجل إنجاز تصنيع الموزاييك الرقمي للواجهة وتوثيقها هندسياً ووصفياً.

✓ نتائج تقويم الصور باستخدام أدوات برنامج نظم معلومات جغرافية

كما هو معلوم، فإن التحويل كثير الحدود من الدرجة الثانية هو تعديل غير موحَّد لمجموعة معطيات صُوَرية Raster data، ويقوم على تحريك نقاط ضبط معلومة إلى مواقع جديدة. وبالنسبة للبرنامج المستخدم في دراستنا فإنه يتطلب توفر المعطيات التالية:

1. الصورة التي نريد تقويمها مع مواقع نقاط الضبط عليها (6 نقاط على الأقل)، معطاة بإحداثياتها في جملة إحداثيات الصورة (رقم السطر ورقم العمود).
2. مواقع نقاط الضبط نفسها في جملة الإحداثيات المرجعية.

لقد كررنا عملية التحويل ثلاث مرات وذلك لأنه يتوفر لدينا ثلاث صور. قمنا بمساعدة البرنامج ArcMap بتقويم هذه الصور باستخدام كل نقاط الضبط المتوفرة في كل صورة التي يبلغ عددها 9 نقاط ضبط للصورة الأولى، 8 نقاط للصورة الثانية، و9 نقاط ضبط للصورة الثالثة. نبين في الشكل التالي الصور المقومة:

الشكل (6). الصور المقومة باستخدام كثير حدود من الدرجة الثانية.

كما نبين في الجداول التالية انزياحات نقاط الضبط في الصور المقومة باستخدام GIS، الجدول (2). وكذلك الخطأ المتوسط التربيع لتقويم (كثير حدود من الدرجة الثانية) كل صورة، الجدول (3):

الجدول (2). انزياحات نقاط الضبط في الصور المقومة

النقطة	الانتقال في الصورة الأولى (متر)	الانتقال في الصورة الثانية (متر)	الانتقال في الصورة الثالثة (متر)
1	0.019		
2	0.024		
3	0.029		
4	0.017	0.012	
5	0.014	0.012	0.076
6	0.021		
7	0.029		
8	0.017		
9			
10	0.030	0.0033	0.09
11		0.012	0.058
12		0.009	
13		0.021	0.044
14		0.007	
15		0.006	0.044
16			0.023
17			0.111
18			0.054
19			0.096

الجدول (3). الخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام GIS لكل الصور

رقم الصورة	σ (متر)
الصورة الأولى	0.023
الصورة الثانية	0.011
الصورة الثالثة	0.072

من خلال دراسة أخطاء (رواسب) التقويم نجد:

1. الانتقالات في النقاط البعيدة عن مراكز الصور أكبر من تلك القريبة من المركز، وذلك لأن التشوهات الناتجة من تزيّغات عدسة آلة التصوير تزداد بازدياد البعد عن مركز الإسقاط. ولنذكر أن هذا النوع من البرامج لا يُصحِّح هذه التشوهات.

2. هنالك انتقالات كبيرة ناتجة عن عدم قدرتنا على قياس النقاط بدقة على الصور، وذلك بسبب النوعية الصورية المتواضعة لهذه الصور. وهذه الانتقالات تخص على العموم نقاط الضبط الطبيعية. كان من الممكن أن نرفع دقة القياس فيما لو تم استخدام نقاط ضبط اصطناعية، وذلك لأن هذه الأخيرة تظهر واضحةً على الصور.

3. هنالك نقاط لم نتمكن من قياسها (النقطة 9)، و ذلك بسبب عدم وضوحها على كل الصور.

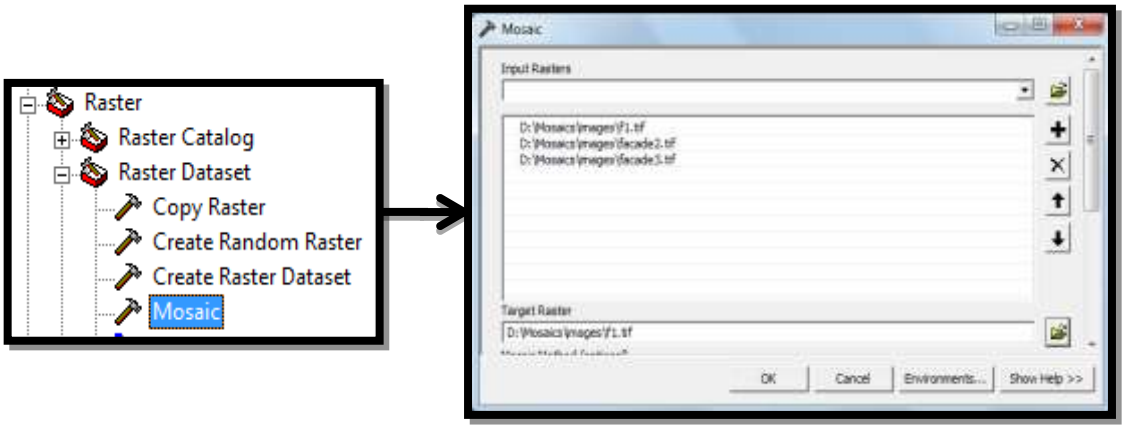
4. الانتقالات الخاصة بالنقاط المرصودة على صورتين أو أكثر، ليست من الفئة نفسها في أغلب الحالات، وهذا راجع إلى مواقع هذه النقاط وإلى دقة رصدها في هذه الصور.

5. الخطأ المتوسط التربيع في الصورتين الأولى والثانية هو من الفئة نفسها تقريباً، وهذا راجع إلى تقارب عدد نقاط الضبط المستخدمة في تقويم الصورتين وإلى التوزّع المتجانس لنقاط الضبط فيهما.

6. الخطأ المتوسط التربيع في الصورة الثالثة أكبر من الأخطاء المتوسطة التربيع في الصورتين اليمنى والوسطى، وهذا عائد إلى الميلان الكبير في الصورة بسبب مسافة التصوير القريبة والارتفاع الكبير للعنصر (ارتفاعه يقارب الـ 17 متراً)، وكذلك عدم تجانس توزّع نقاط الضبط في الصورة.

✓ إنجاز الموزاييك الرقمي باستخدام برنامج نظم معلومات جغرافية

يمكننا إنجاز موزاييك رقمي من الصور المرجعة السابقة، بحيث تكون دقته الهندسية من فئة الخطأ المتوسط التربيع للصورة الثالثة في أحسن الأحوال (أي 0.072 متراً). لقد قمنا باستخدام التطبيق ArcToolBox من ArcGIS الشكل (7)، من أجل إنجاز هذا الموزاييك (**الخليل, 2009**). وتطبيق البرنامج يتطلب ببساطة تحديد صور الدّخل (أي الصور المكوِّنة للموزاييك)، ويقوم عادةً بتخزين الموزاييك الناتج على أول صورة مُدخَلة. الصور التي أدخلناها هي صور الواجهة الثلاث المرجعة والمخزنة بالصيغة (tif)، وذلك لأن هذه الصيغة تعرّف الموقع الجغرافي الصحيح للصور. هنالك معاملات أخرى يجب تحديدها لتصنيع الموزاييك وهي اختيارية أي يمكن للمستخدم عدم تحديدها. هذه المعاملات خاصة بالبرنامج وبالنوعية الصورية للموزاييك ولا تؤثر في دقته الهندسية.



الشكل (7). واجهة تصنيع الموزاييك في البرنامج ArcToolBox.

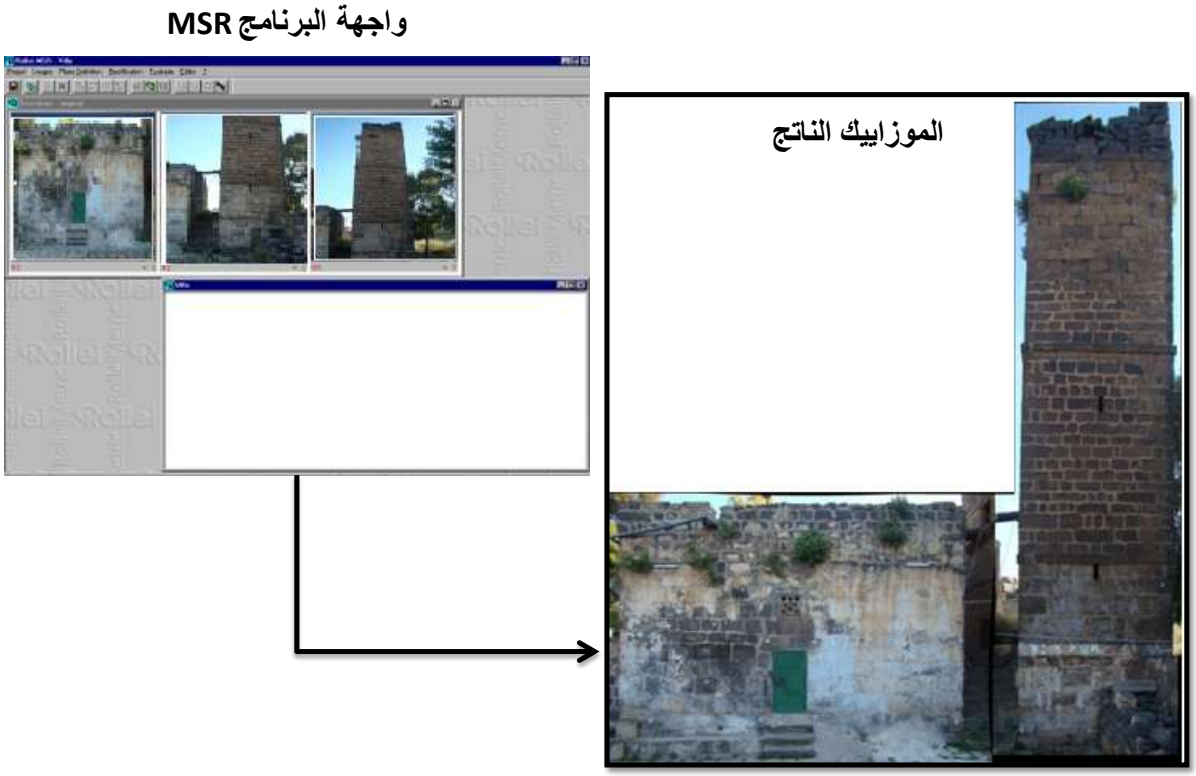
والشكل التالي (الشكل 8)، يبين الموزاييك الناتج:

الشكل (8). الموزاييك الرقمي الناتج عن استخدام ArcToolBox.

✓ إنجاز الموزاييك الرقمي باستخدام برنامج مسح تصويري متخصص

لقد تم إنجاز موازييك من الصور الثلاث (السابقة) نفسها، وذلك باستخدام البرنامج MSR أو Metric Single image Rectification المطور من قبل شركة Rollei. والمعاملات التي يحتاجها هذا البرنامج المتخصص كثيرة منها مثلاً، معطيات تتعلق بمعايرة آلة التصوير التي التقطت الصور. كما يملك هذا البرنامج واجهات صعبة يتطلب استخدامها متخصص في المساحة التصويرية. ولكن من المؤكد، علمياً، أن الدقة الهندسية والنوعية الصورية للموزاييك الناتج عن استخدام البرنامج MSR أفضل من تلك التي يتمتع بها الموزاييك الناتج من استخدام ArcToolBox. لقد

بلغ الخطأ المتوسط التربيع للموزاييك الناتج من استخدام MSR القيمة 0.038 متراً (وهي أفضل من 0.072 متراً). لقد اعتبرنا أن الدقة الكلية للموزاييك الناتج من استخدام ArcToolBox هي من نفس فئة أسوأ دقة إفرادية حصلنا عليها من تقويم الصور، وهي دقة الصورة الثالثة، وذلك لأن دقة هذا الموزاييك ستكون، في أحسن الأحوال، مساويةً لهذه الدقة). كما يمكن للقارئ أن يلاحظ النوعية الصورية الأفضل لهذا الموزاييك، الشكل (9). كما نلاحظ من الجدول (4)، الذي يوضح الانتقالات التي تعاني منها نقاط الضبط بعد حساب الموزاييك باستخدام البرنامج MSR، أن دقة هذا الموزاييك أفضل من دقة الموزاييك المحسوب باستخدام ArcToolBox. إن هذه النتيجة متوقعة وذلك لأن البرنامج MSR يعالج كل الأخطاء التي تعاني منها الإحداثيات الفوتوغرافية التي تعتبر مدخلاً أساسياً في حساب الموزاييك. والهدف الحقيقي لهذه المقارنة هو معرفة إلى أي حد يمكن الوثوق بالموزاييك المحسوب باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcToolBox أساساً لتوثيق الواجهات الممتدة. والنتيجة التي يمكن أن نخلص إليها هي أن الدقة الهندسية التي وصلنا إليها باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية، ArcGIS، تعتبر مقبولةً لأغراض توثيق هذا النوع من المنشآت، و ذلك نظراً لضخامة أبعادها الهندسية التي تجعل من الانتقالات النسبية للنقاط ذات تأثير قليل في نتائج التوثيق.



الشكل (9). الموزاييك الرقمي الناتج عن استخدام برنامج مسح تصويري متخصص(MSR).

الجدول (4). انزياحات نقاط الضبط في الموزاييك المحسوب باستخدام MSR

رقم النقطة	الانتقال (متر)
1	0.012
2	0.001

3	0.014
4	0.025
5	0.007
6	0.003
7	0.001
8	0.018
9	0.019
10	0.028
11	0.019
12	0.017
13	0.014
14	0.015
15	0.032
16	0.067
17	0.122
18	0.023
19	0.057

2- التوثيق الهندسي والوصفي باستخدام GIS

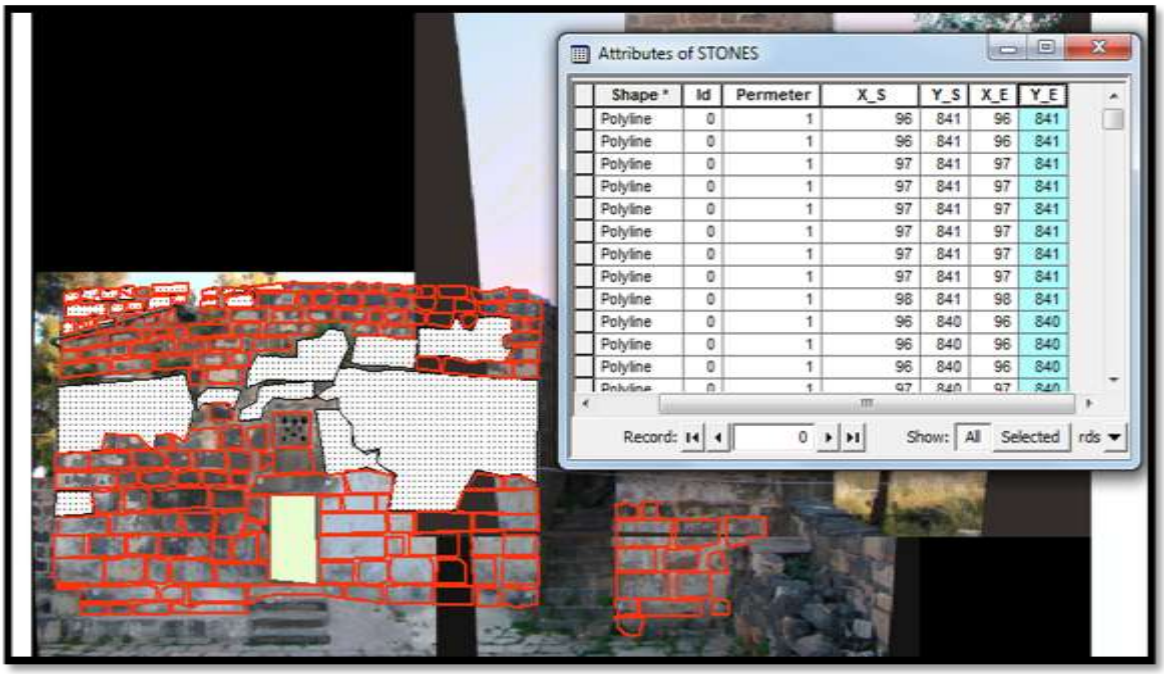
قمنا باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS بتعريف الطبقات Layers اللازمة لرقمنة السمات Features الموجودة في المشهد المصور وهي التالية:

1. السمة حجارة أو Stone التي تملك مواصفات يمكن تحديدها بالاتفاق مع القائمين على التوثيق. ولدينا في حالتنا المواصفات التالية: رقم الحجر، وهذه معلومة هامة عند الرغبة في عملية ترميم الواجهة بتقويضها ثم بنائها من جديد. وكذلك نوع الحجر، ونقصد به نوع المادة المكونة لهذا الحجر. كما يمكننا إضافة سماكة كل حجر مع إحداثيات زواياه وذلك لإعادة تركيبه في حال إزالته مؤقتاً. وأيضاً مساحة الحجر، محيط الحجر، ووضع الحجر من الناحية الإنشائية..الخ.

2. السمة مدخل أو Entrance وتتضمن مواصفات مثل: رقم الباب الموجود في الواجهة، ملاحظات يمكن أن تستخدم لتوصيف الباب، مساحة الباب، محيطه،...الخ.

3. سمات أخرى في المشهد المصور مثل:
   a. نقاط الضبط.
   b. الأجزاء المخرّبة من الواجهة.
   c. الصورة نفسها.

باستخدامنا للملفات (الطبقات) المعرفة سابقاً, يمكن البدء بعملية الرقمنة على الواجهة وذلك لربط كل سمة مع الطبقة الرسومية الخاصة بها، أنظر الشكل (10). وهذا يعطي غنى كبيراً للتوثيق مقارنةً بالنظام CAD الذي يهتم بالتوثيق الهندسي دون المواصفات. يتم الرفع باستخدام الرقمنة المباشرة على الصورة المقومة باستخدام تقنية الـ Heads up. وهذه العملية تفاعلية مع الصورة وسُمِّي هذا الأسلوب بهذا الاسم لأن انتباه المستخدم مركَّز على الشاشة خلال عملية الرقمنة. يمكن استخدام هذه التقنية لتتبع سمات الصورة المقومة لإنشاء طبقات جديدة، الأمر الذي يسمح بالتعامل مع المعطيات بصورة مستقلَّة بعضها عن بعض، أي كل منها كائن مستقل Object. وهي مشابهة للرَّقمنة اليدوية ولكنها تتم على شاشة الحاسوب، وهي تتميَّز بالدقة والسرعة. لإنجاز التوثيق بالرقمنة، نقوم بإعداد طبقات تناسب السمات المتوفرة في الواجهة وهي: طبقة الصورة Image، طبقة الحجارة Stone، طبقة المدخل Entrance، طبقة نقاط الضبط Tics وطبقة الملاط Between stone.



الشكل (10). التوثيق الهندسي للواجهة بالرقمنة على الموزاييك و التوثيق الوصفي باستخدام جداول المواصفات.

الاستنتاجات والتوصيات:

تتوفر في السوق آلات تصوير رقمية ذات دقة تمييز هندسية مناسبة لأغراض توثيق المنشآت الأثرية، وهي سهلة الاستخدام ولا تتطلب الكثير من الخبرة. فمجموعة القواعد التي يجب تطبيقها خلال التقاط الصور اللازمة للتوثيق ثنائي البعد هي قواعد سهلة يمكن تحقيقها من قبل غير المختصين.

من الصحيح أن إنجاز موزاييك رقمي من عدة صور متداخلة لواجهة أثرية مستوية باستخدام برامج المسح التصويري المتخصصة، هو الأدق من الناحية الهندسية، ولكنه يظل صعباً و يتطلب الكثير من الخبرة (**STREILEIN, et *al*, 1999**). من ناحية أخرى، يمكن إنتاج هذا الموزاييك باستخدام بعض التطبيقات المتوفرة مع بعض برامج معالجة الصور التجارية ومع برامج نظم المعلومات الجغرافية واسعة الانتشار وبدقة مقبولة لأعمال توثيق الواجهة الضخمة. وهذه الأخيرة لا تؤمن التوثيق الهندسي فقط وإنما أيضاً توثق مواصفات العناصر.

إن استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، في التوثيق، يعتبر متقدماً من ناحية توثيقه للمعلومات الدلالية (مواصفات) إضافة للمعلومات الهندسية. وهذا ما يزيد من غنى التوثيق (**DURAN, and TOZ, 2002**). وبالتالي، يمثل التوثيق للواجهات المستوية الضخمة باستخدام GIS حلاً مقبولاً عند توثيق الواجهات الأثرية.

المراجع:

1. الخليل, عمر .2009. *نظم المعلومات الجغرافية باستخدام البرمجية ArcGIS*. منشورات دار التواصل العربي – دمشق و مؤسسة الوراق– عمان –الأردن. 2009.
2. Al KHALIL, O., GRUSSENMEYER, P. 2002 - *Modélisation mono-image en photogrammétrie,* Revue de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection. ISSN 02446014 France, 2002.
3. DURAN, Z., TOZ, G. - *Integration of GIS for Cultural Heritage Documentation*, XXX IAHS World Congress on Housing, Housing Construction, An Interdisciplinary Task, September 9-13, Portekiz, Vol.I, 2002 p.597-605.
4. HEMMLEB, M., WIEDEMANN, A., 1997. *Digital rectification of orthoimages in architectural photogrammetry*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(5C1B), CIPA Symposium, Göteborg, 1997 pp. 261-267.
5. STREILEIN, A., GRUSSENMEYER, P., HANKE, K. 1999. *Zurich city hall- a reference data set for digital close-range photogrammetry*. XVII CIPA International Symposium, October 3-6, 1999. Onlinda, Brazil, CIPA Archives.
6. WOLF, P.R., DEWITT, B.A. 2000. *Elements of photogrammetry, with applications in GIS*. McGraw-Hill.