

تقييم تأثير دقة التمييز الهندسية للصور على نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد في المساحة التصويرية القريبة المؤتمتة

الدكتور عمر محمد الخليل *

الدكتور إياد إسماعيل فحصة **

(تاريخ الإيداع 9 / 5 / 2018. قُبِلَ للنشر في 25 / 7 / 2018)

□ ملخص □

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو دراسة تأثير دقة التمييز الهندسية للصور فقط على النوعية الهندسية للنموذج ثلاثي الأبعاد المحسوب منها. تم في هذا البحث تثبيت كل العناصر التي تؤثر على نوعية النموذج وتغيير دقة التمييز فقط للصور المستخدمة.

يعتبر عدد الصور الملتقطة للعنصر، عدد نقاط الضبط وتوزعها ودقتها، آلة التصوير المستخدمة وكونها معايرة أم لا، من أهم العوامل المؤثرة على عملية النمذجة. لتحديد تأثير العوامل الداخلية لآلة التصوير المستخدمة في التقاط الصور، قمنا بعملية معايرة لهذه الآلة، كما حرصنا على التخطيط المسبق لعملية التصوير وذلك لتفادي المشاكل الناتجة عن نقص أو زيادة عدد الصور والتي تؤثر بشكل مباشر على نوعية النموذج وكما ليته. ومن ناحية أخرى، تم استخدام معطيات ضبط دقيقة تم الحصول عليها من أعمال مساحية دقيقة (شبكة جيوديزية أفقية وشبكة تسوية). في هذه الدراسة سنختبر تأثير دقة تمييز الصور فقط على توليد غمامة كثيفة من النقاط بتطبيق طريقة البنية انطلاقاً من الحركة (Structure from Motion (SfM واستنتاج النموذج السطوح منها والصورة المصححة عامودياً لواجهة من واجهات منشأ في جامعة تشرين.

الكلمات المفتاحية: دقة التمييز الهندسية، معايرة، خطة تصوير، نموذج ثلاثي الأبعاد، صورة مصححة عامودياً.

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

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

Evaluation of the effect of images' geometric resolution on the 3D model quality in automated close-range photogrammetry

Dr. Omar AL KHALIL*
Dr. Iyad FAHSA**

(Received 9 / 5 / 2018. Accepted 25 / 7 / 2018)

□ ABSTRACT □

The main objective of this research is to study the effect of the accuracy of images' geometric resolution only on the geometric quality of the resulted three-dimensional model. In this research, all factors that affect the quality of the model are fixed and the geometric resolution is changed only for the used images.

The number of captured images, the number and the distribution and the accuracy of control points, the camera being used and whether or not it is calibrated, are among the most important factors influencing the modeling process. In order to neutralize the effect of the inner parameters of the used camera, a process of calibration was achieved. On the other hand, we have pre-planned the process of photography to avoid problems resulting from the lack or increase the number of images, that directly affect the quality and completeness of the model. In addition, accurate control data obtained from precise survey work (horizontal geodetic network and leveling network) was applied.

In this study, we examined the effect of image resolution on the generation of a dense cloud of points by applying the Structure from Motion (SfM) and deducing the surface model and the orthophoto of a facade of a building at Tishreen University.

Key words: Geometric Resolution, Calibration, Photography Plan, 3D Model, Orthophoto.

* 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

مع تطور الأبحاث في مجال الرؤية بمعونة الحاسب، ظهرت طريقة البنية انطلاقاً من الحركة Structure from Motion (SfM) من أجل التوليد الآلي للنماذج ثلاثية الأبعاد للعناصر انطلاقاً من الصور المتعددة التي تغطي هذه العناصر بطريقة آلية [1]. وفي هذه الطريقة، يتم أولاً توجيه الصور ثم اقتطاع غمامة كثيفة من النقاط ثلاثية الأبعاد Points Clouds التي تمثل العنصر المصور ومن ثم تستخدم هذه الغمامة في بناء نموذج العنصر. هذا، ويمكن مقارنة غمامات النقاط المقطعة والنماذج الرقمية للسطوح Digital Surface Models (DSMs) الناتجة عن هذه الطريقة، بتلك التي تنتجها المساحات الليزرية الجوية والأرضية وذلك بالنظر إلى نوعية البيانات والكثافة المحققة [2]. أما الميزة الكبرى لهذه الطريقة، فهو الأسلوب البسيط في المعالجة وإمكانية الحصول على غمامات النقاط دون الحاجة إلى المعرفة المسبقة لمعاملات معايرة آلة التصوير أو لموقعها وتوجيهها. ولكن عند تطبيق هذه الطريقة، توجد الكثير من العوامل التي تؤثر على نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد الناتج نذكر منها:

1. عدد الصور الملتقطة.
2. عدد نقاط الضبط وتوزيعها ودقتها.
3. عدد قياسات نقاط الضبط على الصور.
4. آلة التصوير المستخدمة وكونها معايرة أم لا.
5. دقة التمييز الهندسية Geometric Resolution للصور المستخدمة في النمذجة.
6. نسب التداخلين الطولي والعرضي للصور المستخدمة.

تعتبر دقة نقاط الضبط اللازمة لتوجيه الصور ومعاملات المعايرة لآلة التصوير المستخدمة عاملين مهمين في تحديد نوعية النموذج وكما يليه [3]. كما يعتبر تحديد عدد الصور اللازمة للنمذجة مشكلة حقيقية وذلك لأنه في حال كون هذه الصور غير كافية فإننا سنحصل على نموذج غير مكتمل وفي حال كون عدد هذه الصور أكثر من اللازم فإنها ستسبب زيادة كبيرة في الزمن اللازم للمعالجة [4].

إن الإشكالية التي يحاول بحثنا معالجتها هي دراسة تأثير دقة التمييز الهندسية فقط على نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد وذلك على افتراض أن باقي العوامل ثابتة من أجل نفس النموذج. كما سنحاول في هذا البحث إعطاء بعض الأفكار التي تخص التخطيط لعملية التقاط الصور الأرضية اللازمة للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد كامل. سنناقش هنا تعميم الطريقة المتبعة في التخطيط للتصوير الجوي على حالة التصوير الأرضي.

العنصر الذي سنسعى على نمذجته هو الواجهة الشرقية لمركز الشهيد باسل الأسد للحاسبات الالكترونية في جامعة تشرين. صور هذه الواجهة تم التقاطها باستخدام آلة تصوير مرفقة مع هاتف نقال وذلك باستخدام ثلاثة أشكال من دقة التمييز الهندسية هي:

1. دقة تمييز مرتفعة، وهي تمثل أكبر دقة تمييز يمكن للهاتف النقال المستخدم أن يؤمنها (8 megapixels) في بحثنا).
2. دقة تمييز متوسطة، وهي تمثل ربع قيمة دقة التمييز المرتفعة.
3. دقة تمييز منخفضة، وهي تمثل ثمن قيمة دقة التمييز المرتفعة.

وتمت معالجة الصور باستخدام نظام مسح تصويري مؤتمت مع استخدام نفس العدد من الصور ونقاط الضبط ونفس محطات التصوير ونفس نتائج المعايرة لآلة التصوير.

أهمية البحث وأهدافه

- تكمن أهمية هذا البحث في مناقشة تأثير دقة التمييز الهندسية للصور على النوعية الهندسية للنموذج ثلاثي الأبعاد المحسوب منها وذلك بفرض ثبات كل المؤثرات الأخرى. وبشكل عام يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط التالية:
1. عرض مختصر للاعتبارات والتوصيات التي يجب تطبيقها عند القيام بالنمذجة المترية ثلاثية الأبعاد للعناصر انطلاقاً من صورها بتطبيق أسس المسح التصويري القريب المؤتمت.
 2. توضيح لكيفية تعميم التخطيط للتصوير الجوي على حالة العناصر الأرضية وذلك لتحديد المتغيرات التي تؤمن الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد كامل ودقيق.
 3. دراسة تأثير تغير دقة التمييز الهندسية فقط للصور الداخلة في النمذجة على نوعية توجيه الصور، غماتم النقاط ثلاثية الأبعاد المعبرة عن العنصر المنمذج، وعلى نوعية النموذج السطحي والصورة المصححة عامودياً (الأورتوفوتو Orthophoto) النهائيين لهذا العنصر.

طرائق البحث ومواده

1- العنصر المنمذج

العنصر الذي نسعى لنمذجته هو الواجهة الشرقية (الشكل (1)) لمركز الشهيد المهندس باسل الأسد للحاسبات الالكترونية في جامعة تشرين في اللاذقية، وهذا المركز هو عبارة عن بناء مربع بطول حوالي 25 متراً تقريباً لكل واجهة ويتألف من طابق واحد.

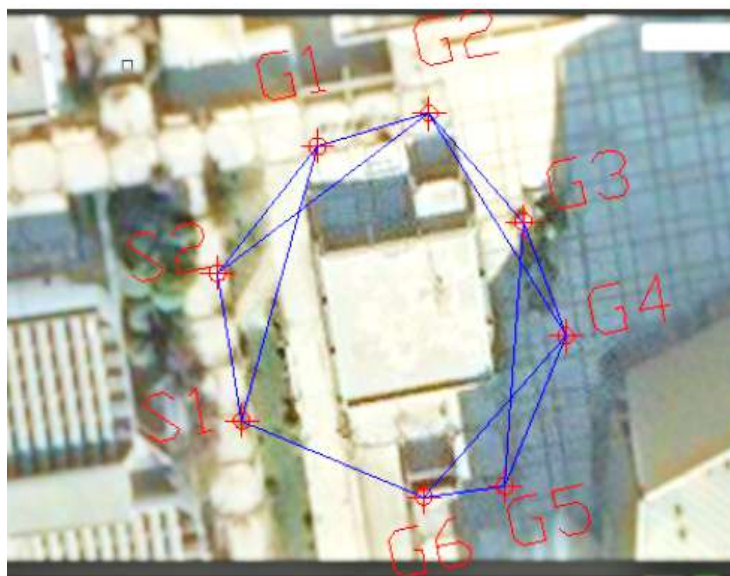
اتبعنا في بحثنا استراتيجية جديدة لالتقاط الصور تختلف عما هو متبع عادةً في مشاريع المساحة التصويرية القريبة التقليدية، حيث اقترحنا فكرة لتصميم خطة تصوير بهدف الحصول على عدد الصور المطلوب دون أخذ أعداد كبيرة وعشوائية من الصور التي تسبب زيادة في وقت التصوير والمعالجة. لتصميم هذه الخطة قمنا بتحويل خارطة الطيران المستخدمة في عملية التصوير الجوي واستخدامها في مشروعنا أي المساحة التصويرية القريبة حيث تم اتباع نفس الخطوات المتبعة في تصميم خطة الطيران. لقد قمنا بتحديد المعطيات اللازمة لتصميم هذه الخطة بالاعتماد على تقرير المعايرة لآلة التصوير Calibration Report للحصول كل من البعد المحرقى وأبعاد الصورة (التي نحسب منها أبعاد المشهد المغطى بالصور). كما أخذنا بعين الاعتبار أن مسافة التراجع الأفقية (المسافة الفاصلة بين آلة التصوير والعنصر المصور) قد حلت مكان ارتفاع الطيران الشاقولي، ولأن الواجهة التي سنقوم بنمذجتها مكونة من طابق واحد، فلن تكون هناك حاجة لأكثر من شريط تصوير واحد.



الشكل (1). الواجهة الشرقية لمركز الشهيد باسل الأسد للحاسبات الالكترونية.

2- الحصول على البيانات

تضم البيانات اللازمة للنمذجة المترية ثلاثية الأبعاد بيانات الضبط Control Data والصور. فيما يخص بيانات الضبط، فهي تأخذ شكل نقاط أساس مساحي ونقاط ضبط موزعة على مختلف أقسام الواجهة. هذه النقاط ضرورية لتوجيه الصور (حساب مواقع وتوجيهات الصور)، وقد تم الحصول على إحداثياتها (الأفقية والشاقولية) بالطرق الجيوديزية التقليدية. في الواقع، تعد عملية اختيار شكل شبكة الاستناد المساحية من الأعمال المهمة لما لها من تأثير على مختلف الأعمال اللاحقة، من ناحية دقة العمل وكلفته، وهنا توصي المعايير الهندسية بأن على هذه الشبكة تحقيق المعايير المتبعة في تصميم الشبكات الجيوديزية التقليدية، وأن تكون محليةً وذلك لتجاوز مشاكل الشبكة العامة. قمنا في بحثنا بتأسيس شبكة استناد مساحية مكونة من 8 نقاط مرجعية (الشكل (2))

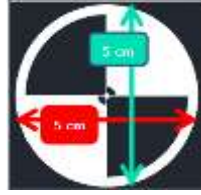


الشكل (2). شبكة نقاط الأساس المساحي.

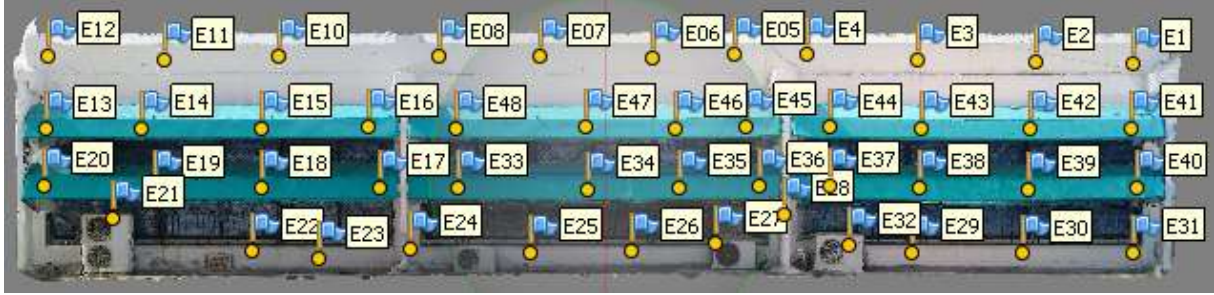
لتحقيق التوصيات الهندسية الخاصة بمعطيات الضبط الخارجي، قمنا باختبار تقريبي لبنية الشبكة قبل اعتمادها كشبكة استناد مساحي والتأكد من أنها تحقق الاشتراطات المعمول بها في بناء الشبكات الجيوديزية. في هذه الحالة، قمنا بحساب المؤشر F والذي يساوي النسبة بين عدد القياسات المنفذة n وعدد القياسات الضرورية لتعيين نقاط الشبكة u ومن ثم مقارنة قيمته مع القيم المسموحة المحددة ضمن فرضية التصميم.

فيما يتعلق بنقاط الضبط على الواجهة، فقد قمنا باستخدام نقاط ضبط صناعية حيث راعينا عند اختيار شكل وابعاد هذه النقاط وضوحها في الصور وعدم تغطيتها لأجزاء كبيرة من الواجهة وأن تحقق شرط رؤية كل واحدة منها من نقطتين من نقاط شبكة الاستناد على الأقل. في الواقع، يتبع شكل وابعاد نقاط الضبط لنوع المنشأ ولدقة التمييز لآلة التصوير المستخدمة وكذلك مسافة التراجع عن المنشأ والتي تلتقط عندها الصور. وبعد عدة تجارب قررنا اختيار أبعاد النقطة بحيث تكون (5 x 5 cm) كما هو موضح في الشكل (3).

لقد تم تحديد عدد نقاط الضبط على الواجهة وتوزيعها بتطبيق معايير التثليث الصوري، وهنا قمنا بتأمين وجود 6 نقاط ضبط (مع أن العدد الأصغري المطلوب هو ثلاث نقاط) وسطياً في مناطق تداخل الصور بحيث تكون موزعة بشكل طولاني موحد ضمن هذه المناطق (الشكل (4)). بلغ عدد نقاط الضبط 47 نقطة. إن توفر هذا العدد الكبير من نقاط الضبط سيمكننا لاحقاً من استخدام بعضها كنقاط اختبار للحكم على نوعية التوجيه الخارجي للصور.



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



الشكل (4). توزع نقاط الضبط على الواجهة.

فيما يخص الصور الخاصة بالواجهة، فقد تم التقاطها باستخدام آلة تصوير رقمية مرفقة مع الهاتف النقال Galaxy Grand Prime Plus والتي تبلغ دقة تمييزها العظمى 8 megapixels لقد تمت معايرة آلة التصوير هذه قبل عملية التصوير للتأكد من ثبات عناصر توجيهها الداخلي.

3- البرامج المستخدمة

1. البرنامج Network Adjustment وهو برنامج مساحي تمت برمجته باستخدام لغة Microsoft Visual basic 10 . يقوم البرنامج بشكل رئيسي بتعديل الشبكات المساحية الأفقية بالطريقة البارامتريّة بإمكانية متميزة ويخرج نتائج التعديل بالشكل المتكامل اللازم بمنتهى السهولة والفعالية والبساطة في التعامل.
2. البرنامج PhotoModeler Pro.6 والذي يستند على أسلوب المساحة التصويرية في المعايرة. هذا البرنامج مطور من قبل الشركة الكندية EosSystems يعمل بنظام Windows. يستخدم هذا البرنامج مفهوم المشروع والذي يقوم على المعطيات التالية: الصور، جهاز التصوير المستخدم في الحصول على الصور والقياسات على الصور. يمكن هذا البرنامج من الحصول على معطيات ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من صورة واحدة أو من عدة صور. كما يمكن، وبشكل آلي، من معايرة جهاز التصوير المستخدم للحصول على مواصفاته الهندسية الداخلية الدقيقة [5]. حيث يمكن، في هذه الحالة، حساب البعد المحرقي للجهاز المستخدم والنقطة الرئيسية للصورة وتشوهات المصفوفة CCD وتزيّجات العدسة.
3. البرنامج Agisoft PhotoScan : وهو المستخدم في توجيه الصور والاقتران الآلي للنقاط منها على شكل غمامة كثيفة ومن ثم تحويلها إلى نموذج سطحي وتوليد الصورة المرجعة عامودياً. يعتبر البرنامج Agisoft PhotoScan أداةً للنمذجة ثلاثية الأبعاد، وهو يستخدم أحدث تقنيات البناء ثلاثي الأبعاد من الصور المتعددة-Multi-view المطورة في مجال الرؤية بمعونة الحاسب. كما يمكن من توجيه الصور الملتقطة من أية مواقع مع مراعاة تحقيقها لشرط وقوع أي نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل [6].

النتائج والمناقشة

أولاً: معايرة آلة التصوير المستخدمة

بما أننا لا نملك أية معلومات عن معاملات التوجيه الداخلي (البعد المحرقي، إحداثيات النقطة الرئيسية وتزيغات العدسة) ولأن لهذه المعاملات تأثيراً مباشراً على نوعية النموذج المحسوب من الصور، فقد قمنا بعملية معايرة لآلة التصوير وذلك لتحديد هذه المعاملات. لقد قررنا القيام بأكثر من معايرة لهذه الآلة وذلك للتأكد من استقرار قيم معاملات التوجيه الداخلي لها. لإنجاز هذه المعايرة، قمنا باستخدام البرنامج PhotoModeler 6.0، حيث أجرينا المعايرة لمرتين منفصلتين باستخدام نفس لوحة المعايرة وبشروط التقاط مختلفة للصور، فصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (2):

جدول (2). مقارنة نتائج المعايرة لآلة التصوير المستخدمة.

آلة التصوير	المعامل	المعايرة الأولى	المعايرة الثانية	الفرق
آلة تصوير الهانف النقال Galaxy Grand Prime Plus	البعد المحرقي	3.600404 mm	3.576780 mm	0.02342 mm
	Xp	1.832280 mm	1.864133 mm	-0.028553 mm
	Yp	1.455685 mm	1.454186 mm	0.001499 mm
	K1	-8.155 E-003	-8.207 E-003	0.000052
	K2	1.663 E-003	1507 E-003	0.000156
الخطأ متوسط التربيع على قياس النقاط		0.211 pixels	0.285 pixels	

نلاحظ من الجدول السابق وجود استقرار كبير في قيم معاملات التوجيه الداخلي المحسوبة من عمليتي المعايرة.

ثانياً: حساب الإحداثيات الأفقية والشاقولية لنقاط الأساس المساحي ونقاط الضبط على الواجهة

تم إجراء القياسات الحقلية المساحية (الاتجاهات والمسافات) للشبكة باستخدام الجهاز Total Station Leica T509، بدقة 3^{cc} للاتجاه الواحد، و 2 mm للمسافة الواحدة. أما الجهاز الذي تم استخدامه في قياس فروق الارتفاعات فهو جهاز النيفو Topcon DL102. وبعد القيام بإجراء قياسات الاتجاهات والمسافات بين نقاط الشبكة والانتهاؤ منها، قمنا بتعديل الشبكة باستخدام برنامج Network Adjustment، وذلك لحساب إحداثياتها الأفقية في جملة إحداثيات محلية. ونشير إلى أن الخطأ متوسط التربيع على وحدة الوزن في حساب الإحداثيات الأفقية لنقاط الأساس المساحي قد بلغ 0.0017 m.

أما فيما يخص تحديد مناسيب نقاط شبكة الاستناد المساحي، فتتص التوصيات الهندسية الخاصة بتحديد مناسيب نقاط الشبكة بطريقة التسوية المباشرة، في حال توفر إمكانية ذلك، وذلك لضمان أكبر دقة ممكنة. قررنا هنا أن نستخدم شبكة

تسوية محلية ثم قمنا بإنشاء مضع تسوية مغلق. ونشير هنا إلى أن الخطأ متوسط التربيع على حساب المناسيب قد بلغ 0.004 m.

يبين الجدول (1)، الإحداثيات الأفقية لنقاط الشبكة ومناسيبها بالنسبة لجملة إحداثيات محلية مفترضة.

جدول (1). الإحداثيات النهائية ثلاثية الأبعاد لنقاط الأساس المساحي.

النقطة	X(m)	Y(m)	Z(m)
S1	100.000	100.000	100.000
S2	122.096	100.000	100.1893
G1	144.055	78.618	97.5704
G2	145.399	61.087	97.5169
G3	122.366	51.965	98.1185
G4	103.436	46.227	97.6235
G5	83.811	61.736	97.578
G6	84.986	73.510	97.5742

تم استخدام نقاط الشبكة المرجعية في حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لنقاط الضبط على جسم الواجهة، في الواقع، هذا النوع من النقاط ضروري لتوجيه الصور Image Orientation ولإنجاز التوثيق المترى ثلاثي الأبعاد للواجهة والحكم على نوعيته الهندسية. بما أنه لم تتوفر لدينا في الموقع كافة الشروط اللازمة لتحديد إحداثيات نقاط الضبط هذه بالتقاطع الفراغي (اعتبارها جزء من الشبكة الأساسية) فقد تم التعامل مع نقاط الضبط المزروعة على الواجهة كما يتم التعامل مع نقاط الرفع التفصيلي أي أننا حسبنا إحداثياتها بالطريقة المباشرة (زاوية ومسافة وفرق ارتفاع). وبما أنه يمكن رؤية كل من هذه النقاط من نقطتي أساس على الأقل، فقد تم اعتماد القيم المتوسطة لهذه الإحداثيات

ثالثاً: التخطيط لتصوير الواجهة

لقد قمنا بتصميم خطة تصوير اعتماداً على مبادئ التخطيط للتصوير الجوي، حيث قمنا بتطبيق هذه الخطة على العناصر الأرضية (الواجهة)، وقمنا بالاعتماد على تقرير المعايرة لآلة التصوير لحساب كل من البعد المحرقى وأبعاد المشهد حيث أخذنا بعين الاعتبار أن مسافة التراجع الأفقية حلت مكان ارتفاع الطيران الشاقولي. حاولنا قدر الإمكان الحفاظ على مسافة تراجع ثابتة بالنسبة للواجهة مع فارق بسيط يعود إلى طبيعة المحيط الخارجي لكل واجهة (عوائق طبيعية أو صناعية).

اعتمدنا على التسلسل التالي في حساب عناصر خطة التصوير للواجهة:

1. البعد المحرقى f وأبعاد الصورة (w, h) ونحصل عليها من تقرير المعايرة.
 2. نعتمد مسافة تراجع d من خلالها نحسب مقياس الصورة من القانون $S = \frac{f}{d}$.
 3. بعد ذلك نحسب أبعاد المشهد الحقيقية من خلال تطبيق العلاقتين التاليتين:
- a. $G = w * \frac{1}{S}$ وهو العرض الحقيقي الذي تغطيه الصورة في العنصر.
 - b. $H = h * \frac{1}{S}$ وهو الطول الحقيقي الذي تغطيه الصورة في العنصر.

4. نحسب القاعدة الأرضية (التباعد بين محطتي تصوير) باعتبار نسبة التداخل الطولي هي PE ، من خلال تطبيق العلاقة التالية:

$$B = \left(\frac{100-PE}{100} \right) * G \quad (1)$$

5. نحسب التباعد بين أشرطة التصوير باعتبار نسبة التداخل العرضي هي PS من خلال تطبيق العلاقة التالية:

$$W = \left(\frac{100-PS}{100} \right) * G \quad (2)$$

6. نحسب عدد الصور في شريط تصوير واحد من خلال العلاقة التالية:

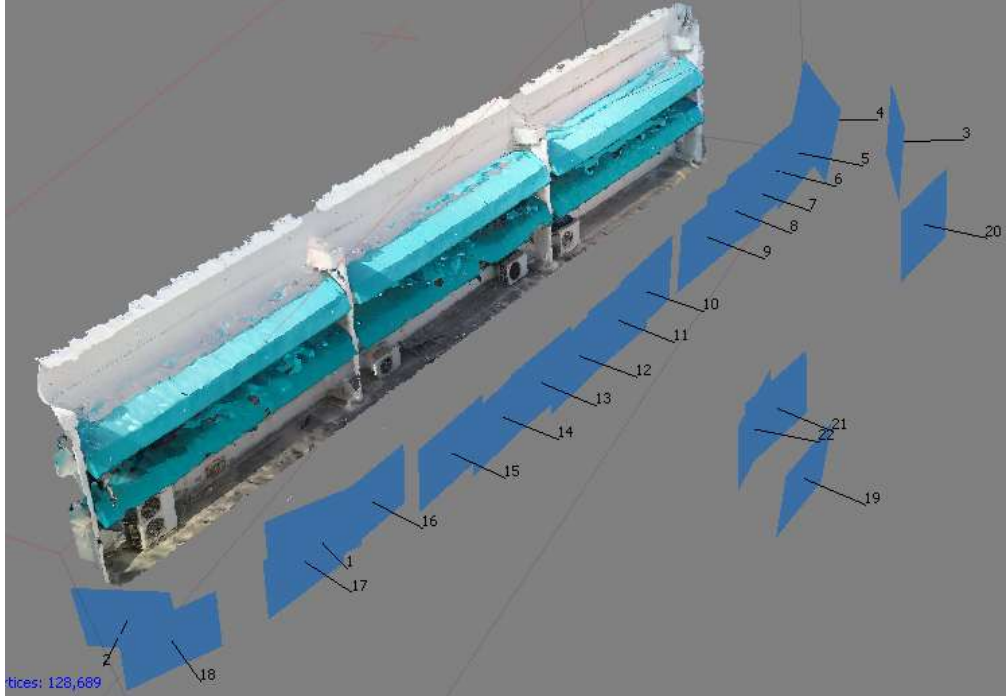
$$N = 2 + \frac{B}{L} + 2 \quad (3)$$

من تقرير المعايرة نجد أن البعد المحرقى هو $f=3.5768$ mm، عرض الصورة $w=3.8400$ mm وارتفاع الصورة $h=2.8742$ mm. وبما أن قيمة مسافة التراجع الوسطية بالنسبة للواجهة الشرقية تبلغ $d = 6$ m، وبفرض أن نسب التداخل الطولي والعرضي هي كالتالي: $PE = 80\%$ ، $PS = 40\%$ ، نجد القيم التالية الخاصة بخطة التصوير للواجهة الشرقية والموضحة في الجدول (3):

جدول (3). عناصر خطة تصوير الواجهة الشرقية.

22	N عدد الصور
1.287	قاعدة التصوير B (m)
6.437	البعد بين شريطي طيران W (m)

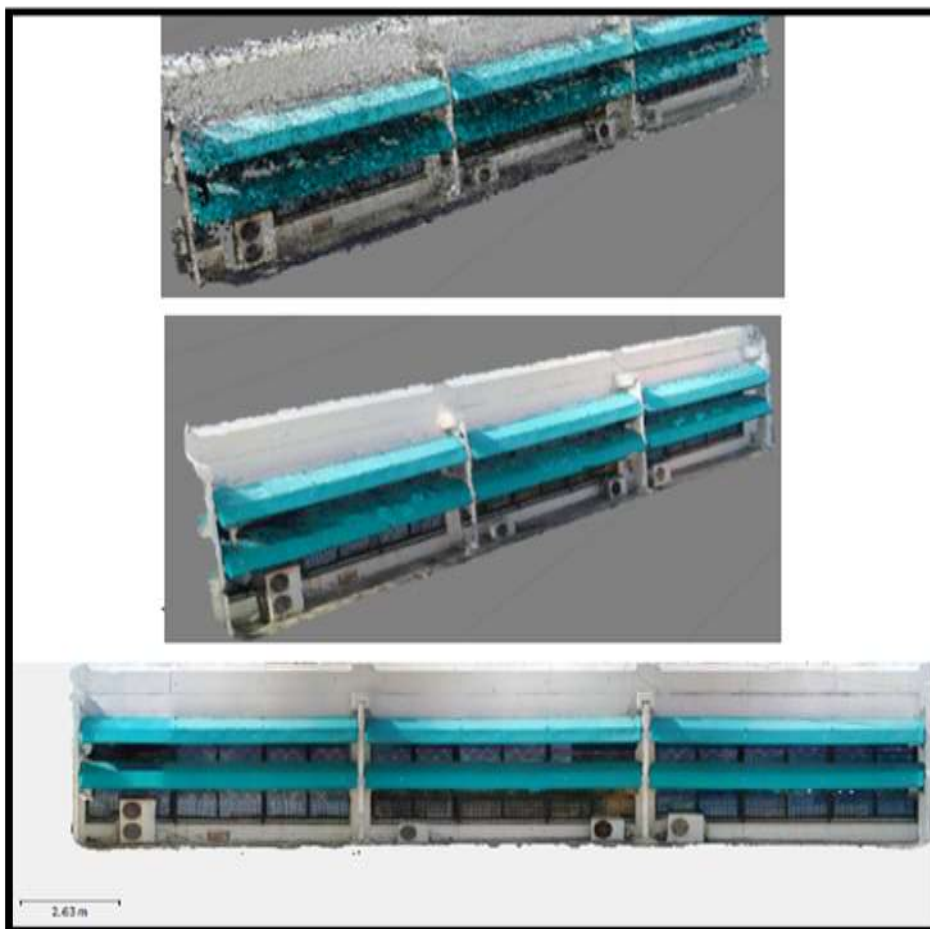
وبما أن ارتفاع الواجهة أقل من W ، فشريط تصوير واحد يكفي. عند التقاط الصور، حاولنا أن نضمن تطبيق القاعدة التي تقول: أنه من وقفة تصوير واحدة يجب تغطية كامل ارتفاع العنصر. في حالتنا عند تصوير الواجهة قمنا بالتقاط صورة واحدة من وقفة واحدة والتي كانت كفيلاً بتغطية كامل ارتفاع العنصر المرغوب تصويره [7]. كما قمنا بإضافة لقطات متعامدة للواجهة وذلك لأغراض الإرجاع وتصنيع الموزاييك السوري في حالة الحاجة إلى هذا النوع من المنتجات.



الشكل (5). مواقع الصور المتوفرة للواجهة.

رابعاً: حساب النموذج ثلاثي الأبعاد للواجهة

تم في هذه المرحلة قياس كل نقاط الضبط المتوفرة على الصور وتوجيهها بالاستعانة بالبرنامج Agisoft PhotoScan وذلك لتحديد مواقع وتوجيه آلة التصوير وحساب النموذج ثلاثي الأبعاد للواجهة. ولكن كما أشرنا سابقاً، فإن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير دقة التمييز الهندسية للصور فقط على دقة النموذج مع الحفاظ على كل العوامل الأخرى التي تؤثر على النمذجة ثلاثية الأبعاد ثابتة. ومن هنا، تم أولاً استخدام الصور بدقة تمييزها العظمى (أي 8 megapixels حيث أبعاد البكسل 1.13×1.13 ميكرون) من أجل حساب غمامة النقاط الكثيفة والنموذجين السطحي والحقيقي وكذلك الأورتوفوتو (الصور المصححة عامودياً) (الشكل (6)).



الشكل (6). غمامة النقاط الكثيفة، النموذج السوري والأورتوفوتو للواجهة الشرقية.

تم بعد ذلك تنفيذ نفس الخطوة السابقة ولكن مع تغيير دقة تمييز الصور المستخدمة في النمذجة وفق الحالتين التاليتين:

1. في الحالة الأولى اعتمدنا ربع قيمة دقة التمييز العظمى (أي 2 megapixels حيث أبعاد البكسل 2.26×2.26 ميكرون).

2. في الحالة الثانية اعتمدنا ثمن قيمة دقة التمييز العظمى (أي 0.499 megapixels حيث أبعاد البكسل 4.52×4.52 ميكرون).

نشير إلى أن هذه الصور التقطت من نفس مواقع الصور السابقة وضمن شروط الإضاءة نفسها وتشكيل الصور نفسه وباستخدام بنفس البعد المحرقى وكذلك ثبتنا عدد نقاط الضبط واعتمدنا نفس التوزيع المعتمد في الحالة السابقة. نجد في الجدول (4)، توضيحاً لتأثير تغيير دقة التمييز على عدد نقاط الغمامة الكثيفة، عدد وجوه النموذج الشبكي ثلاثي الأبعاد وعلى قيمة الخطأ المتوسط التربيع على نقاط الضبط وكذلك على دقة تمييز الأورتوفوتو. فيما يخص الخطأ المتوسط التربيع على نقاط الضبط فقد استخدمنا مفهوم نقاط التحقق Check points والتي بلغ عددها 47 نقطة موزعة على كامل الغمامة لحسابه. في الواقع، هذه النقاط هي نفسها نقاط الضبط المستخدمة في توجيه الصور والتي يمكن لنا أن نحولها إلى نقاط تحقق ونعيد حساب إحداثياتها بعد حساب معاملات التوجيه الخارجي (موقع وتوجيه آلة التصوير) لكل الصور.

جدول (4). مقارنة نتائج الحساب الناتجة عن تأثير تغيير دقة تمييز الصور.

دقة تمييز الأورتوفوتو (mm)	عدد وجوه النموذج السطوحى	عدد نقاط الغمامة الكثيفة	الخطأ متوسط التوزيع الكلي على نقاط الضبط (mm)	عدد نقاط الضبط	عدد الصور	دقة التمييز (أبعاد البكسل بالميكرون)	نوع دقة التمييز
2.54 mm/pixel	302485	2413003	8.2	47	22	1.13 x 1.13	مرتفعة
5.11 mm/pixel	24336	1345383	12.6	47	22	2.26 x 2.26	متوسطة
10.3 mm/pixel	16272	326942	16.0	47	22	4.52x 4.52	منخفضة

نلاحظ من الجدول السابق مايلي:

1. تعتبر قيم الأخطاء متوسط التوزيع σ_{xyz} في حالتى دقة التمييز المرتفعة والمتوسطة، مقبولةً وذلك لأنها تحقق العلاقة التالية:

$$\sigma_{xyz} < (2.5 - 3)\sigma_{xyz(Network)} \quad (4)$$

حيث: $\sigma_{xyz(Network)}$ هو الخطأ المتوسط التوزيع على شبكة الأساس المساحى الأفقية والشاقولية وهي:

$$\sigma_{xyz(Network)} = \sqrt{(0.0017 + 0.004)} = 0.0043m$$

أما في حالة دقة التمييز المنخفضة فهي غير مقبولة.

2. انخفضت الدقة الهندسية للنموذج بنسبة 31% تقريباً بالنسبة للدقة الهندسية الموافقة لدقة التمييز العظمى

للصور، وهو تغير ذو تأثير مهم في التطبيقات الدقيقة كالتطبيقات الصناعية.

3. الدقة الهندسية للأورتوفوتو الناتج فنلاحظ أفضل بمرتين في حالة دقة التمييز العظمى بالنسبة لدقة التمييز

المتوسطة وأفضل بأربع مرات بالنسبة لحالة دقة التمييز المنخفضة.

4. نلاحظ انخفاض كبير في عدد نقاط الغمامة الكثيفة إلى من حالة إلى أخرى وهذا ينطبق أيضاً على عدد

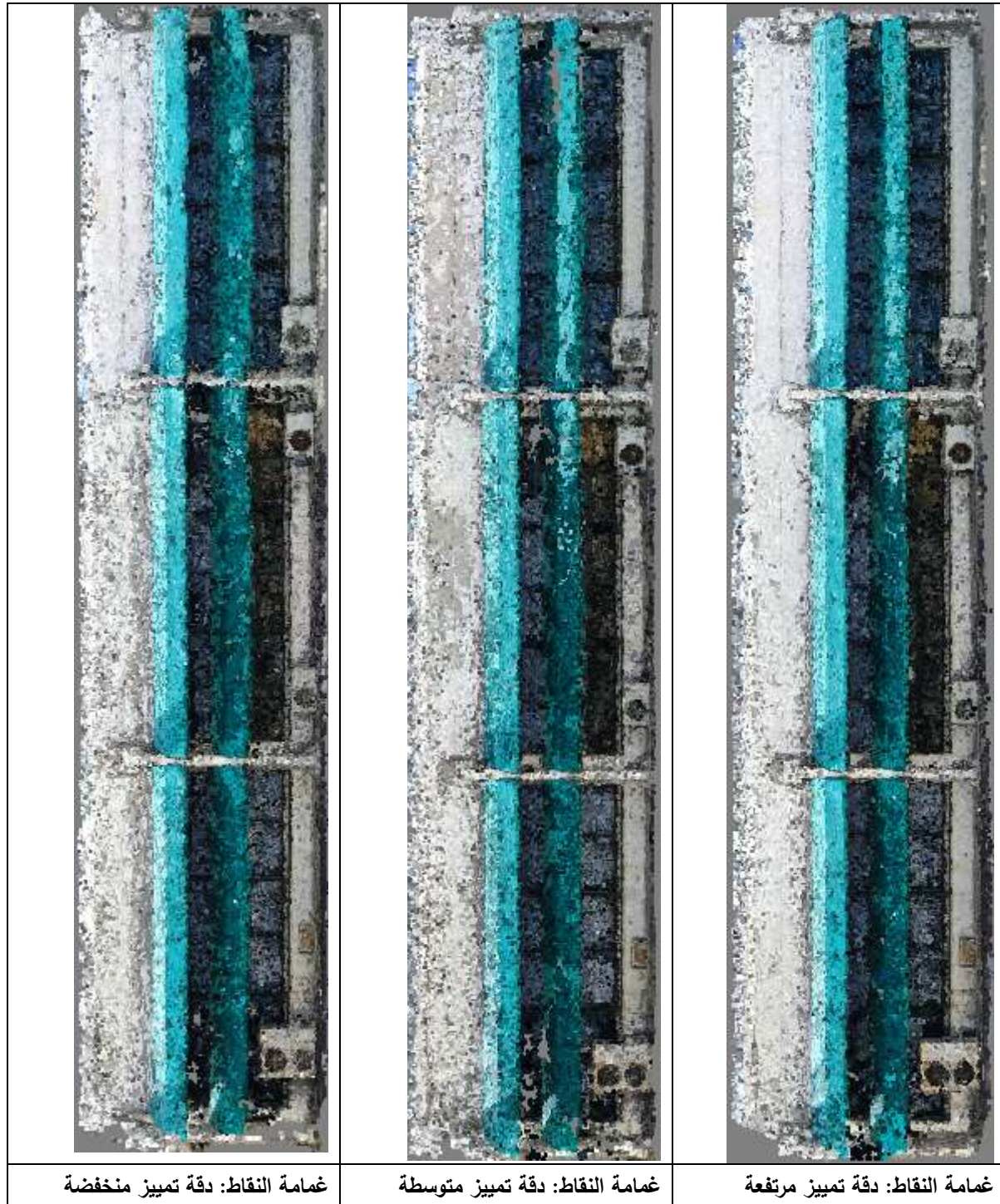
وجود النموذج السطوحى (بحدود 12 مرة)، ولهذين المعاملين تأثير مباشر على الدقة التعبيرية للنموذج. نبين في

الشكل (7) مقارنةً بين غمامات النقاط من ناحية قدرتها على التعبير.

ولكننا لاحظنا من جهة أخرى، انخفاض زمن الحساب (توجيه الصور وحساب الغمامة والنموذج) بشكل كبير جداً (أكثر

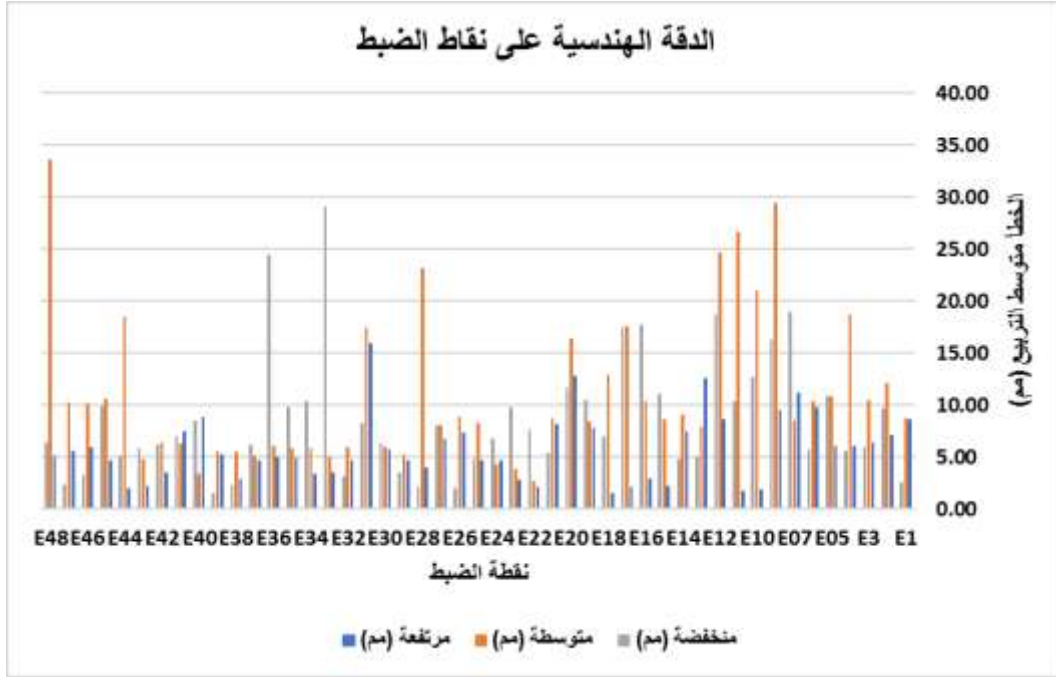
من 4 مرات من حالة إلى أخرى) وذلك عند استخدام نفس الحاسب. إن هذا الانخفاض في زمن المعالجة ذو معنى

كبير وخاصةً عند العمل مع عدد كبير من الصور.

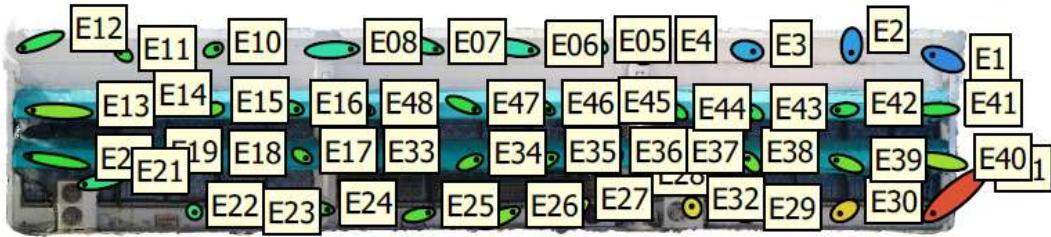


الشكل (7). مقارنة غمامات النقاط الكثيفة الموافقة لكل حالة من حال دقة تمييز الصور.

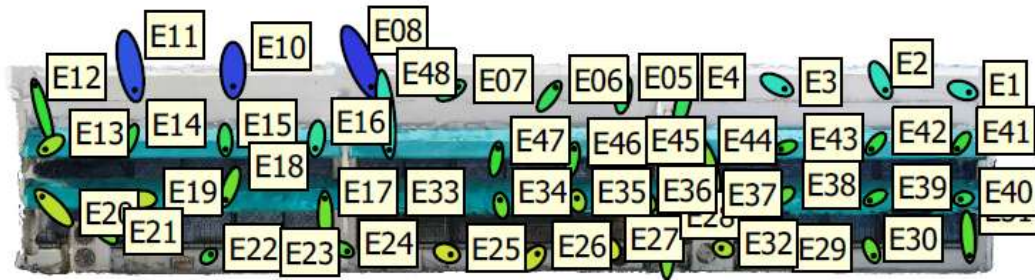
سندرس فيما يلي تأثير انخفاض دقة تمييز الصور على الأخطاء على نقاط الضبط. يبين الشكل (8) مقارنة الأخطاء متوسطة التوزيع على مواقع نقاط الضبط التي تم إعادة حسابها كنقاط تحقق وذلك في حالة دقة التمييز المرتفعة، المتوسطة، والمنخفضة، كما تبين الأشكال (9)، (10) و (11) قطوع الخطأ على مواقع النقاط في حالة دقة التمييز المرتفعة، المتوسطة، والمنخفضة على الترتيب.



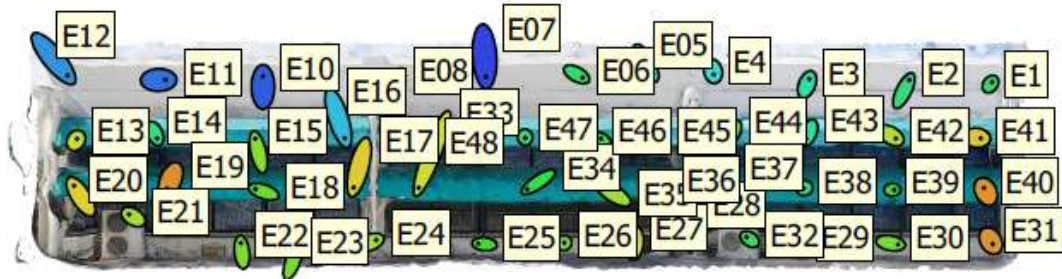
الشكل (8). الأخطاء متوسطة التربيع على نقاط الضبط تبعاً لدقة تمييز الصور.



الشكل (9). قطوع الخطأ على مواقع النقاط في حالة دقة التمييز المرتفعة.



الشكل (10). قطوع الخطأ على مواقع النقاط في حالة دقة التمييز المتوسطة.



الشكل (11). قطوع الخطأ على مواقع النقاط في حالة دقة التمييز المنخفضة.

من خلال الأشكال السابقة نلاحظ:

1. انخفاض دقة نقاط الضبط مع انخفاض دقة التمييز.
 2. الأخطاء على النقاط الطرفية (مثل النقاط E08، E10، E11) ازدادت بشكل أكبر من الأخطاء على النقاط القريبة من مركز الصورة مع انخفاض دقة التمييز. في الواقع، هذا الأمر عائد لسببين هما التشوهات التي تعاني منها النقاط البعيدة عن مركز الصورة (تزيغات العدسة) وكذلك انخفاض إمكانية قياسها بدقة في هذه الأماكن من الصورة نتيجة لانخفاض دقة التمييز.
 3. هنالك بشكل عام حفاظ على اتجاه توزع الأخطاء في معظم نقاط الضبط عند الانتقال من دقة التمييز المرتفعة إلى دقة التمييز المنخفضة.
- يمكن تفسير تأثير انخفاض دقة التمييز على المقادير السابقة من خلال تأثيرها على قيم معاملات التوجيه الخارجي للصور المستخدمة والذي ينتج انخفاض درجة وضوحها بتغيير دقة تمييز الصور مما يؤثر بدوره على دقة قياس نقاط الضبط على الصور.

الاستنتاجات والتوصيات

بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة مسبقاً، نستنتج مايلي:

1. لدقة تمييز الصور تأثير مباشر ومهم على نوعية توجيهها وعلى كثافة غمامات النقاط وعلى نوعية النموذج ثلاثي الأبعاد المقتطع من الصور الموجهة.
 2. عن دقة التمييز المنخفضة للصور يخفّض وبشكل كبير الزمن اللازم لمعالجتها واقتطاع البيانات منها باستخدام نظم المسح التصويري المؤتمت. إن هذا الخيار قد يشكل حلاً لمشكلة نظم المسح المؤتمتة والتي هي وقت المعالجة الطويل إضافة إلى الحاجة إلى نواكر كبيرة جداً للحصول على منتجات جيدة.
 3. يمكن العمل على صور ذات دقة تمييز منخفضة (بحدود 4 megapixels) عندما لا تكون الدقة الهندسية المرتفعة مطلوبة.
 4. تضمن عملية التخطيط للنقاط الصور اللازمة للنمذجة حصولنا على نموذج كامل للعنصر بأقل عدد من الصور. وهذا الأمر صحيح في حالة إمكانية التقاط الصور على شكل أشرطة موازية لواجهات العنصر.
- يمكن أن نوصي باستخدام صور ذات دقة تمييز بحدود 4 megapixels على الأقل وذلك للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد جيدة من الناحية الهندسية مع زمن معالجة متوسط. كما نوصي بالتخطيط لعملية التصوير الأرضي بشكل جيد قبل القيام بها وقد تشكّل الطريقة المتبعة في التخطيط للتصوير الجوي أساساً لعملية التخطيط هذه.

المراجع

- [1] Remondino, F., Spera, M.G., Nocerino, E., Menna, F., Nex, F., 2014. State of the art in high density image matching. In: *The Photogrammetric Record* 29, pp. 144–166. doi:10.1111/phor.12063.
- [2] Förstner, W., 1986. A feature-based correspondence algorithm for image matching. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 26, 150–166.
- [3] الخليل، عمر،، فحصة، إياد. 2015 مقارنة طرائق معايرة آلات التصوير الرقمية في المساحة التصويرية والرؤية بمعونة الحاسب. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. المجلد (37). العدد (5). 2015.
- [4] Nocerino, E., Menna, F., Remondino F., 2014. Accuracy of typical photogrammetric networks in cultural heritage 3D modelling projects. *The Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Volume XL-5, 465-472.
- [5] EOS SYSTEM. 2005. *User Manual of PhotoModeler* 6. Canada, 2005.
- [6] Agisoft., 2018. *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition*. 2018.
- [7] Waldhausl P, Ogleby C. 1994. 3X3 Rules for simple photogrammetric documentation of architecture. In: J. G. Fryer (Editor), *Int. archives of Photogrammetry and remote sensing*, Vol XXX, Part5. 1994.