

## Evaluation of the effect of control points pattern on the geometric deformations correction in satellite images

Dr. Omar Al Khalil\*  
Dr. Ahmed Ali\*\*  
Khoulod Aldabel\*\*\*

(Received 18 / 10 / 2017. Accepted 21 / 12 / 2017)

### □ ABSTRACT □

There are many sources that cause the emergence of geometric deformations in satellite images. These deformations are accumulated and not present singly in the image. Therefore, it is necessary to correct the image by applying a process called "geometric correction".

Two methods are available to correct the images. These ones are the parametric and the non-parametric methods. Non-parametric approach does not require knowledge of the parameters of the used sensor. Control points and geometric transformations are considered as the two main components in the non-parametric approach.

Usually, barrel and perspective deformations are present in satellite images. In this paper, we will study the impact of the distribution of control points and the degree of geometric transformation on the correction of the image of these deformations. This paper presents simulation test to investigate the effect of three different distribution patterns of control points on three different distortions and three types of geometric transformation using grid images. It has been demonstrated that the control points located in different parts of the image have different deformation rates, the control points distributed in the center of the image suffers less deformations.

**Key words:** Geometric deformations, Control points, Geometric transformation, Geometric correction, Satellite images.

---

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

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

\*\*\* Master student, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## تقييم تأثير نمط توزيع نقاط الضبط على تصحيح التشوهات الهندسية في المرئيات الفضائية

الدكتور عمر الخليل \*

الدكتور أحمد علي \*\*

خلود الدبل \*\*\*

(تاريخ الإيداع 18 / 10 / 2017. قُبل للنشر في 21 / 12 / 2017)

### □ ملخص □

تنشأ التشوهات الهندسية في المرئيات الفضائية من عدة مصادر وهي تؤثر على كامل المرئية بشكل مشترك. وهذه التشوهات تؤثر على النوعية الهندسية للبيانات المكانية المقطعة من المرئية ولذلك لا بد من تصحيحها قبل ذلك بعملية تسمى التصحيح الهندسي.

يتوفر أسلوبان لتصحيح المرئيات هندسياً وهما الأسلوب غير المباشر Parametric approach والأسلوب المباشر Non-parametric approach وهو لا يتطلب معرفة معاملات المستشعر المستخدم. تعتبر نقاط الضبط Control points والتحويلات الهندسية مكونين أساسيين في الأسلوب المباشر للتصحيح.

عادة ما تتواجد تشوهات التكور Barrel والمنظورية Perspective (شاقولية وأفقية) في المرئيات الفضائية. في هذا البحث سنقوم بدراسة تأثير نمط توزيع نقاط الضبط ودرجة التحويل الهندسي على تصحيح المرئية من هذه التشوهات. تم إجراء الاختبار بطريقة المحاكاة للتحقق من تأثير ثلاثة أنماط توزيع مختلفة من نقاط الضبط على تصحيح ثلاثة تشوهات مختلفة باستخدام ثلاثة أنواع من التحويلات الهندسية (كثيرات الحدود) مطبقة على مرئيات لها شكل شبكة. لقد تمت البرهنة على أن نقاط الضبط المتواجدة في مناطق مختلفة من الصورة تملك نسب تشوه مختلفة وأن نقاط الضبط الموزعة في مركز المرئية تعاني تشوهاً أقل.

**الكلمات المفتاحية:** التشوهات الهندسية، نقاط الضبط، التحويل الهندسي، التصحيح الهندسي، المرئيات

الفضائية.

\* أستاذ مساعد . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا .

\*\* أستاذ مساعد . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا .

\*\*\* طالبة دراسات عليا - ماجستير . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا .

## مقدمة

تعتبر المرئيات الفضائية Satellite images الملتقطة من قبل مستشعرات التوابع الصناعية مصدراً مهماً للحصول على المعطيات المكانية Spatial Data ثنائية وثلاثية الأبعاد اللازمة لأغراض نمذجة العناصر والتعبير عنها ببعدين أو بثلاثة أبعاد. ولكن هذه المرئيات تعاني من تشوهات هندسية Geometric deformations متعددة المصادر، وهي تتراكم داخل هذه المرئيات ولا تظهر بمفردها وبالتالي فهي تؤثر على النوعية الهندسية للمرئية ككل، وهذا يعني أنه يجب قبل استخدام هذه المرئيات في الحصول على معطيات مكانية تخص العنصر المصور، المرور بمرحلة تصحيح، وهي عملية تهدف بشكل رئيسي إلى التخلص من التشوهات التي تؤثر على دقة المعطيات الهندسية المقطعة من هذه المرئيات.

تعتبر التشوهات الهندسية من الأخطاء التي تظهر في كل المرئيات المستشعرة عن بعد. وأسباب ظهور هذه التشوهات في المرئيات متعددة، منها تزيغات Aberrations عدسات آلة التصوير وعدسات الجزء البصري في المستشعرات الفضائية، الإزاحة الناتجة عن الميلان والانزياحات الناتجة عن اختلاف المناسيب داخل المرئية. لقد تم إنجاز العديد من الأبحاث حول التشوهات الهندسية التي تخص الصور الجوية والمرئيات الفضائية. فمثلاً تم في [1] تقديم تحليل للتأثير الإفرادي لعدة أنواع من التشوهات الهندسية على صورة جوية أو مرئية فضائية ما.

فيما يخص عملية تصحيح المرئيات من التشوهات الهندسية، فهناك أسلوبان أساسيان هما الأسلوب غير المباشر Parametric approach والأسلوب المباشر Non-parametric approach. في الأسلوب غير المباشر يجب معرفة مصادر التشوهات في المرئية كما تتطلب نمذجة هذه التشوهات معرفة معاملات التوجيه الخارجي Exterior orientation، والتوجيه الداخلي Interior orientation لآلة التصوير المستخدمة وهو أمر غير متاح دائماً [2]. أما فيما يخص الأسلوب المباشر، فإنه لا يتطلب معرفة الآليات التي تسبب التشوهات [3] كما لا يتطلب معرفة معاملات توجيه آلة التصوير. وبمعنى آخر، يعتبر الأسلوب المباشر مستقلاً عن آلة التصوير أو المستشعر المستخدم في النقاط المرئية.

تعتبر التحويلات كثيرة الحدود Polynomials transformations من أهم النماذج الرياضية Mathematical Models المستخدمة في الأسلوب المباشر من أجل تصحيح المرئيات [4]. وهي نماذج تربط إحداثيات المرئية مع إحداثيات محددة في المشهد. هذا ويعتمد اختيارنا التقليدي لتطبيق كثير حدود ما على معيار دقته الهندسية والتي تتبع لمايلي: [5] عدد نقاط الضبط Control points المتوفرة، نمط توزيع نقاط الضبط في المشهد المصور، ونوعية التشوهات الهندسية الموجودة في المرئية. وبشكل عام، يمكن القول أن توفر عدد كاف من نقاط الضبط مع توزيع جيد لها، سيضمن دقة هندسية لحساب العلاقة بين المرئية والمشهد [6] وذلك لأنه سيؤمن التخلص من معظم التشوهات الهندسية في المرئية.

تعتبر التشوهات الناتجة عن ميلان محور آلة التصوير أو المستشعر Sensor (المنظورية Perspective) وتلك الناتجة عن تزيغات العدسة (التكور Barrel) هي الأكثر حضوراً في المرئيات الفضائية، لذلك سنقوم في هذا البحث بدراسة فعالية الطريقة المباشرة (كثيرات الحدود) في تصحيح هذه التشوهات. لإنجاز ذلك، سنقوم باختبار معيار الدقة الهندسية لتصحيح مرئية فضائية مقلدة على شكل شبكة من المربعات وذلك بعد تطبيق هذه التشوهات عليها باستخدام أحد برامج معالجة الصور. في هذا الاختبار، سنقوم بدراسة تأثير كل نوع من أنواع التشوهات الهندسية (كل

على حده) ومن ثم سندرس تأثير كل التشوهات مجتمعة على دقة التصحيح الهندسي المطبق وذلك بعد تغيير أنماط توزيع نقاط الضبط وعددها ودرجة التحويل المستخدم. سنستفيد هنا من المنهجية المطبقة في [7] و [8]. عملية التجريب هذه تمت بمساعدة أحد برمجيات تصحيح المرئيات والمتوفرة في العديد من نظم التصميم بمعونة الحاسب أو في برامج نظم المعلومات الجغرافية .

### أهمية البحث وأهدافه

تشكل المرئيات الفضائية مصدراً أساسياً للمعطيات المكانية في الكثير من التطبيقات مثل إنتاج الخرائط الطبوغرافية. وبما أن تصحيح هذه المرئيات من التشوهات الهندسية هو خطوة أساسية قبل البدء بأي عملية اقتطاع للمعطيات المكانية منها، فإنه من المهم تطبيق أفضل أسلوب تصحيح ممكن وذلك للحصول على أعلى مستوى من الدقة لهذه المعطيات. ومن هنا تظهر أهمية البحث فهو يسعى إلى تحقيق الأهداف التالية :

1. التعريف بأهم التشوهات الهندسية الموجودة في المرئيات الفضائية.
2. تطبيق التشوهات الهندسية السابقة ومن ثم تحديد أفضل توزيع لنقاط الضبط وأفضل تحويل كثير حدود في حال سيطرة تشوه هندسي معين على المرئية الفضائية. هذا الاختبار سيتم على صورة شبكة من المربعات.
3. اقتراح منهجية لاختبار التحويلات الهندسية المتوفرة في حزم برمجية تجارية (مثل ArcGIS و Raster Design) وإعطاء توصيات للاستفادة من المرئيات كمصدر للبيانات المكانية الدقيقة في مختلف الأعمال الهندسية.

### طرائق البحث ومواده

#### التشوهات الهندسية في المرئيات الفضائية

تعاني المرئيات الفضائية من العديد من التشوهات الهندسية أهمها التكرور والمنظورية (الشكل 1)). فيما يخص التكرور، فهو يسبب نوعاً من الانحناء في مرئيات الخطوط المستقيمة في الصورة وتزداد قيمته بالابتعاد عن المحور البصري Optical axis لعدسة آلة التصوير. وينتج هذا النوع من التشوهات عن تزيغات العدسة المستخدمة في آلة التصوير. أما تشوه المنظورية فهو يولد صورة تميل فيها الخطوط المستقيمة الأفقية أو الشاقولية في الصورة للتلاقي. هذا النوع من التشوهات ينتج عن ميل آلة التصوير أو المستشعر الفضائي.



الشكل (1). أهم أشكال تشوهات المرئيات الفضائية.

في واقع الأمر، لا يظهر كل من هذه التشوهات بمفرده، بل تتراكم التشوهات في المرئية الخام وتسبب تشوهات في علاقة الصورة مع المشهد الحقيقي المصور، وبالتالي فهي تؤثر على الدقة الهندسية للبيانات المكانية التي تقطع من هذه المرئية.

### 1.3. الطريقة المباشرة لتصحيح تشوهات المرئية

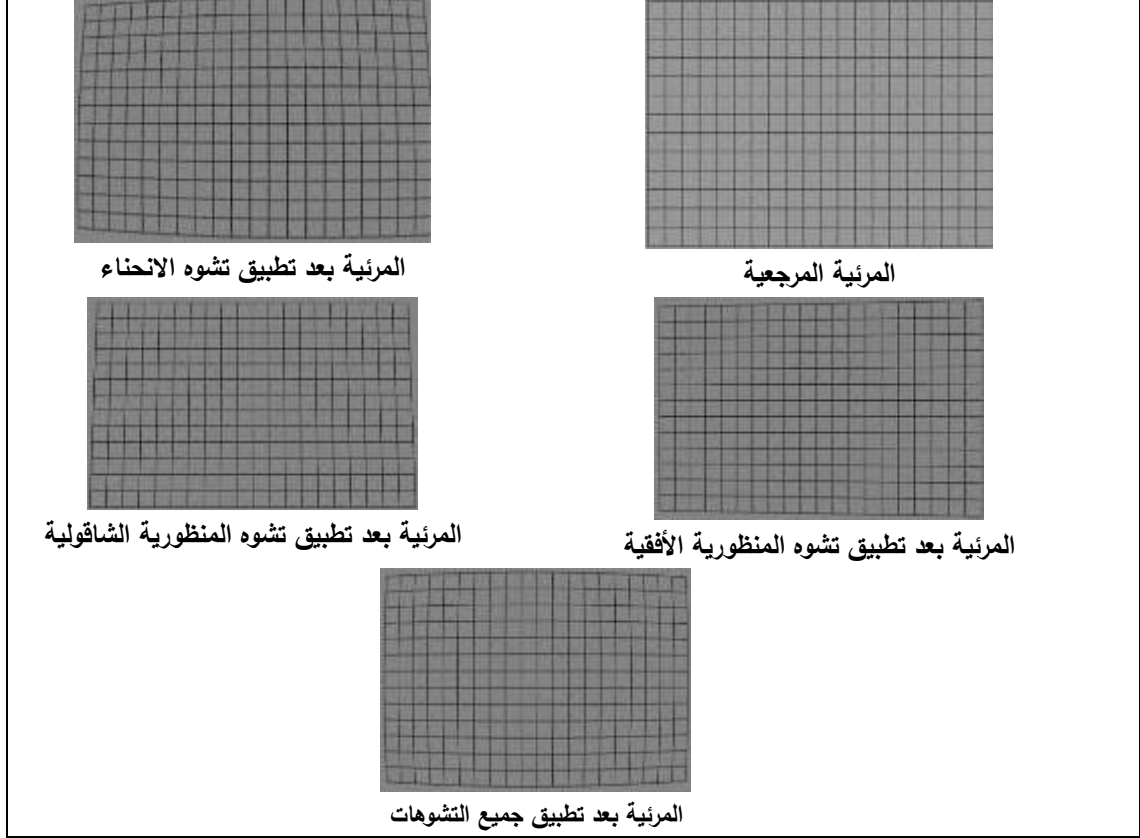
نظراً لكون النموذج الهندسي للكثير من المستشعرات المستخدمة في النقاط المرئية الفضائية والذي يعبر عن موقع وتوجيه هذه المستشعرات لحظة التقاط المرئية، غير متوفر فإنه لا بد من استخدام أسلوب مباشر (التحويلات كثيرة الحدود) في تصحيحها. يتم استخدام النماذج كثيرة الحدود في حساب التحويل بين نظام إحداثيات الصورة ونظام إحداثيات العنصر. يستخدم التحويل من الدرجة الأولى من أجل العناصر ذات الطبيعة المستوية أي التي يمكن التعبير عن سطحها باستخدام معادلة مستو وذلك لتصحيح التشوهات الخطية في المرئية. أما التحويلات من الدرجة الثانية أو الأعلى من الثانية، فهي تحويلات غير خطية تعبر عن إسقاط السطوح غير المستوية على مستو الصورة وتستطيع تصحيح التشوهات غير الخطية للسطح المصور. وتستخدم التحويلات من الدرجة الثالثة مع الصور الجوية المشوهة ومع المرئيات الرادارية. ونشير إلى توفر مجموعة من البرامج التجارية التي تملك أدوات فعالة للتعامل مع الصور منها إمكانية تصحيح المرئيات بتطبيق الأسلوب المباشر. سنقوم في هذا البحث باستخدام أحد هذه البرامج (البرنامج ArcGIS 10.2) لتطبيق عدة أشكال ودرجات من التحويلات كثيرة الحدود (أسلوب مباشر) وذلك على مرئية فضائية تمت محاكاتها على شكل مجموعة من المربعات حيث سيتم استخدام رؤوس هذه المربعات كنقاط ضبط. إن هذا يؤمن فائضاً في عدد نقاط الضبط مما يمكننا من تجريب عدة أنماط لتوزيعها.

### 2.2. محاكاة المرئيات والتشوهات

يقوم هذا البحث على مبدأ المحاكاة وذلك للتحقق من تأثير ثلاثة أنماط توزيع مختلفة من نقاط الضبط على تصحيح ثلاثة تشوهات مختلفة (موضحة في الشكل (1)) باستخدام ثلاثة أنواع من التحويلات الهندسية (كثيرات الحدود) مطبقة على مرئيات شبكية Grid images. تمثل هذه المرئيات صوراً لمشهد مستو تماماً وذلك من أجل عزل تأثير تشوه الإزاحة الناتجة عن الارتفاع والتركيز فقط على تشوهات الانحناء والمنظورية الشاقولية والأفقية. المرئيات الشبكية التي تم العمل عليها هي التالية:

1. مرئية شبكية مرجعية لا تحوي أية تشوهات نسميها المرئية المرجعية Reference image.
2. مرئية شبكية تحوي تشوه الانحناء والذي تم تطبيقه باستخدام البرنامج Photoshop. تم اعتماد القيمة 10- لهذا التشوه وهي قيمة مكافئة لتشوهات الانحناء الحقيقية التي تسببها عدسة آلة التصوير في أسوأ حالتها [6].
3. مرئية شبكية تحوي تشوه المنظورية الأفقية والذي تم تطبيقه باستخدام البرنامج Photoshop. تم اعتماد القيمة 10+ لهذا التشوه وهي قيمة مكافئة لتشوهات المنظورية الأفقية الحقيقية التي يسببها ميل محور التصوير في أسوأ الحالات الواقعية [6].
4. مرئية شبكية تحوي تشوه المنظورية الشاقولية والذي تم تطبيقه باستخدام البرنامج Photoshop. تم اعتماد القيمة 10+ لهذا التشوه وهي قيمة مكافئة لتشوهات المنظورية الشاقولية الحقيقية التي يسببها ميل محور التصوير في أسوأ الحالات الواقعية [6].
5. مرئية شبكية تحوي التشوهات السابقة جميعها والتي تم الحصول عليها باستخدام البرنامج Photoshop عن طريق دمج المرئيات السابقة.

تحتوي الشبكة المصممة 20 عاموداً و 13 سطرًا وقد تم تصميمها هي وجميع المرئيات الأخرى بحيث يكون حجمها  $3333 \times 2167$  بكسل أي ما يحاكي مرئية فضائية حقيقية. يمكن تحديد دقة التمييز المكانية لهذه الشبكة بتثبيت أبعاد البكسل التي نريدها وهي ليست ذات أهمية هنا، وذلك لأننا نتعامل مع الإحداثيات البكسلية وليس مع إحداثيات مترية.



شكل (2). المرئيات الشبكية المستخدمة في المحاكاة.

## النتائج والمناقشة

بما أنه يتوفر فائض كبير من نقاط الضبط (رؤوس مربعات المرئية المرجعية) فإننا نستطيع تجريب أنماط مختلفة من توزيع هذه النقاط في حساب معاملات التحويل الهندسي كثير الحدود المستخدم في تصحيح المرئية هندسياً. في بحثنا استخدمنا 30 نقطة ضبط تربط بين المرئية المرجعية ومقابلاتها في باقي المرئيات وذلك لإنجاز عملية التصحيح الهندسي لهذه الأخيرة. إن العدد 30 هو الأكثر شيوعاً في إنجاز التصحيح اليدوي للمرئيات من التشوهات الموجودة فيها [8]. ومن أجل إنجاز الاختبارات، والتي تهدف إلى مقارنة التأثيرات التي تسببها التغيرات في التوزيع النسبي لنقاط الضبط في المرئية على الدقة الهندسية للتحويلات كثيرة الحدود وعلى قدرتها على التخلص من التشوهات الهندسية الحاضرة في المرئية، سنقوم باعتماد معيار الخطأ متوسط التربيع RMS للتصحيح كمعيار عددي للمقارنة، حيث سيتم حساب هذا الخطأ لكل نمط من أنماط توزيع نقاط الضبط وتأثيرها على كل تشوه لوحده ومن ثم على التشوهات مجتمعة. أما عملية التصحيح بحد ذاتها، فتقوم على مبدأ تسجيل المرئية Image registration أي تصحيح مرئية بالنسبة لمرئية أخرى مصححة. تم عند الاختبارات، اعتماد الأنماط التالية من توزيع نقاط الضبط :

1. التوزع الموحد Uniform distribution : سنحرص هنا على اختيار مواقع نقاط الضبط المستخدمة في التصحيح بحيث تكون موزعة بشكل موحد على كامل المرئية المرجعية وباقي المرئيات.
2. التوزع المحيطي Border distribution : سنعتمد على نقاط ضبط واقعة على أطراف المرئية المرجعية وباقي المرئيات.
3. التوزع المركزي Central distribution : سنعتمد على نقاط ضبط واقعة في مركز المرئية المرجعية وباقي المرئيات.

وقمنا في كل مرة بتطبيق كثيرات حدود من الدرجات الأولى والثانية والثالثة.

#### أولاً : حالة التوزع الموحد

تم تصحيح المرئيات بالنسبة للمرئية المرجعية باستخدام 30 نقطة من نقاط الضبط والموزعة على كامل المرئيات فحصلنا على النتائج التالية :

الجدول (1). درجة التحويل الهندسي وأنواع التشوهات الخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزيع الموحد 30 نقطة ضبط

التحويل الهندسي			التشوه	نمط توزيع نقاط الضبط في المرئية									
درجة أولى RMS (pixel)	درجة ثانية RMS (pixel)	درجة ثالثة RMS (pixel)											
0.24164	13.55944	13.65555	تكوير	<p>موحد</p> <table border="1"> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-											
-	-	-											
-	-	-											
0.22991	0.31840	12.30398	منظورية شاقولية										
0.18489	0.26524	11.47686	منظورية أفقية										
0.90015	12.29657	22.51547	كلي										

#### ثانياً : حالة التوزع المحيطي

تم تصحيح المرئيات المشوهة باستخدام 30 نقطة من نقاط الضبط والموزعة على أطراف المرئيات فحصلنا على النتائج التالية :

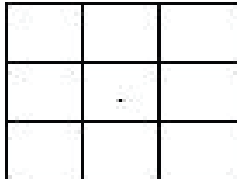
الجدول (2). درجة التحويل الهندسي، التشوهات والخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزيع المحيطي 30 نقطة ضبط

التحويل الهندسي			التشوه	نمط توزيع نقاط الضبط في المرئية									
درجة أولى RMS (pixel)	درجة ثانية RMS (pixel)	درجة ثالثة RMS (pixel)											
0.21502	13.78114	13.91881	تكوير	<p>محيطي</p> <table border="1"> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-											
-	-	-											
-	-	-											
0.22248	0.32726	12.79991	منظورية شاقولية										
0.17553	0.26927	12.38373	منظورية أفقية										
0.88387	12.52887	23.55475	كلي										

#### ثانياً : حالة التوزع المركزي

تم تصحيح المرئيات باستخدام 30 نقطة من نقاط الضبط والموجودة في مراكز المرئيات فحصلنا على النتائج التالية :

الجدول (3). درجة التحويل الهندسي، التشوهات والخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزيع المركزي 30 نقطة ضبط

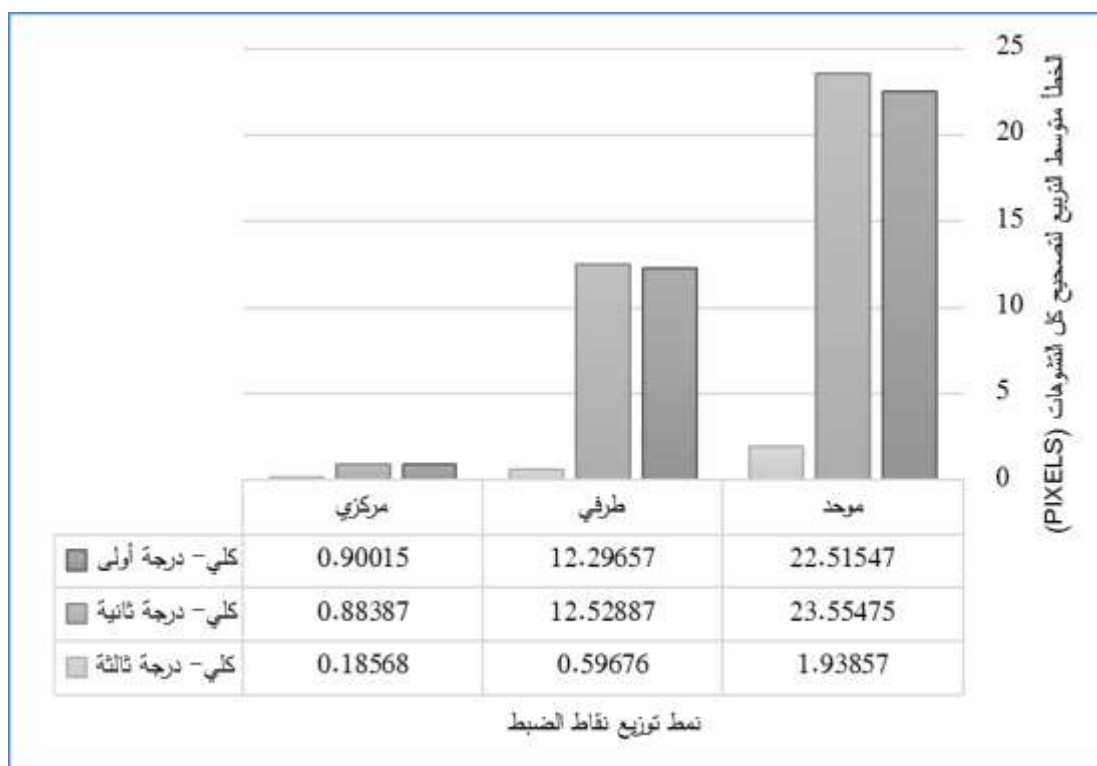
التحويل الهندسي			التشوه	نمط توزيع نقاط الضبط في المرئية مركزي
درجة أولى RMS (pixel)	درجة ثانية RMS (pixel)	درجة ثالثة RMS (pixel)		
0.19589	0.52262	0.53560	تكوير	
0.19458	0.20269	1.38984	منظورية شاقولية	
0.10901	0.13794	1.06647	منظورية أفقية	
0.18568	0.59676	1.93857	كلي	

تظهر النتائج السابقة أن تشوهات الانحناء (التكوير) تكون أعظمياً في حالة التوزيع المحيطي لنقاط الضبط بينما تكون تشوهات المنظورية الأفقية والشاقولية أعظمياً في زوايا المرئية. إن ما سبق يعني أن التشوه المسيطر في أطراف المرئية هو تشوه التكوير وفي حين يسيطر تشوه المنظورية الأفقية والشاقولية في زوايا المرئية. ومن ناحية أخرى، نجد أن التوزيع المركزي يعطي أقل قيمة للخطأ متوسط التربيع وذلك فيما يخص التشوهات الإفرادية والتشوه الكلي (الجدول 3، 2، 1، والشكل 3)، وهذا يعني أن نقاط الضبط الموزعة في مركز المرئية تعاني من تشوه أقل من نظيراتها الواقعة على محيط وزوايا المرئية. يمكن تفسير ذلك بأن التشوهات الناتجة عن العدسة وميل المرئية تزداد مع ابتعاد النقاط عن مركز المرئية. لكن يجب التأكيد على أن هذا التوزيع لنقاط الضبط متحيز أي أن قيم الرواسب التي حصلنا عليها نتيجة التحويل الهندسي صحيحة فقط عند هذه نقاط ولكن إذا ابتعدنا عن المركز، فإن قيمة هذه الرواسب لن تكون واقعية أبداً.

من الجداول 3، 2، 1، والشكل 3 نلاحظ أن قيم الأخطاء المتوسطة التربيع في حالة التوزيع المحيطي لنقاط الضبط أكبر عموماً من تلك الخاصة بالتوزيع الموحد. يمكن تفسير ذلك بكون نقاط الضبط المحيطية تحمل الكمية الأكبر من التشوهات الهندسية. كما نلاحظ أن الأخطاء المتوسطة التربيع في النمط الموحد للتوزيع تمثل حالة وسطية بين الحالتين السابقتين (التوزع المركزي والتوزع المحيطي). يمكن تفسير ذلك بحصول شكل من أشكال التوزيع المتجانس، لتأثير التشوهات الهندسية الموجودة في نقاط الضبط على نتائج التحويل الهندسي المطبق.

نلاحظ أن الخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الأولى في كل أنماط التوزيع هو الأكبر مما يدل على انه لم ينجح كثيراً في التخلص من التشوهات المحلية في نقاط الضبط. أما الخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الثانية في كل أنماط التوزيع فتدل قيمته على أنه نجح في التخلص من معظم التشوهات الهندسية المحلية مثل التكوير والمنظورية الأفقية ولكنه كان أقل فعالية من التحويل من الدرجة الثالثة في إزالة تشوه المنظورية الشاقولية (الجدول 3، 2، 1). وبالنسبة للخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الثالثة في كل أنماط التوزيع هو الأصغر ولكن تمثيله لهندسية العنصر قد تكون غير مقبولة من الناحية الصورية (يولد مرئية نهائية مشوهة) في حالات التوزع المحيطي والمركزي [8].





الشكل (3). علاقة الخطأ المتوسط التربيع الكلي للتحويل مع أنماط توزع نقاط الضبط ودرجات التحويل.

### الاستنتاجات والتوصيات

بالاستناد إلى الدراسة حول تقييم تأثير توزيع نقاط الضبط في فعالية التحويلات الهندسية في تصحيح تشوهات المرئيات الفضائية نستنتج مايلي :

1. الأسلوب المباشر للتقويم والتخلص من التشوهات الهندسية في المرئيات الفضائية هو أفضل الحلول في حال عدم توفر أية معلومات حول النموذج الهندسي لآلة التصوير المستخدمة في النقاط هذه الصور.
2. يجب اختيار نمط توزيع نقاط الضبط المستخدمة في التصحيح كتابع للتشوهات الهندسية الموجودة في المرئية. يعتبر التوزيع الموحد لنقاط الضبط أفضل الأنماط، وذلك من حيث قدرته على تصحيح التشوه الكلي في المرئيات الفضائية بطريقة فعالة.

كما نوصي بأخذ عدد نقاط الضبط ونمط توزيعها ونوع التشوهات الهندسية الموجودة في المرئية بعين الاعتبار لأنها تؤثر على فعالية التحويل الهندسي المستخدم في التصحيح. لقد وجدنا من خلال دراستنا أن التحويل الهندسي من الدرجة الثانية الموافق للتوزع الموحد لنقاط الضبط، هو أفضل الخيارات في حال وجود تشوهات محلية في المرئية.

## المراجع

- [1] JENSEN, J. R., Chapter 7. Geometric Correction, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005, 318 pages.
- [2] XIANGYANG, S., CONGGUI, L., YIZHEN, S. Comparison and analysis research on geometric correction of remote sensing images, In Proceedings of the International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP), 9 - 11 April 2010, pp. 169 - 175.
- [3] PAI, D. T., 2010. Auto rectification for robotic helicopter aerial imaging. Thesis Master of Science in Computer Science, San Diego State University, 2010, 123 pages.
- [4] VALADAN ZOEJ M. J. Mathematical Modeling and Geometric Accuracy Testing of MOMS-O2 Imagery, Photogrammetric Record, 16(91), 1997, pp. 67-82.
- [5] ELTOHAMY, F., HAMZA, E. H. Effect of ground control points location and distribution on geometric correction accuracy of remote sensing satellite images, In Proceedings of the 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology (ASAT – 13), 26 – 28 May, 2009 , pp. 1002-1008.
- [6] HUNG LIEW, L., LEE, B.Y., WANG, Y.C., CHEAH, W. Aerial Images Rectification Using Non-parametric Approach. In Journal of Convergence. Volume 4, Number 2, 15-21 June 2013, pp. 16-20.
- [7] HUNG LIEW, L., LEE, B.Y., WANG, Y.C., CHEAH, W. 2012. Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification. In Procedia Engineering 41, 2012, pp. 1002 – 1008. 2012.
- [8] الخليل، عمر. تأثير نقاط الضبط على الطريقة المباشرة لتصحيح التشوهات الهندسية في الصور القريبة. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية- المجلد (37) العدد (4)، 2015- ص 329-344.
- [9] GONCALVES, H., GONCALVES, J.A., CORTE-REAL, L. Measures for an objective evaluation of the geometric correction process quality. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, issue 2, 2009, pp. 292 - 296.