

اقتراح منهجية لإنتاج صور مصححة عمودياً من صور المتصفح المجاني Google Earth

الدكتور عمر الخليل*

الدكتور إياد فحصة**

(تاريخ الإيداع 21 / 7 / 2015. قُبِلَ للنشر في 22 / 9 / 2015)

□ ملخص □

يعبر التصحيح العمودي (أو إنتاج الأورتوفوتو) للصور عن عملية تصحيح الصورة هندسياً من التشوهات التي تسببها الطبوغرافية، هندسية آلة التصوير والأخطاء المرتبطة بالمستشعر. إن ناتج التصحيح العمودي هو صورة مستوية لها الميزات الهندسية للخارطة التقليدية. ولكن يعتبر الحصول على صور جوية أو فضائية عملية مكلفة وتتطلب إجراءات إدارية معقدة.

نقترح في هذه الدراسة فكرة ومنهجية جديدتين للاستفادة من الصور المجانية المتوفرة في المتصفح Google Earth وذلك من أجل إنتاج الأورتوفوتو ومن ثم سنقوم بتقييم الدقة الأفقية للأورتوفوتو الناتج وذلك لمعرفة حدود استخدامه تطبيقات هندسية مثل صناعة الخرائط والمخططات وتحديثها. المنهجية المقترحة تقوم على محاكاة عملية الطيران ضمن Google Earth لاقتطاع مزدوج تجسيمي من الصور المتداخلة. بعد ذلك سيتم توجيه المزدوج باستخدام نقاط ضبط. من المزدوج الموجه سيتم توليد نموذج رقمي للأرض واستخدامها في توليد الأورتوفوتو. سيتم لاحقاً دراسة دقة الأورتوفوتو عبر مقارنته بمخطط طبوغرافي مقياس 1/1000 لنفس المنطقة وبصورة فضائية مرجعة بطريقة تقليدية.

الكلمات المفتاحية: صور فضائية، تصحيح عمودي، نموذج رقمي للأرض، المتصفح Google Earth.

*أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
**أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية بكلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Proposition of a methodology for producing orthophotos from Google Earth free browser images

Dr. Omar Alkhalil *
Dr. Iyad Fahsa **

(Received 21 / 7 / 2015. Accepted 22 / 9 / 2015)

□ ABSTRACT □

Orthorectification is the process of geometrically correcting imagery for geometric distortions which can be caused by topography, camera geometry, and sensor related errors. The output of orthorectification has the same geometric characteristics of a traditional map. But getting areal or satellite images is an expensive process requiring complex administrative procedures .

In this study we propose take advantage of free images available in the browser Google Earth in order to produce an orthophoto. Then we will assess the horizontal accuracy of the resulted orthophoto to know the limitations of its use engineering applications such as maps production and updating. The proposed methodology is based on the flight simulation process within Google Earth to acquire a stereoscopic pair of overlapping images. After that, this pair will be oriented using control points. The oriented pair is then used to generate a Digital Terrain Model (DTM) and to generate the orthophoto. Later, we will examine the accuracy of this orthophoto by comparing it with a topographic plane (scale 1/1000) and with a rectified satellite image of the same area.

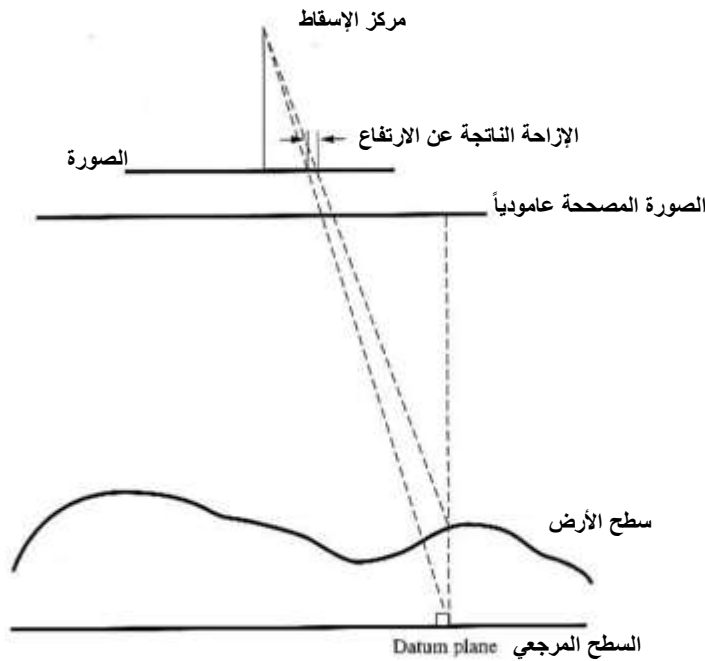
Key words: Satellite images, Orthorectification, Digital Terrain Model, Google Earth.

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

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

مقدمة:

تعتبر الصور الجوية والفضائية من أهم مصادر البيانات الهندسية والوصفية المستخدمة في كثير من التطبيقات مثل صناعة الخرائط Cartography واستشعار التغيرات Change detection. ولكن قبل الحصول على أي قياس دقيق من هذه الصور، يجب تصحيح التشوهات الهندسية Geometric distortions الموجودة فيها (Powers, et al, 1996). وذلك لأن كل الحسابات المترية (المساحة، الإحداثيات، الأطوال) الخاصة بالمشهد المصور تتأثر بهذه التشوهات. وبناءً عليه، يجب القيام بإسقاط عمودي Orthogonal projection لكل نقاط الصورة على سطح مرجعي وذلك بهدف تخليصها من كل أنواع التشوهات (Novak, 1992). هذا، وتتوفر طرائق متعددة لتقويم أو تصحيح الصور Rectification وهي تتراوح من التسجيل البسيط للصورة image registration إلى تطبيق التوابع كثيرة الحدود Polynomial functions وصولاً إلى النماذج الدقيقة جداً (التقويم أو التصحيح العمودي Orthorectification). ومن بين هذه الطرائق، وحده التقويم العمودي هو الذي يأخذ في الحسبان ارتفاعات المنطقة في المشهد المصور وذلك عبر استخدام النموذج الرقمي للارتفاعات DEM (Digital Elevation Model) وذلك لأن هذه الارتفاعات تؤثر وبشكل كبير على الدقة النهائية للتقويم (Paine, 1981) فهي تسبب ما يعرف باسم الإزاحات أو التشوهات في الصورة الناتجة عن ارتفاعات الأرض أو عن الارتفاع Relief displacement (الشكل (1)) من ناحية أخرى، يتم في التقويم العمودي تصحيح الإزاحات الناتجة عن الميول في المشهد المصور.

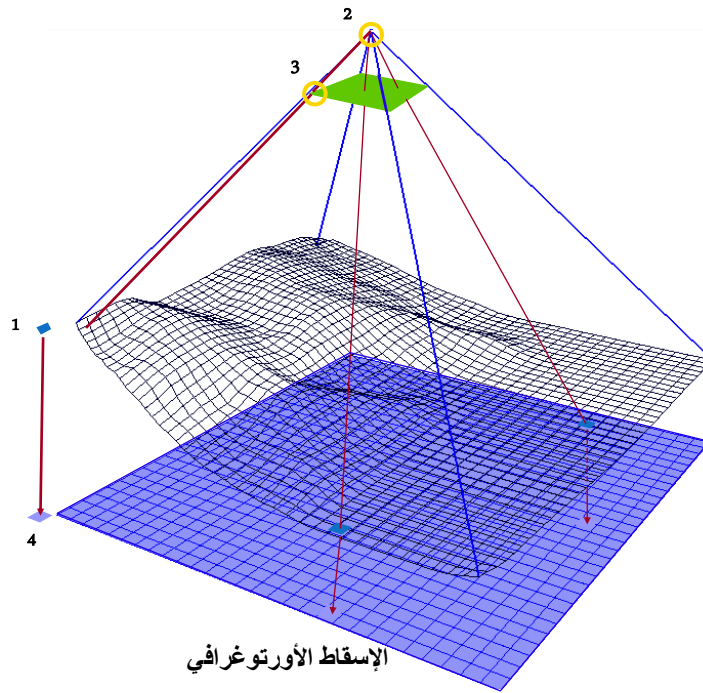


الشكل (1). الإزاحة الناتجة عن الارتفاع.

تعرف الصورة المصححة الناتجة عن التقويم العمودي باسم الأورتوفوتو Orthophoto وهي صورة تظهر صور العناصر في مواقعها الطبوغرافية الصحيحة. وبناءً عليه فالأورتوفوتو مكافئ من الناحية الهندسية للخرائط المستوية التقليدية (Wolf, P.R., Dewitt, B.A., 2000). ويستخدم الأورتوفوتو بشكل واسع في نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems) GIS حيث يفيد كمرجع أفقي للقيام بالتحليل ويستخدم كذلك لتوليد طبقات معلومات Layers في قاعدة المعطيات Database.

قبل ظهور المساحة التصويرية الرقمية، كان توليد الأورتوفوتو يتطلب استخدام أجهزة بصرية- ميكانيكية معقدة تستخدم الفيلم مباشرة. أما الآن، فيتم توليد الأورتوفوتو بطريقة رقمية وذلك من خلال عملية تسمى بالتصحيح أو التقويم التفاضلي Differential rectification. وهنا يتم تقويم كل عنصر تفاضلي عند مقياس مشترك بدلاً من تقويم كامل الصورة عند مقياس متوسط (لأن التقويم عند مقياس متوسط لا يسمح بالتخلص من الانزياحات الناتجة عن الارتفاعات الأرضية) (Hinton, 1996). المعطيات الأساسية لهذا التقويم هي نموذج رقمي للأرض وصورة جوية أو فضائية رقمية معاملات توجيهها الخارجي Exterior orientation معروفة (الشكل (2)). وبعد ذلك سيسمح تطبيق معادلات التسامت Collinearity equations بتوليد الأورتوفوتو. إن الدور الأساسي للنموذج الرقمي للارتفاعات هو إزالة تأثيرات الانزياحات من الصورة الأصلية عبر إعادة الإسقاط. وبشكل عام، يتم بناء الأورتوفوتو عبر الخطوات التالية :

1. يؤخذ كل بيكسل من النموذج الرقمي للمناسيب (DEM).
2. باستخدام معاملات التوجيه الخارجي، يتم البحث عن الموقع المكافئ للبيكسل السابق على الصورة.
3. يتم احتساب قيمة اللمعان Brightness في البيكسل السابق اعتماداً على البيكسلات المحيطة به.
4. يتم استخدام قيمة اللمعان هذه مع معاملات المنسوب والتوجيه الخارجي لحساب الموقع المكافئ على الصورة المصححة.



الشكل (2). آلية توليد الأورتوفوتو.

إن النماذج الرقمية للأرض والصور الجوية أو الفضائية اللازمة لإنتاج أورتوفوتو عالي الدقة لها مواصفات خاصة وهي عالية التكاليف بشكل عام. لذلك فإننا نقترح في هذه الدراسة فكرة ومنهجية جديدتين للاستفادة من الصور المجانية المتوفرة في المتصفح Google Earth وذلك من أجل إنتاج الأورتوفوتو ومن ثم سنقوم بتقييم الدقة الأفقية للأورتوفوتو الناتج وذلك لمعرفة حدود استخدامه تطبيقات هندسية مثل صناعة الخرائط Cartography والمخططات وتحديثها. يمكننا أن نلخص أن نلخص هذه المنهجية في الخطوات التالية :

1. باستخدام Google Earth، سنقوم محاكاة عملية الطيران اللازمة النقاط الصور الجوية وذلك للحصول على مزدوج تجسيمي Stereoscopic pair من الصور لمنطقة جامعة تشرين وما حولها.
2. تحضير مجموعة من نقاط الضبط اللازمة لتوجيه مزدوج الصور السابق.
3. توجيه المزدوج بالاستعانة بالحزمة Orthobase المتوفرة في البرنامج ERDAS IMAGINE.
4. توليد نموذج رقمي كثيف للارتفاعات من المزدوج الموجه عبر تعريف عدد كبير من نقاط الربط.
5. توليد الأورتوفوتو.
6. مقارنة الأورتوفوتو مع مخطط طبوغرافي مقياسه 1/1000 ومع صورة فضائية مرجعة باستخدام نقاط ضبط فقط (دون أخذ ارتفاعات الأرض بعين الاعتبار) ذلك لتقييم دقته.

أهمية البحث وأهدافه

تعتبر الصور الجوية أو الفضائية مصدراً هاماً للبيانات الهندسية اللازمة لصناعة الخرائط ولاستشعار التغيرات Change detection. وبما تقويم هذه الصور هو خطوة أساسية قبل البدء بأي عملية اقتطاع للمعطيات المكانية منها، فإنه من المهم تطبيق أفضل أسلوب تقويم ممكن وذلك للحصول على أعلى مستوى من الدقة لهذه المعطيات. ومن ناحية أخرى، يعتبر الحصول على صور جوية أو فضائية عملية مكلفة مادياً وتتطلب إجراءات إدارية معقدة. ومن هنا تظهر أهمية البحث فيه :

1. اقتراح الاستفادة من المتصفح Google Earth وذلك في الحصول على مزدوجات تجسيميّة من الصور مجاناً.
2. مناقشة ميزات الصور المقتطعة من المتصفح Google Earth من ناحية استخدامها في أعمال إنتاج الخرائط.
3. استخدام هذه المزدوجات كنقطة انطلاق للحصول على النموذج الرقمي للأرض وتوليد الأورتوفوتو.
4. اقتراح منهجية لتقييم دقة الأورتوفوتو الناتج ومعرفة حدود تطبيقه.

طرائق البحث ومواده

يعتمد المتصفح Google Earth على صور الأقمار الصناعية والتصوير الجوي؛ حيث إنه يقوم بأخذ كافة الصور التي تأتي من هذه التقنيات المختلفة ويركبها فوق بعضها البعض مما ينتج الصورة النهائية التي يعرضها. كما تتوفر فيه ميزة محاكاة الطيران وإمكانية جعل المشهد المصور شاقولياً. تقوم الفكرة الأولى للبحث على محاكاة الطيران فوق المنطقة التي نود إنتاج أورتوفوتو لها (منطقة جامعة تشرين) وذلك على ارتفاع مناسب بحيث يكون المشهد أوضح ما يمكن. إن سبب اختيارنا لهذه المنطقة هو وجود أبنية مرتفعة مما يسبب في الصورة الناتجة انزياحات ناتجة عن الارتفاعات. باستخدامنا لإمكانية محاكاة الطيران، يمكن الحصول على مزدوج تجسيمي من الصور (تداخل طولاني بنسبة % 60 بين صورتين هذا المزدوج).

لا بد قبل استخدام الصور في أي عمل مساحي تصويري من معرفة بعض مواصفاتها الهندسية. وبما أن المتصفح لا يزودنا بأية معلومات حول المستشعر الذي التقط الصور فقد كان من الضروري تطبيق أسلوب غير مباشر لمعرفة دقة تمييز الصور الملتقطة. في بحثنا، تم استخدام البرنامج Photoshop في إجراء تحليل ساعدنا على معرفة

أبعاد البكسل في هذه الصور. إن هذا المعطى مهم من أجل حساب قيمة تقريبية للبعد المحرقى Focal length للمستشعر الذي التقط الصورة.

إن حساب معاملات التوجيه الخارجي Exterior orientation لصور المزدوج (معاملات موقع وتوجيه محطات التقاط هذه الصور)، يتطلب وجود نقاط ضبط كافية ضمن منطقة تداخل الصورتين (ثلاث نقاط ضبط على الأقل). في بحثنا، تم الحصول على الإحداثيات الأفقية لنقاط الضبط بالاستقراء من مخطط طبوغرافي متوفر للمنطقة المصورة. أما الإحداثيات الشاقولية لهذه النقاط، فقد تم الحصول عليها باستخدام محطة رفع شاملة Total station يمكن أن تعمل دون عاكس.

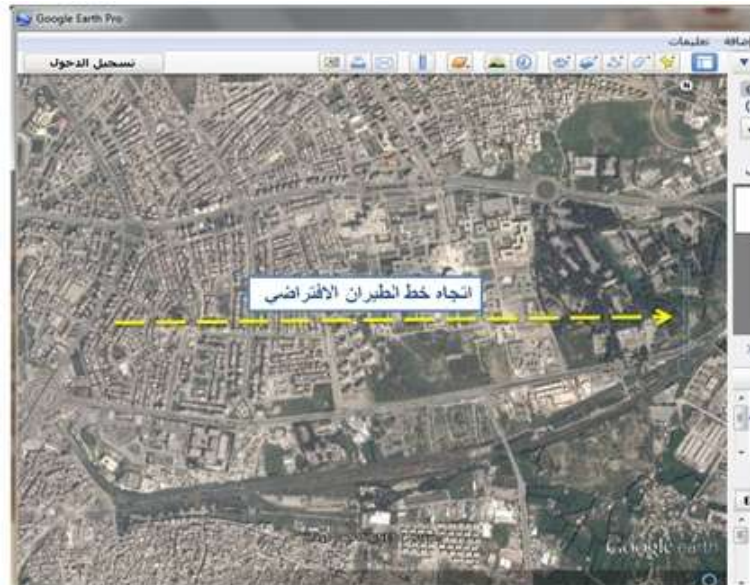
لإنجاز عمليات توجيه الصور وتوليد النموذج الرقمي للارتفاعات وإنتاج الأورتوفوتو، استخدمنا الحزمة Orthosbase من البرنامج ERDAS IMAGINE. وهي حزمة للمساحة التصويرية الرقمية والتي تتيح القيام بتثليث Triangulation وتصحيح المرئيات (التي يتم الحصول عليها باستخدام الكاميرات أو مستشعرات Sensors التوابع الصناعية) عمودياً وذلك بشكل دقيق.

سيتم في آخر مرحلة إجراء مقارنة بين المعطيات الهندسية المقطعة من الأورتوفوتو الناتج مع مقابلاتها المقطعة من مخطط طبوغرافي ومن صورة فضائية مرجعة باستخدام نقاط ضبط فقط (دون أخذ ارتفاعات الأرض بعين الاعتبار) لنفس المنطقة وذلك لتقييم دقة لهذا الأورتوفوتو.

النتائج والمناقشة

1- محاكاة الطيران واقتطاع صور المزدوج التجسيمي

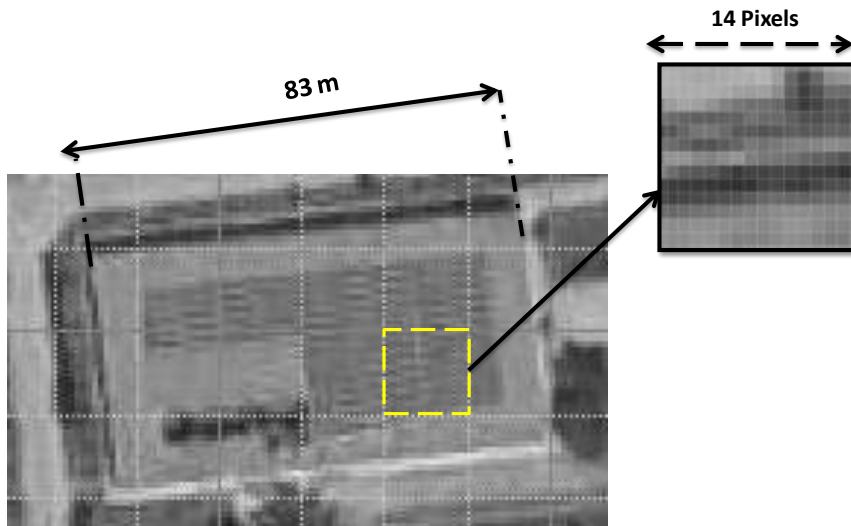
داخل المتصفح Google Earth قمنا بتحديد أفضل لقطة شاقولية ممكنة لمنطقة جامعة تشرين وذلك على ارتفاع مناسب (تقريباً 3000 m). ثم تم تعريف اتجاه خط الطيران Flight line من اليسار إلى اليمين (الشكل (3)) واقتطعنا صورتين المزدوج مع المحافظة على ارتفاع الطيران الافتراضي عند أفضل دقة مكانية ممكنة يسمح بها المتصفح. تم الحرص على وجود تداخل طولي بين الصورتين المتعاقبتين وذلك بنسبة لا تقل عن 60%.





الشكل (3). اتجاه خط الطيران الافتراضي وصورتا المزدوج التجسييمي.

سنحاول هنا تحديد البعد المحرقي (أحد معاملات التوجيه الداخلي Interior orientation) للمستشعر المستخدم وذلك لأنه ضرورية خلال عملية التوجيه للمزدوج وتوليد الأورتوفوتو. للقيام بذلك، لابد أولاً من تحديد الطول الذي يغطيه البكسل الواحد على الأرض. من أجل إنجاز ذلك، تمت الاستعانة بطول مرجعي مقاس على الأرض (طول كلية الطب في جامعة تشرين) ومن ثم تم عد البكسلات التي تغطي هذا الطول في الصورة بشكل تقريبي. وجدنا من خلال هذه المقاربة أن طول البكسل يغطي ما مقداره 1 متر تقريباً على الواقع إن هذا المعطى هام وضروري من أجل توجيه الصور داخلياً. ولابد من أن نشير إلى أنه تم القيام بهذا التحليل بمساعدة البرنامج Photoshop (الشكل (4)).



الشكل (4). تحديد الطول الذي يغطيه البكسل الواحد على الأرض.

قمنا بعد ذلك بتحديد أبعاد البكسل في الصورة. في الواقع، إن الصور التي اقتطعناها من المتصفح Google Earth، تبلغ أبعاد الواحدة منها (2400 * 1415) بكسلاً. بالاستعانة بالبرنامج Photoshop وجدنا أن الأبعاد الفيزيائية المترية للبكسل ($l*w$) في الصورة هي :

$$l = 0.35mm$$

$$w = 0.35mm$$

والآن يمكننا تحديد قيمة تقريبية للبعد المحرق f للمستشعر، حيث وجدنا سابقاً أن البعد التقريبي الذي يغطيه البكسل الواحد على الأرض هو تقريباً ($W=1$) متراً. وبتطبيق علاقة المقياس في الصور الجوية نجد :

$$\frac{1}{S} = \frac{f}{H} = \frac{l}{L} \Rightarrow f = \frac{2904 \times 0.35}{1000} * 1000 = 1016.4mm$$

حيث S هو المقياس، f هو البعد المحرق و H هو ارتفاع الطيران المستقراً من المتصفح Google Earth.

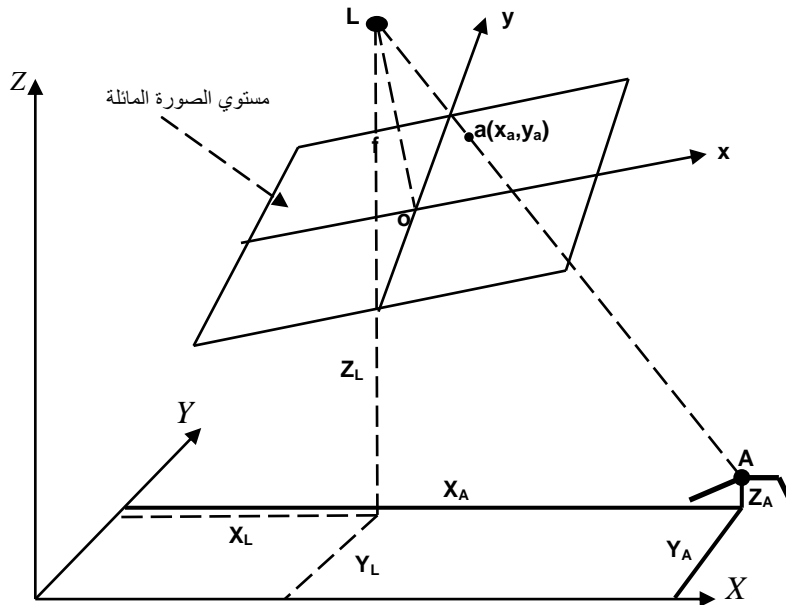
2- تحضير نقاط الضبط

من أجل توجيه المزوج، يلزمنا على الأقل ثلاث نقاط ضبط ثلاثية الأبعاد واقعة في منطقة التداخل بين الصورتين وذلك لإيجاد معاملات التوجيه الخارجي التي تحدد موقع وتوجيه الصورة ضمن نظام الإحداثيات الأرضي. هذا التحديد يتم بحل المعادلات التي تعبر عن شرط التسامت (الشكل (5)) اللاخطية التالية :

$$x_a = x_0 - f \frac{(r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Y_A - Y_L) + r_{13}(Z_A - Z_L))}{(r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Y_A - Y_L) + r_{33}(Z_A - Z_L))}$$

$$y_a = y_0 - f \frac{(r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Y_A - Y_L) + r_{23}(Z_A - Z_L))}{(r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Y_A - Y_L) + r_{33}(Z_A - Z_L))}$$

حيث : (x_0, y_0, f) هي محددات الهندسية الداخلية للمستشعر، (r_{ij}) هي عناصر مصفوفة الدوران والتابعة للزوايا Ω, Φ, κ حول محاور نظام إحداثيات العنصر، (x_a, y_a, z_a) هي إحداثيات مسقط نقطة العنصر في نظام إحداثيات المستشعر و (X_A, Y_A, Z_A) هي إحداثيات نقطة العنصر في نظام إحداثيات العنصر أما (X_L, Y_L, Z_L) فهي إحداثيات محطة التقاط الصورة.



الشكل (5). شرط التسامت.

قمنا باستقراء واقتطاع الإحداثيات الأفقية (X,Y) لمجموعة من نقاط الضبط من مخطط طبوغرافي مقياسه 1/1000 للمنطقة المصورة (الشكل (6)). وبالنسبة للإحداثيات Z، فقد تم استخدام المحطة المتكاملة Leica TS09 في قياسها. ويمكن لهذه المحطة أن تعمل بدون عاكس باستخدام تقنية الليزر وهذه الإمكانية كانت مفيدة جداً في مشروعنا خاصة وأن نقاط الضبط تتوضع في معظمها على أسطح الأبنية. نجد في الجدول (1) إحداثيات نقاط الضبط:

الجدول (1). إحداثيات نقاط الضبط.

Z (m)	Y (m)	X (m)	اسم النقطة
49.79	151996.82	-303349.27	MED1
42.79	152074.54	-303397.17	DEN1
31.93	152029.61	-302900.23	LB1
50.99	151943.39	-303052.05	MC1
42.95	152055.39	-303059.67	WR1
52.12	152047.22	-303132.21	M1
42.74	152065.12	-303478.75	DEN2
47.4	152038.93	-303505.44	H1
51.26	151970.95	-303503.42	H2
48.84	151857.18	-303438.85	MED2
59.85	151769.64	-303481	SC1
51.69	151797.89	-303431.22	SC2
57.24	151829.6	-303298.26	Bb1
40.85	151472.42	-303376.29	CI1
36.73	151441.65	-303320.68	CI2
38.85	151454.1	-303069.1	L1
39.17	151516.95	-303008.82	L2
40.08	151621.81	-303014.73	L3
39.23	151759.01	-303073.14	CIN1
46.12	151908.9	-303138.83	Civ1
49.79	151996.82	-303349.27	MED1
42.79	152074.54	-303397.17	DEN1
31.93	152029.61	-302900.23	LB1
50.99	151943.39	-303052.05	MC1
42.95	152055.39	-303059.67	WR1
52.12	152047.22	-303132.21	M1

42.74	152065.12	-303478.75	DEN2
47.4	152038.93	-303505.44	H1
51.26	151970.95	-303503.42	H2
48.84	151857.18	-303438.85	MED2
59.85	151769.64	-303481.00	SC1



الشكل (6). توزع نقاط الضبط في منطقة تداخل الصورتين.

2- توجيه الصور وتوليد النموذج الرقمي للارتفاعات والأورتوفوتو

تم استخدام الحزمة Orthosbase من البرنامج ERDAS IMAGINE في عملية توجيه الصور وذلك بالاستعانة بنقاط الضبط المحددة مسبقاً. وكانت معاملات التوجيه الخارجي هي التالية :

الجدول (2). معاملات التوجيه الخارجي للصورتين.

κ (°)	φ (°)	ω (°)	ZL (m)	YL (m)	XL (m)	الصورة
0.4987	2.4056	0.2706	3470.99	152336.09	-305199.33	اليسرى
0.3944	2.9029	-0.4581	3404.320	152429.55	-304036.13	اليمنى

أما الأخطاء متوسطة التريبع على نقاط الضبط فقد تم حسابها كمايلي : تم إعادة قياس هذه النقاط على المزوج الموجه الناتج عن الخطوة السابقة، فكانت الإحداثيات هي التالية (الجدول (2)) :

الجدول (2). إحداثيات نقاط الضبط المقاسة على المزوج الموجه.

Z(m)	Y(m)	X (m)	اسم النقطة
40.46	151995.87	-303347.00	MED1
50.51	152074.64	-303399.56	DEN1
41.29	152030.02	-302906.44	LB1
43.31	151941.71	-303050.41	MC1
43.42	152056.22	-303057.35	WR1
45.57	152045.93	-303129.71	M1
46.61	152066.29	-303478.62	DEN2
52.52	152039.99	-303505.02	H1
52.59	151970.81	-303503.50	H2
49.28	151858.29	-303440.02	MED2
50.54	151768.16	-303477.81	SC1
49.72	151796.50	-303429.41	SC2
48.07	151827.47	-303297.33	Bb1
43.08	151471.73	-303379.25	CI1
42.11	151441.61	-303323.52	CI2
38.76	151457.06	-303067.56	L1
34.41	151517.10	-303004.64	L2
37.37	151621.42	-303010.68	L3
42.69	151757.12	-303077.03	CIN1
47.61	151909.79	-303138.46	Civ1

ثم تم حساب الفروق في الإحداثيات وحساب الأخطاء متوسطة التربيع (الجدول (3)) :

الجدول (3). الفروق بين إحداثيات نقاط الضبط المقاسة على المزدوج الموجه والمعطاة.

Dz (m)	Dy (m)	Dx (m)	اسم النقطة
9.33	0.95	-2.27	MED1
-7.72	-0.10	2.39	DEN1
-9.36	-0.41	6.21	LB1
7.68	1.68	-1.64	MC1
-0.47	-0.83	-2.32	WR1
6.55	1.29	-2.50	M1
-3.87	-1.17	-0.13	DEN2
-5.12	-1.06	-0.42	H1
-1.33	0.14	0.08	H2
-0.44	-1.11	1.17	MED2
9.31	1.48	-3.19	SC1
1.97	1.39	-1.81	SC2
9.17	2.13	-0.93	Bb1
-2.23	0.69	2.96	CI1
-5.38	0.04	2.84	CI2
0.09	-2.96	-1.54	L1
4.76	-0.15	-4.18	L2
2.71	0.39	-4.05	L3
-3.46	1.89	3.89	CIN1
-1.49	-0.89	-0.37	Civ1
5.62	1.27	2.72	RMS الخطأ متوسط التربيع (m)

كانت كمايلي : $RMS_x = 2.31m$ ، $RMS_y = 1.77m$ و $RMS_z = 5.62m$. إن نتائج التثليث هذه

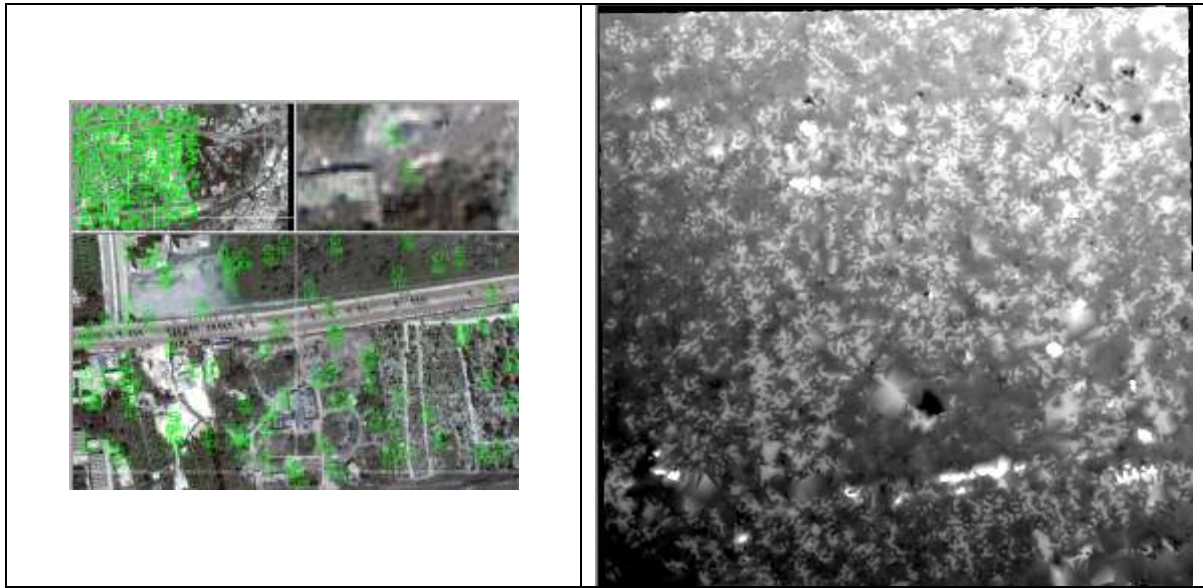
تعتبر مقبولة حيث تبلغ الخطأ المتوسط التربيع على المربع الأفقي في هذه الحالة :

$$\sigma_{XY} = \sqrt{2.72^2 + 1.27^2} = 3m$$

وهي دقة مناسبة لإنتاج مخططات سواء Palnometric maps مخرج مقياسها يحسب كمايلي :

$$Scale = (RMS_{XY} * 1000) / 0.3 = 10000$$

أي أننا نستطيع إنتاج مخطط سواء مقياسه 1/10000 وهذا ما يتيح المرئيات الفضائية التي دقة تمييزها المكانية تقارب الـ 1 m (Kaczynski, R, et al, 1995). وبالنسبة للخطأ المتوسط التربيع على Z مقبول أيضاً حيث نقبل أن الخطأ الشاقولي يساوي تقريباً 1.5 الخطأ الأفقي. بعد قبول نتائج التثليث، قمنا بتوليد عدد كبير جداً من نقاط الربط Tie points بشكل آلي وذلك لتوليد النموذج الرقمي للارتفاعات لمنطقة التداخل (الشكل (7)). حرصنا على جعل أبعاد خلية هذا النموذج مساويةً لأبعاد البكسل في الصور الأصلية حرصاً على البقاء ضمن نفس دقة التمييز.



الشكل (7). اقتطاع نقاط الربط والنموذج الرقمي للارتفاعات لمنطقة تداخل الصورتين.

تم بعد ذلك توليد الأورتوفوتو (الشكل (8)) وذلك باستخدام نتائج التوجيه والنموذج الرقمي للارتفاعات وقد حرصنا على جعل أبعاد البكسل مساويةً لأبعاد البكسل في الصور الأصلية حرصاً على البقاء ضمن نفس دقة التمييز الخاصة بالصور الأصلية.



الشكل (8). الصور المصححة عمودياً (الأورتوفوتو) لمنطقة تداخل الصورتين.

3- تقييم لدقة الأورتوفوتو

بما أن الأورتوفوتو يعتمد في إنتاجه على بيانات متعددة، فإن دقته تتبع لدقة هذه البيانات. وبشكل عام تتحكم المعاملات التالية بدقة الأورتوفوتو (Nielsen, M.O., 2004):

1. نوعية ودقة تمييز صور المزدوج المستخدمة.
2. التوجيهين الداخلي والخارجي لصور المزدوج.
3. دقة النموذج الرقمي للأرض.

لقد وجنا أن دقة التمييز الأرضية تبلغ تقريباً 1 m وأنه باستخدام صور لها هذه الدقة يمكن الحصول على منتجات كارتوغرافية من مقياس مساو لـ 1/10000 في الحالة المثالية. ولكننا، من جهة أخرى، لا نعرف من معاملات التوجيه الداخلي سوى قيمة تقريبية للبعد المحركي وهذا وحده غير كاف لتقييم تأثير هذه المعاملات على الدقة النهائية للأورتوفوتو. وبالنسبة لمعاملات التوجيه الخارجي، فإن دقتها تتبع بدورها لمعاملات التوجيه الداخلي ولدقة استقراء نقاط الضبط الأفقية وكذلك لدقة تحديد مناسب نقاط الضبط باستخدام المحطة المتكاملة. إن ما سبق يجبرنا على الحكم على دقة الأورتوفوتو وتقييمها عبر مقارنته بمنتج آخر أدق. وهذا المنتج هو مخطط طبوغرافي رقمي لنفس المنطقة المصورة والتي يغطيها الأورتوفوتو الناتج من الخطوة السابقة. فكرة التقييم تقوم على مقارنة إحداثيات مجموعة من النقاط التي سنسميها بنقاط الاختبار Check points والمقاسة على المخطط الطبوغرافي وفي صورة فضائية مرجعة باستخدام نقاط ضبط فقط (دون أخذ ارتفاعات الأرض بعين الاعتبار) وفي الأورتوفوتو. سيتم اختيار هذه النقاط بحيث

تقع على أبنية مرتفعة (لمعرفة مدى نجاح التصحيح العمودي المطبق في التخلص من الإزاحات الناتجة عن الارتفاع) كما سنوزعها في منتصف وأطراف الصور والمخطط (الشكل (9)).



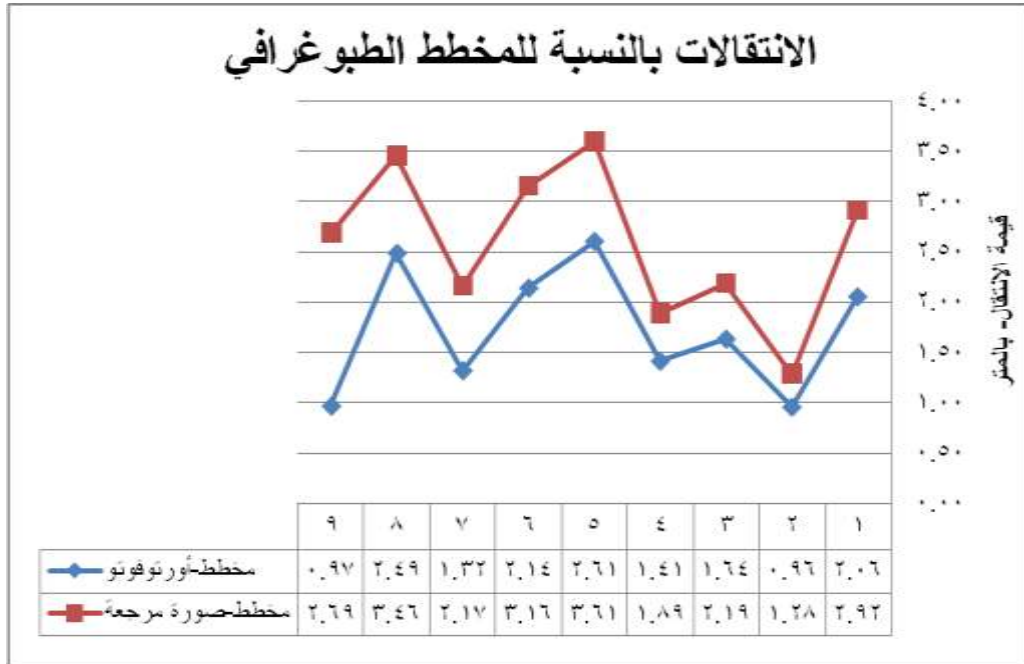
الشكل (9). مواقع نقاط الاختبار على المخطط الطبوغرافي.

يبين في الجدول التالي مقارنة بين انتقالات نقاط الاختبار بالنسبة للمخطط الطبوغرافي :

الجدول (4). قيم انتقالات نقاط الاختبار.

الانتقال مخطط-صورة مرجعة (بالمتر)	الانتقال مخطط-أورتوفوتو (بالمتر)	منسوب النقطة (بالمتر)	اسم النقطة
2.92	2.06	85.80	مشفى الباسل 1
1.28	0.96	52.11	كلية الهندسة
2.19	1.64	61.90	مسرح الجامعة 2
1.89	1.41	60.20	مسرح الجامعة 2
3.61	2.61	86.10	مشفى الباسل 2
3.16	2.14	67.18	معهد هندي
2.17	1.32	59.85	كلية العلوم 1
3.46	2.49	62.12	وحدة سكنية
2.69	0.97	53.33	كلية العلوم 2

والمخطط التالي هو تعبير رسومي عن النتائج :



الشكل (10). انتقالات نقاط الاختبار المقاسة على الأورثوفوتو والصورة المرجعة بالنسبة للمخطط الطبوغرافي.

من الجدول (4) والشكل (10) السابقين نلاحظ مايلي :

1. قيم انتقالات النقاط المقاسة على الأورثوفوتو أقل من القيم المقابلة لها على الصورة المرجعة وهذا متوقع لأنه قد تم التخلص من كمية كبيرة من الإزاحات الناتجة عن الارتفاعات في الأورثوفوتو مقارنةً بالصورة المرجعة التي مازالت تحوي هذا النوع من الإزاحات.
2. النقاط الواقعة على أطراف الصور تعاني من انتقالات أكبر من تلك القريبة من المركز (نقطة الوحدة السكنية) وذلك بسبب تزيغات العدسة التي لم يتم تصحيحها.
3. كان من الممكن تحسين دقة توجيه مزدوج الصور، وبالتالي تحسين دقة الأورثوفوتو الناتج، باستخدام نقاط ضبط أفقية مرفوعة حقلياً عوضاً عن استقراء هذه النقاط من المخطط الطبوغرافي.
4. بشكل عام نجد أم المخططين متناغمين وهذا مبرر من ناحية أن الأورثوفوتو الناتج مازال يعاني من التشوهات الناتجة عن تزيغات العدسة والتي تعاني منها الصورة المرجعة. في الواقع، كان من الممكن تصحيح هذا النوع من التشوهات في الأورثوفوتو في حال معرفتنا لكل المواصفات الهندسية الداخلية للمستشعر الذي التقط صور المزدوج.
5. نجد في الصورة المرجعة والأورثوفوتو أيضاً أن قيم الانتقالات تتناسب طردياً مع ارتفاع نقاط الاختبار.
6. إن قيم الانتقالات المتولدة في الأورثوفوتو مقبولة نسبياً إذا أخذنا أن دقة القياس للموقع الأفقي تساوي تقريباً مرتين أو ثلاث مرات حجم البكسل (أبعاد البكسل هنا هي 1m X 1m).
7. كان من الممكن تحسين نوعية الأورثوفوتو عبر تكثيف نقاط النموذج الرقمي للارتفاعات مع زيادة عدد نقاط الضبط اللازمة للتثليث. وكذلك فإن معرفة معاملات التوجيه الداخلي الدقيقة للمستشعر المستخدم ستحسن أيضاً من نوعيته لأنها ستسمح بتطبيق تصحيحات للعديد من التشوهات.

الاستنتاجات والتوصيات

اقترحنا في هذه الدراسة فكرة ومنهجية جديدتين للاستفادة من صور Google Earth في الوضع التجسيمي عبر محاكاة عملية التصوير الجوي الحقيقي. قمنا أيضاً بتوجيه الصور وتوليد النموذج الرقمي للأرض انطلاقاً من الصور الموجهة ومن ثم تمت مقارنة النتائج مع صورة مرجعة ومخطط طبوغرافي ومن ثم تمت إعطاء فكرة أولية حول دقة الأورتوفوتو الأفقية.

في نهاية هذا البحث يمكن أن نعطي الاستنتاجات والتوصيات التالية :

1. المتصفح Google Earth قد يكون واحداً من المصادر الهامة للحصول على صور فضائية أو جوية مجانية والتي يمكن استخدامها في أعمال ذات طابع هندسي (صناعة وتحديث الخرائط مثلاً).
2. يمكن الاستفادة من الإمكانيات المتوفرة في العديد من البرامج الاحترافية للمساحة التصويرية من أجل توليد عدد هائل من نقاط الربط ضمن النماذج الموجهة بشكل آلي. هذه النقاط ستلعب دور المعطيات اللازمة لتوليد النموذج الرقمي للارتفاعات والذي هو مدخل أساسي في عملية الصحيح العمودي.
3. في حال وجود مناطق مختلفة الارتفاعات فإننا نوصي بإتباع هذه المنهجية عوضاً عن الإرجاع البسيط باستخدام نقاط ضبط. إن هذه العملية تضمن التخلص من كمية كبيرة من الانزياحات الناتجة عن الارتفاعات الأرضية.
4. يمكن التوصية باستخدام هذا النوع من الأورتوفوتو في عملية تحديث المخططات والخرائط الطبوغرافية من المقاييس الصغيرة.
5. يمكن التفكير في زيادة عدد نقاط الضبط وذلك لتطبيق معايير ذاتية للمستشعر المستخدم والحصول على معاملات الداخلية وذلك لأن المتصفح لا يزودنا بها. إن هذا ضروري للحصول على قياسات هندسية دقيقة من الصور Google Earth فهذه المعاملات تساعد في تصحيح القياسات المنفذة على الصور من العديد من التشوهات التي تؤثر على النوعية الهندسية للنتائج.

المراجع

- Hinton, J. C. (1996). *GIS and remote sensing integration for environmental applications*. International Journal of Geographical Information Systems, 10, 877–890.
- Kaczynski, R., Donnay, J-P. & Muller, F., (1995). *Satellite image maps of Warsaw in the scale 1:25,000. Topography from space, EARSeL Advances in Remote Sensing*, 4(2), 100-103.
- Nielsen, M.O. (2004). True orthophoto generation. Master thesis. Technical University in Denmark.
- Novak, K. (1992). *Rectification of digital imagery*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58, 339–344.
- Paine, D. P. (1981). *Aerial photography and image interpretation for resource management*. New York: Wiley.
- Powers, P. S., Chiarle, M., & Savage, W. Z. (1996). *A digital photogrammetric method for measuring horizontal surficial movements on the Slumgullion earthflow, Hinsdale County, Colorado*. Computers and Geosciences, 22, 651–663.
- Wolf, P.R., Dewitt, B.A. (2000). *Elements of photogrammetry, with applications in GIS*. New York, NY: McGraw Hill, 3rd ed.