مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (5) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (5) 2018

تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط على نوعية التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية ذات الدقة المكانية العالية

الدّكتور أحمد سلمان علي *

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2018. قُبِل للنشر في 2/ 9 / 2018)

□ ملخّص □

يوفر لنا الجيل الجديد من المستشعرات، المحمولة على متن الأقمار الصناعية، مرئيات فضائية ذات دقة تمييز مكانية عالية وذلك من أجل إنتاج الخرائط بمقاييس كبيرة. ولكن قبل استخدام هذه المرئيات، يجب تصحيحها هندسياً، وهي عملية تتأثر بأخطاء، بعضها متعلق بطبيعة البيانات الأصلية (المرئيات)، أما بعضها الآخر فناتج عن عملية المعالجة نفسها. وهذا النوع الأخير من الأخطاء مصدره خوارزميات تصحيح التشوهات الهندسية وكذلك البيانات الخارجية اللازمة للقيام بعملية التصحيح ولتطبيق خوارزميات إعادة الاعتيان، وهي نقاط الضبط.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط على الدقة الهندسية لتصحيح المرئيات، حيث تم إجراء اختبارات على نفس المرئية (IKONOS) وذلك بتطبيق تحويلات كثيرة الحدود باستخدام مجموعات من نقاط الضبط لكل منها دقة مطلقة مختلفة عن الأخرى. تم استقراء هذه المجموعات من مخطط طبوغرافي مقياسه 1/1000 ومن مرئية فضائية من النوع MOMS مرجعة دقة تمييزها المكانية 2m كما تم تحديد إحداثياتها من خلال رفع باستخدام مستقبل GPS. وقد بيّنت نتائج الدراسة أنه يمكن الحصول على أدق تصحيح هندسي باستخدام نقاط ضبط دقتها المكانية من فئة دقة التمييز المكانية للمرئية. كما بيّنت أن استخدام نقاط ضبط أكثر دقة لن يكون ذا فائدة في رفع الدقة الهندسية لتصحيح المرئية وذلك لأن قياس هذه النقاط على المرئية سيواجه مشكلة وضوحها على المرئية وهي مسألة ترتبط بدقة تمييز هذه المرئية.

الكلمات المفتاحية: الدقة المكانية، تصحيح هندسي، نقاط الضبط، دقة تمييز مكانية.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطّبوغرافيّة – كلّيّة الهندسة المدنيّة – جامعة تشرين – اللاّذقيّة – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (5) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (5) 2018

The effect of positional precision of control points on the quality of geometric correction of high spatial resolution satellite images

Dr. Ahmad Salman Ali *

(Received 4 / 7 / 2018. Accepted 2 / 9 / 2018)

□ ABSTRACT □

In order to produce grand scale topographic maps, the new generation of sensors provides us with high- spatial resolution images. However, before using these images, they must be geometrically corrected, a process that is affected by errors, some of which are related to the nature of the original data (images), and others resulting from the processing process. The last type of error is due to algorithms for correcting geometric distortions as well as to external data (control points) needed by correction process and resampling algorithms.
This study aims is to analyze the effect of spatial accuracy of the control points on the images geometric correction accuracy, and this is done by applying tests on the same image (IKONOS), where polynomial transformations were applied using sets of control points, each with absolute accuracy different from the other. These points were extrapolated from a 1/1000 topographic map and from a georeferenced MOMS satellite image with geometric accuracy of 2m and measured by GPS. The study showed that it is possible to obtain the most accurate geometric correction by using control points with absolute accuracy close to the spatial resolution of the image. It also showed that the use of more precise control points would not ameliorate the accuracy of the geometric correction, because the measurement of these points on the image is limited by its spatial resolution.

Key words: Spatial precision, Geometric correction, Control points, Spatial resolution.

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

مقدّمة

يوفر التطور التقني للمستشعرات Sensors التي تستخدمها الأجيال الجديدة من الأقمار الصناعية، مثل IRS-1CD pan، IKONOS، Quickbird و OrbView، للعاملين في مجال الاستشعار عن بعد، الحصول على مرئيات ذات دقة تمييز مكانية Spatial resolution عالية جداً يمكن مقارنتها مع دقة التمييز المكانية للصور الجوية Aerial photography (دقة تمييز سنتيمترية أو ديسيمترية). ولكن استخدام هذه المرئيات من أجل غايات كارتوغرافية (صناعة الخرائط) **[1]**،**[2]** ودمجها داخل نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (GISs) وأخذ مسألة مزج البيانات بعين الاعتبار **[3]**، يلزمنا القيام بعملية تصحيح هندسي Geometric correction دقيق للمرئيات.

تعاني المرئيات الفضائية من مجموعة من التشوهات التي تؤثر على نوعيتها الهندسية. هذا، ويمكن تقسيم هذه التشوهات إلى تشوهات نظامية Systematic deformations (مرتبطة بنظام تسجيل المرئيات) وتشوهات غير نظامية Random deformations يتم التخلص منها بعملية التصحيح الهندسي لهذه المرئيات، والتي تعاني بدورها من العديد من الأخطاء. يرتبط جزء من هذه الاخطاء بالبيانات الأساسية بينما يرتبط بعضها الآخر بعمليات المعالجة. وهذه الأخيرة، يمكن أن تنشأ عن خوارزميات تصحيح التشوهات الهندسية، من البيانات الخارجية اللازمة للتصحيحات (نقاط الضبط Control points) وأيضاً من خوارزميات إعادة الاعتيان Resampling algorithmes **[4]**.

سيتم في هذا البحث، التركيز على البيانات الخارجية المتمثلة بنقاط الضبط والتي تسمح بتثبيت معاملات تحويل المرئية الخام إلى مرئية مرجعة جغرافياً أو مصححة هندسياً. إن الدقة المكانية لهذه النقاط، نوعها، عددها ونمط توزعها هي أهم العوامل التي تتحكم بعملية التصحيح الهندسي. لقد ناقَشَت معظم الدراسات السابقة، تأثير نمط توزع نقاط الضبط وعددها ونوعها على نتائج اتصحيح المرئيات [5] لكنها لم تناقش تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط على نتائج التصحيح الهندسي للمرئية.

سنناقش في هذه الدراسة تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط على نوعية التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية وذلك عند تطبيق خوارزميات الطريقة المباشرة في التصحيح Non-parametric approach. إن ميزة هذه الطريقة هي أنها لا تتطلب معرفة الآليات التي تسبب التشوهات **[6]** كما لا تتطلب معرفة معاملات توجيه آلة التصوير. وبمعنى آخر، يعتبر الأسلوب المباشر مستقلاً عن آلة التصوير المستخدمة في التقاط الصورة. وتجب الإشارة إلى أنه تتوفر عدة نماذج رياضية Mathematical Models في الأسلوب المباشر من أجل القيام بتقويم الصور **[7]** ومن هذه النماذج نجد نموذج كثيرات حدود Polynomials التي تربط إحداثيات المرئية مع إحداثيات محددة في المشهد (نقاط الضبط). وبشكل عام يمكن القول أن توفر عدد كاف من نقاط الضبط مع توزع جيد لها سيضمن دقة هندسية لحساب العلاقة بين الصورة والمشهد **[8]** وذلك لأنه سيؤمن التخلص من معظم التشوهات الهندسية في الصورة.

ستتم عملية تقييم تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط من خلال إجراء اختبارات متعددة باستخدام نفس المرئية الفضائية (مرئية من النوع IKONOS لمحافظة اللاذقية).

أهمية البحث وأهدافه

تشكّل المرئيات الفضائية ذات دقة التمييز المكانية العالية مصدراً أساسياً لصناعة الخرائط الطبوغرافية Topographic maps ذات المقاييس الكبيرة. وبما أن تصحيح هذه المرئيات هو خطوة أساسية قبل البدء بأي عملية اقتطاع للمعطيات المكانية منها، فإنه من المهم مناقشة تأثير نقاط الضبط على النوعية الهندسية لهذا التصحيح.

إن الهدف الأساسي لبحثنا هو فقط دراسة تأثير الدقة المكانية لتوضع هذه النقاط على نتائج التصحيح، وذلك مع الحفاظ على نفس التوزع لنقاط الضبط، نفس العدد، نفس التحويل الهندسي ونفس طريقة إعادة الاعتيان وبتغيير الدقة المكانية فقط لهذه النقاط. بالنسبة لتغيير الدقة المكانية فسيتم عبر استخدام نقاط ضبط تم استقراء إحداثياتها من مصادر مختلفة الدقة.

وكهدف ثانوي، يسعى هذا البحث لاختبار التحويلات الهندسية Geometric transformation المتوفرة في حزم برامجية تجارية (مثل ArcGIS و Raster Design) والمستخدمة من قبل غير المختصين في الاستشعار عن بعد. إن هذا البحث سيرفد هؤلاء بمنهجية وبتوصيات للاستفادة من المرئيات كمصدر للبيانات المكانية الدقيقة في أعمالهم الهندسية المختلفة.

طرائق البحث ومواده

تقوم طريقة البحث على إجراء مقارنات بين قيم الأخطاء متوسطة التربيع لعملية تصحيح مرئية ذات دقة تمييز مكانية عالية وذلك بتطبيق التصحيح بالطريقة المباشرة التي تستخدم كثيرات الحدود. ولضمان منطقية المقارنة وعزل تأثير تغير الدقة المكانية لتوضُّع نقاط الضبط عن باقي العوامل، سنقوم في الاختبارات بتثبيت نمط توزع نقاط الضبط وعددها ودرجة كثير الحدود المستخدم. أما المتغير الوحيد فهو الإحداثيات المستقرأة لنقاط الضبط، حيث سنقوم باستقرائها من عدة مصادر ذات دقات توقيع مكانية مختلفة.

أما البيانات والمواد المتوفرة للبحث فهي:

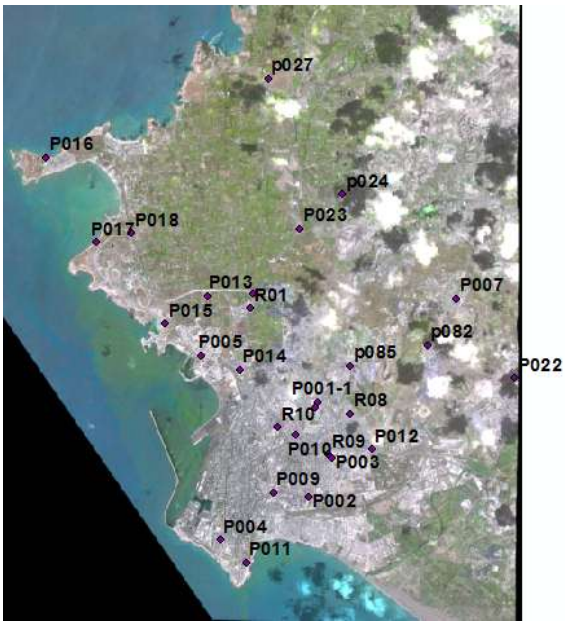
1. مرئية فضائية عالية الدقة من النوع IKONOS– panochromatic (التقطت في العام 2005) دقة تمييزها المكانية تساوي إلى 1 m. تغطي هذه المرئية جزءاً من محافظة اللاذقية، وهي موضحة في الشكل (1). المرجع المكاني الأصلي لهذه المرئية هو نظام الارتسام العالمي WGS84 UTM Zone 37N.
2. مخطط طبوغرافي من المقياس 1/1000 يغطي جزءاً من محافظة اللاذقية، الشكل (2)، وهو مُعطى داخل النظام الستيريوغرافي السوري. وبحسب المعايير المبينة في **[9]**، تبلغ الدقة المكانية لقياس الموقع الأفقي للنقاط على هذا المخطط القيمة: $0.25 * Scale = 0.25\ m$.
3. مرئية فضائية لجزء من محافظة اللاذقية، الشكل (3)، مُلتَقَطة من قبل القمر الصناعي الألماني MOMS (Modular Optoelectronic Multispectral Scanner) بدقة تمييز مكانية تساوي 2 m/pixel وهي مرجعة داخل النظام الستيروغرافي السوري. إذا اعتبرنا أن القياسات على هذه المرئية ستتم بدقة نصف بكسل، وأن دقة القياس على الخارطة التي يمكن استنتاجها منها يجب أن تساوي 0.1 mm من المقياس، فإننا نحصل على مقياس هذه الخارطة من خلال العلاقة التالية **[10]**:

$$Scale = \frac{R_I}{2 * 10^{-4}} \qquad (1)$$

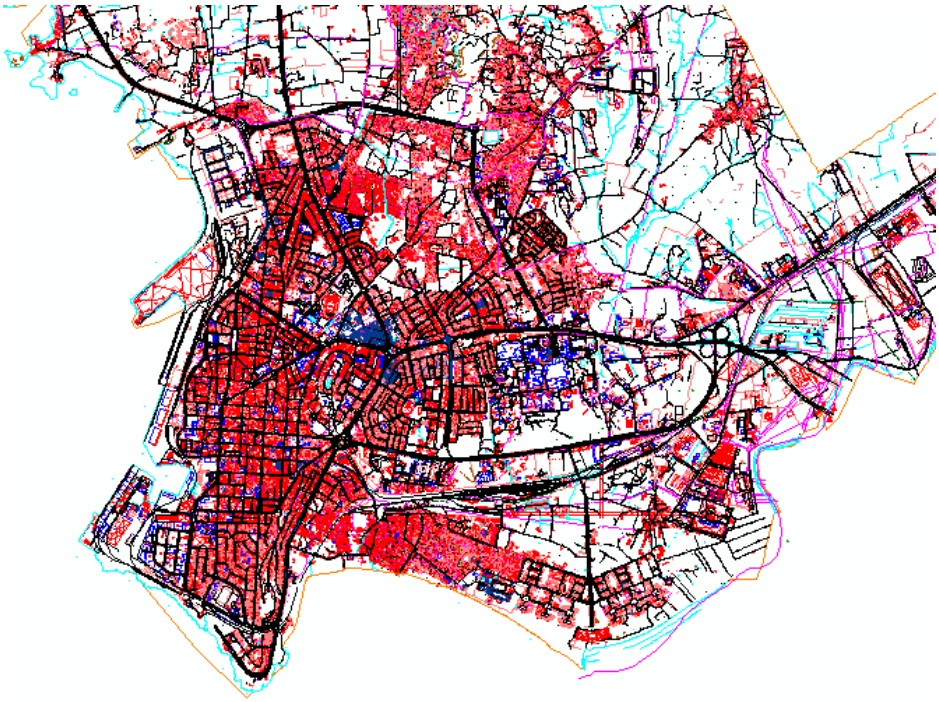
حيث R_I هي دقة التمييز المكانية للمرئية بالميليمتر و Scale هو مخرج مقياس الخارطة الطبوغرافية. وبالتالي، يمكن الحصول على خارطة مقياسها 1/10000 من هذه المرئية. تبلغ الدقة المكانية لقياس الموقع الأفقي للنقاط على هذا الخارطة ما مقداره: $0.25 * Scale = 2.5\ m$.

4. شبكة من النقاط المقاسة في الجملة العالمية WGS-1984، والتي يبلغ عددها 25 نقطة تم قياسها باستخدام أجهزة استقبال GPS وذلك بالطريقة الساكنة ولفترات قياس مختلفة. تم الحصول على إحداثيات هذه النقاط في الجملة WGS-1984 من المديرية العامة للموانئ في مدينة اللاذقية. هذا، وتبلغ الدقة الأفقية المكانية لهذه النقاط 10 cm. تم لاحقاً تحويل إحداثياتها إلى الجملة الستيريوغرافية، ويبين الجدول (1) إحداثيات هذه النقاط في الجملة WGS-1984 مع مدة قياسها، كما يبين الجدول (2) إحداثيات هذه النقاط في النظام الستيريوغرافي السوري، أما الشكل (1) فيوضح توزع هذه النقاط.

5. مجموعة من البرمجيات أهمها البرنامج ArcGIS 10.2 وذلك لإنجاز عملية تصحيح المرئية الفضائية، والبرنامج *GeoCoords* **[11]** الذي تم استخدامه لتحويل الإحداثيات من الجملة العالمية WGS-1984 إلى النظام الستيريوغرافي السوري.



الشكل (1). الصورة الفضائية IKONOS لجزء من محافظة اللاذقية مع توزع نقاط GPS عليها.



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

الشكل (3). مرئية فضائية MOMS لجزء من محافظة اللاذقية.

الجدول (1). إحداثيات النقاط GPS في النظام WGS-1984 مع عدد ساعات الرصد بالطريقة الساكنة

اسم النقطة	خط عرض			خط طول			عدد ساعات الرصد
	درجة	دقائق	ثواني	درجة	دقائق	ثواني	
R01	35	33	17.40	35	46	45.67	23.00
R08	35	32	0.33	35	48	20.81	5.00
R09	35	31	29.58	35	48	2.19	18.13
R10	35	31	48.50	35	47	14.37	17.24
P001	35	32	4.51	35	47	48.13	1.00
P022	35	32	31.57	35	50	51.35	1.39
P023	35	34	18.22	35	47	28.99	0.45
p024	35	34	45.38	35	48	7.68	1.01
p025	35	33	28.46	35	46	47.99	1.21
p082	35	32	54.34	35	49	29.73	0.20
p085	35	32	36.44	35	48	19.67	0.50
P011	35	30	6.08	35	46	50.23	0.53
P012	35	31	34.39	35	48	41.92	1.05
P002	35	30	57.18	35	47	45.61	1.09
P013	35	33	25.49	35	46	6.13	1.19
P003	35	31	27.03	35	48	6.22	0.58
P004	35	30	22.49	35	46	25.46	1.33
P005	35	32	40.43	35	46	2.08	0.46
P009	35	30	59.35	35	47	12.88	1.21
P010	35	31	43.33	35	47	31.98	1.41
P014	35	32	30.64	35	46	38.20	1.10
P015	35	33	3.53	35	45	27.86	0.47
P016	35	35	5.30	35	43	33.96	0.15
P017	35	34	3.07	35	44	22.27	1.25
P018	35	34	10.77	35	44	54.39	0.45

الجدول (2). إحداثيات النقاط GPS بعد تحويلها إلى النظام الستيريوغرافي السوري

اسم النقطة	X (m)	Y (m)
R01	-305634.96	155392.42
R08	-303318.70	152938.07
R09	-303819.29	152006.23
R10	-305004.13	152629.38
P001	-304137.49	153094.24
P022	-299495.90	153775.08
P023	-304481.59	157229.87
p024	-303479.96	158034.16
p025	-305565.32	155731.23
p082	-301528.04	154544.41

154051.32	-303310.34	p085
149494.19	-305717.75	P011
152121.16	-302813.66	P012
151021.96	-304270.20	P002
155675.12	-306622.26	P013
151924.25	-303720.28	P003
150020.60	-306324.81	P004
154290.27	-306770.99	P005
151116.32	-305092.19	P009
152455.17	-304565.98	P010
153958.31	-305871.51	P014
155031.19	-307608.47	P015
158880.05	-310348.44	P016
156921.43	-309197.66	P017
157131.29	-308381.20	P018

النتائج والمناقشة

تضم المنهجية العملية المقترحة للتحقق من تأثير الدقة المكانية لنقاط الضبط على التصحيح الهندسي للمرئية الفضائية IKONOSالمراحل التالية:

1. تثبيت عدد وتوزع نقاط الضبط المعطاة في الجدول (2) لكل حالات استقراء نقاط الضبط وكذلك تثبيت نوع ودرجة التحويل المستخدم لكل عمليات تصحيح المرئية IKONOS باستخدام نتائج الاستقراء المختلفة. إن المتغير الوحيد هنا هو الدقة المكانية لنقاط الضبط المستخدمة.
2. استقراء إحداثيات نقاط الضبط السابقة باستخدام المرئية المرجعة MOMS وباستخدام المخطط الطبوغرافي ذي المقياس 1/1000.
3. تصحيح المرئية IKONOS وذلك:

a. باستخدام النقاط المستقرأة من المرئية المرجعة MOMS والتي تعطي خارطة ذات دقة مكانية مساوية لـ 2 m.

b. باستخدام النقاط المستقرأة من المخطط الطبوغرافي ذي الدقة المكانية المساوية لـ 25 cm.

c. باستخدام النقاط المعطاة في الجدول (2) ذات الدقة المكانية المساوية لـ 10 cm.

الهدف من عمليات التصحيح المتعددة السابقة هو معرفة تأثير زيادة الدقة المكانية لنقاط الضبط على نتائج تصحيح المرئية وذلك عبر مقارنة نتائج هذه العمليات.

✓ **استقراء نقاط الضبط من المرئية MOMS ومن المخطط الطبوغرافي**

قمنا باستقراء إحداثيات نقاط الضبط من المرئية MOMS ومن المخطط الطبوغرافي ذي المقياس 1/1000 فوجدنا القيم التالية المعطاة في الجدول (3):

الجدول (3). إحداثيات نقاط الضبط المستقرأة من المرئية MOMS ومن المخطط الطبوغرافي

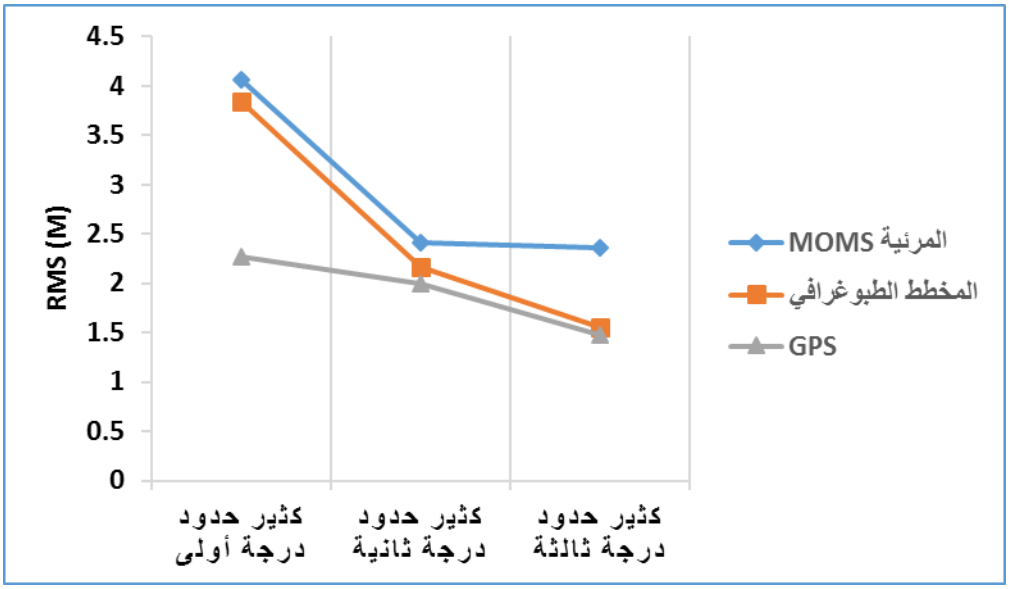
المخطط الطبوغرافي 1/1000		المرئية MOMS		اسم النقطة
Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	
155392.47	-305634.86	155393.67	-305635.80	R01
152938.53	-303319.03	152936.44	-303317.34	R08
152006.56	-303819.64	152005.60	-303819.96	R09
152629.26	-305004.12	152630.38	-305002.81	R10
153094.45	-304137.30	153095.41	-304136.42	P001
153775.43	-299496.00	153774.03	-299495.65	P022
157229.66	-304481.35	157230.33	-304482.24	P023
158034.24	-303480.25	158032.91	-303481.16	P024
155731.04	-305565.04	155730.32	-305566.37	P025
154544.58	-301528.36	154545.27	-301527.71	P082
154051.04	-303310.49	154052.31	-303310.77	P085
149494.36	-305717.98	149494.65	-305717.34	P011
152121.25	-302813.70	152120.35	-302812.33	P012
151021.59	-304270.03	151020.70	-304269.77	P002
155674.97	-306622.08	155673.89	-306623.23	P013
151924.46	-303720.52	151923.66	-303719.53	P003
150020.72	-306324.54	150018.98	-306323.51	P004
154290.45	-306771.11	154289.74	-306771.51	P005
151116.50	-305092.27	151115.28	-305091.87	P009
152454.85	-304565.66	152453.98	-304565.28	P010
153958.53	-305871.28	153958.92	-305872.72	P014
155030.81	-307609.62	155030.33	-307609.04	P015
158879.80	-310348.17	158879.83	-310349.07	P016
156921.14	-309197.55	156921.85	-309198.71	P017
157131.58	-308381.43	157130.72	-308380.56	P018

✓ **تصحيح المرئية**

باستخدام نقاط الضبط المستقرأة من المرئية MOMS، قمنا بتصحيح المرئية IKONOS، ثم أعدنا عملية التصحيح باستخدام نقاط الضبط المستقرأة من المخطط الطبوغرافي، ثم قمنا أخيراً بإعادة التصحيح باستخدام النقاط GPS المعطاة في الجدول (2). قمنا بالحفاظ على عدد وتوزع هذه النقاط في كل عملية تصحيح. نشير إلى أنه قد تم استخدام البرنامج ArcGIS 10.2 للقيام بعملية التصحيح المرئية فحصلنا على النتائج التالية، الجدول (4) والشكل (4):

الجدول (4). نتائج تصحيح المرئية IKONOS باستخدام نقاط ضبط ذات دقة مطلقة مختلفة

مصدر نقاط الضبط	طريقة التصحيح	الخطأ المتوسط التربيع RMS على التصحيح
المرئية MOMS	كثير حدود درجة أولى	4.06 m
	كثير حدود درجة ثانية	2.41 m
	كثير حدود درجة ثالثة	2.36 m
المخطط الطبوغرافي	كثير حدود درجة أولى	3.84 m
	كثير حدود درجة ثانية	2.17 m
	كثير حدود درجة ثالثة	1.55 m
GPS	كثير حدود درجة أولى	2.27 m
	كثير حدود درجة ثانية	1.99 m
	كثير حدود درجة ثالثة	1.48 m



الشكل (4). نتائج تصحيح المرئية IKONOS باستخدام نقاط ضبط ذات دقة مطلقة مختلفة

✓ **تحليل النتائج**

1. نلاحظ من الجدول (4) أن قيم الأخطاء المتوسطة التربيع على التصحيح، العامود الأخير من الجدول (4)، في كل الحالات المدروسة لا تتجاوز حد التساهل والمعطى بالمعادلة (2):

$$RMS_T \leq (4 \rightarrow 6).GR(in\ \ meters) \qquad \textbf{(2)}$$

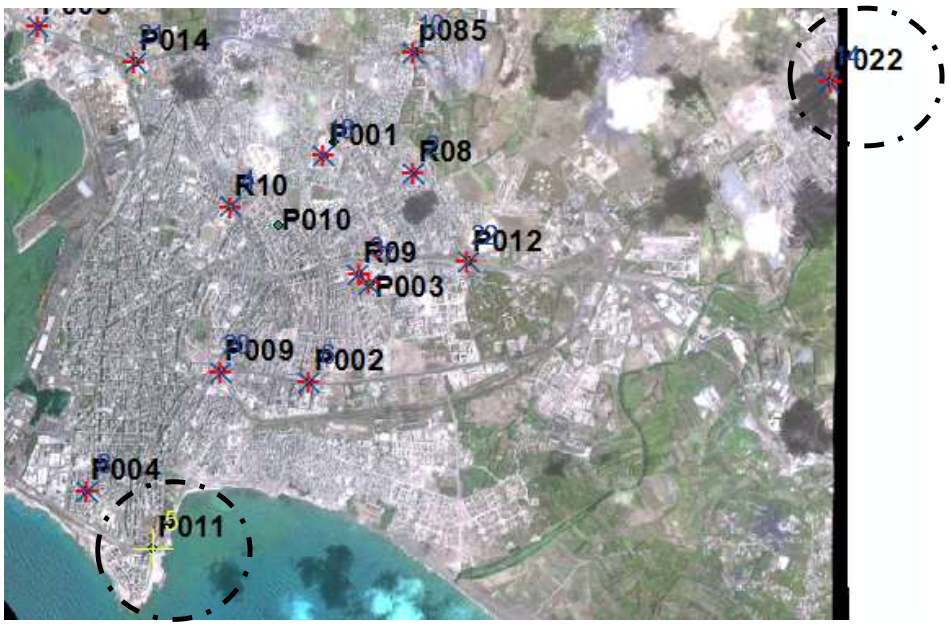
حيث GR هي دقة التمييز الأرضية Ground Resolution أو ما يمثله البكسل الواحد على الأرض **[12]** (والتي تساوي في مثالنا 1 m)، وبالتالي فالحد المسموح للخطأ متوسط التربيع على التصحيح يتراوح بين 4 m و 6 m.

2. فيما يخص نتائج التصحيح باستخدام نقاط الضبط المستقرأة من المرئية MOMS، نلاحظ مايلي:

a) قيمة الخطأ متوسط التربيع للتصحيح (4.06) مقبولة عموماً ولكنها تجاوزت القيمة الأدنى لحد التساهل المقبول (4 متر) في حالة تطبيق كثير الحدود من الدرجة الأولى. إن هذا عائد إلى مجموعة من الأسباب، منها صعوبة قياس بعض النقاط على المرئية، ومنها أيضاً الأخطاء التي تحملها هذه المرئية والناتجة عن تحويلها إلى الجملة الستيرغرافية السورية. كما لاحظنا أيضاً أن الرواسب على بعض النقاط كبيرة جداً مثل النقاط P022 (بحدود 9 m) و P011 (بحدود 7 m) والتي نتجت عن وقوع هذه النقاط على أطراف المرئية، الشكل (5). كما لاحظنا أن حذف هذه النقاط لايُحسّن كثيراً من نتائج التصحيح.

b) بتطبيق المعادلة (3)، والتي تربط بين قيمة الخطأ متوسط التربيع ومقياس الخارطة الممكن إنتاجها من المرئية المرجعة، يمكننا الحصول على خارطة دقتها الأفقية المكانية تناسب تقريباً المقياس 1/10000 (وذلك باعتماد النتائج الأفضل لهذا التصحيح أي حالة كثير حدود من الدرجة الثالثة) وهذا يؤدي في رأينا إلى فقدان الكثير من البيانات الهندسية الذي يمكن ان تقدّمها المرئية من النوع IKONOS.

$$Scale = (RMS_{XY} * 1000)/0.2 \qquad \textbf{(3)}$$



الشكل (5). توضيح للنقاط الواقعة على أطراف المرئية والتي تحمل رواسب كبيرة.

3. فيما يخص دقة التصحيح باستخدام نقاط الضبط المُستَقرَأة من المخطط الطبوغرافي، نلاحظ مايلي:

a. تحسّنت دقة التصحيح مقارنةً بدقة التصحيح المنفّذ باستخدام نقاط الضبط المستقرأة من المرئية MOMS ولكنها لم تبلغ الحد المتوقع، وذلك إذا تذكرنا أن دقتها المكانية هي 25 cm. إن هذا عائد، في الأساس، إلى صعوبة تمييز بعض نقاط الضبط على المرئية والتي تبلغ دقتها المكانية 4 أضعاف الدقة المكانية لنقاط الضبط. ومن ناحية أخرى، لا تعاني النقاط المسقرأة من المخطط الطبوغرافي من مشكلة الإزاحة الناتجة عن الارتفاع والتي تظهر في المرئيات (ارتسام مركزي). وبسبب هذه المشكلة، لاحظنا أن نقاط الضبط التي تقع أعلى الأبنية تعاني من رواسب كبيرة تصل إلى 8 m في بعض النقاط وهذا ما أثر على دقة التصحيح.

b. بحذف النقاط السابقة، والتي اعتبرت شاذة نتيجة وقوعها على عناصر مرتفعة، حصلنا على خطأ متوسط التربيع مساو لـ 0.93 m بعد تطبيق تحويل كثير حدود من الدرجة الثالثة. إذا اعتمدنا نتائج هذا التصحيح وقمنا بتطبيق المعادلة (3) فإنه يمكننا الحصول على خارطة دقتها الأفقية المكانية تناسب تقريباً المقياس 1/5000 وهذا هو المقياس المتوقع من هذا النوع من المرئيات وذلك حسب المعادلة (1) التي تربط دقة تمييز المرئية (مساو لـ 1 m في حالتنا) مع مقياس الخارطة.

c. بالرغم من زيادة الدقة المكانية لنقاط الضبط في حالة المخطط الطبوغرافي، فإن قيمة الخطأ المتوسط التربيع للتصحيح لم تصل إلى قيمة أصغر أو تساوي دقة التمييز الأرضية للمرئية الأصلية.

4. فيما يخص دقة التصحيح باستخدام نقاط الضبط المقاسة بالـ GPS، نلاحظ مايلي:

a. تحسّنت دقة التصحيح مقارنة بدقة التصحيح المنفّذ باستخدام نقاط الضبط المستقرأة من المخطط الطبوغرافي ولكنها لم تبلغ أيضاً الحد المتوقع (الدقة المكانية لهذه النقاط هي 10 cm). إن هذا عائد لنفس الأسباب التي عرضناها مسبقاً إضافةً إلى المشاكل المرتبطة باستخدام الـ GPS في الوسط الحضري وتفاوت مدة الرصد من نقطة إلى أخرى، راجع الجدول (1).

b. بحذف النقاط التي اعتبرت شاذة، حصلنا على خطأ متوسط التربيع مساو لـ 0.98 m بعد تطبيق تحويل كثير حدود من الدرجة الثالثة، ونلاحظ أنها ليست أفضل من حالة المخطط الطبوغرافي بالرغم من أفضلية الدقة المكانية لنقاط الضبط GPS على مقابلاتها المستقرأة من المخطط الطبوغرافي.

c. إذا اعتمدنا نتائج هذا التصحيح السابق، وقمنا بتطبيق المعادلة (3) فإنه يمكننا الحصول على خارطة دقتها الأفقية المكانية تناسب تقريباً المقياس 1/5000 وهذا هو المقياس المتوقع من هذا النوع من المرئيات وذلك حسب المعادلة (1).

d. مرةً أخرى، نلاحظ أنه بالرغم من زيادة الدقة المكانية لنقاط الضبط في حالة GPS، فإن قيمة الخطأ المتوسط التربيع للتصحيح لم تصل إلى قيمة أصغر أو تساوي دقة التمييز الأرضية للمرئية الأصلية.

الاستنتاجات والتوصيات

انطلاقاً من الدراسة السابقة، نستنتج أن زيادة الدقة المكانية لنقاط الضبط المستخدمة في تصحيح المرئيات الفضائية، يحسّن من النوعية الهندسية لهذا التصحيح ولكن إلى حدّ معيّن. لقد بيّنت التجربة أنه عند توفر أفضل الشروط الخاصة بنقاط الضبط من ناحية العدد، نمط التوزيع والدقة المكانية المرتفعة، مع استخدام التحويل الهندسي الأفضل، فإنه لا يمكن بأي حال من الأحوال أن تكون القيمة العددية للدقة الهندسية للتصحيح أقل من دقة تمييز المرئية المستخدمة.

تم التوصل، في نهاية البحث، إلى التوصيات التالية:

1. عند القيام بتحضير نقاط الضبط من أجل استخدامها في تصحيح مرئية فضائية، يجب أن تكون الدقة المكانية لهذه النقاط من فئة قريبة من دقة تمييز المرئية المُرجَعة وذلك كي نتمكن من قياسها بدقة على المرئية.
2. يجب توفير شروط محددة لنقاط الضبط المستخدمة من ناحية التوزيع الموحد والعدد الكافي وكذلك من ناحية اختيار نوع التحويل الهندسي المناسب.
3. يجب الحرص على عدم استخدام نقاط الضبط الموجودة على عناصر مرتفعة في المرئية وذلك لتجنب مشكلة الإزاحة الناتجة عن الارتفاعات، والتي لا يمكن حلها برفع الدقة المكانية لنقاط الضبط.

المراجع

[1] RIDLEY، H.، ATKINSON، P.، ALPIN، P.، MULLER، J-P and DOWMAN، I. 1997. Evaluating the potential of the forthcoming commercial U.S high-resolution satellite sensor imagery at the ordnance survey(r). Photogrammetry & Remote Sensing. Vol63، n8، p.997-1005. 1997.

[2] RONGXING، L. 1998. Potential of high-resolution satellite sensor imagery for national mapping products. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol64، n12، p.1165-1169. 1998.

[3] TOUTIN، T. 1995. Intégration de données multisources : comparaison de méthodes géométriques et radiométriques. International Journal of Remote Sensing. Vol16، n15، p.2795-2811. 1995.

[4] WILMET، J. 1996. Télédétection aérospatiale. Méthodes et applications. SIDES. Fontenay-sous-Bois. 300p. 1996.

[5] الخليل، عمر.2015. تأثير نقاط الضبط على الطريقة المباشرة لتصحيح التشوهات الهندسية في الصور القريبة. مجلة جامعة تشرين للعلوم الهندسية.2015.

[6] D. T. PAI.، 2010. Auto rectification for robotic helicopter aerial imaging. Thesis Master of Sci-ence in Computer Science، San Diego State University، 2010.

[7] VALADAN ZOEJ M. J.، 1997، Mathematical Modeling and Geometric Accuracy Testing of MOMS-O2 Imagery، IRAN.

[8] L، HUNG LIEW.، B.Y، LEE.، Y.C، WANG.، W، CHEAH.، 2013. Aerial Images Rectification Using Non-parametric Approach. In Journal of Convergence. Volume 4، Number 2،. p.15-21. 2013.

[9] ASPRS. 1990. ACCURACY STANDARDS FOR LARGE-SCALE MAPS. 1990 www.asprs.org/a/society/committees/standards/1990_jul_1068-1070.pdf (visited on 6/09/2017)

[10] COMER، R.P.، KINN، G.، LIGHT، D.، MONDELLO، C.، 1998 : "Talking Digital". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing، Vol. 64، No. 12.

[11] حمودي، غنوة.، الخليل، عمر.، القاموع، أديب. 2011. المساهمة في وضع نظام حاسوبي لتحويل الإحداثيات من نظام إحداثيات جيوديزي مركزي إلى نظام إحداثيات محلي. رسالة ماجستير مقدمة في قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين. 2011.

[12] الخليل، عمر. معايير للتحقق من الدقة الهندسية للتصحيح الهندسي للصور الفضائية. مجلة جامعة تشرين للعلوم الهندسية.2016.