

المعايير الكارتوجرافية الآلية اللازمة لتصحيح البيانات الفضائية دراسة في أمثلة العرض وأفضلية الاختيار ومنهجية التقييم

د. جميل محمد محمد عزب النجار

قسم الجغرافيا/ كلية الآداب / جامعة سرت (2010م)

أولاً: المقدمة:

أما وقد تضمنت لوائح الجغرافيا العربية مناهج الاستشعار عن بعد، فقد آن الأوان لأن يتعاون الجميع في طرح موضوعاته للبحث والدراسة، ومنحه مساحة بحثية أوسع ونقاش منفتح يتوازى والرؤى ذات الخلفية الثقافية المكانية الأكثر تنوعاً ورحابة، ولتكتاف الكُل على تأصيل منهجياته العلمية/ العملية وترتيب أوراقها من داخل البيت الجغرافي، على أن تبدأ عملية التشييد بتجهيز موضوعات الأساس- كما هو الحال بموضوع الدراسة- تليها عمليات فض الملفات الساخنة- الموضوعات التحليلية- فالموضوعات التطبيقية الخلاقة الأكثر سخونة ووهجا. وأن نعمل أكثر خيراً من أن نتكلم كثيراً، فمثالٌ عمليّ يمكن أن يزن- من الناحية التطبيقية الملموسة- عشرات الكتب المليئة بالحوارات والمحشوة بالتنظير حول ذات الموضوع. ومعنى أن يكتسب الباحث مهارة عملية بجانب معرفته النظرية- على أهميتها- هو بمثابة الإمساك بزمام المبادرة والتحول النوعي الأجدى في مجال استثمار العقول؛ متجاوزين لجراحنا الجدلية النازفة وآلامنا الخطاوية المطولة، صوب أمانينا الطموحة وأماننا التطبيقية/ الميدانية العريضة بخطى راسخة وثابة؛ علها تساهم- بتوسيع التجربة وتكرارها- في العثور على بعض ضوء في نهاية النفق، يمكن أن يشير بتنمية بشرية عربية حقيقية لطالما سعى إلى تحقيقها الوطنيون التنفيذيون الشرفاء. أوليس في تبنى المنهجيات العملية وتشجيعها تحفيزاً للباحثين المبدعين على ابتكار الأفكار الكفيلة بتيسير ما تعسر علينا استيعابه، وتوضيح الالتباس بمواطن الاشتباه، وتقديم الأفضل من بين الخيارات المتاحة، وترجيح البديل الأصح في إدارة الكثير من مشاكلنا العلمية والتطبيقية؟

من هذه المنطلقات تحاول الدراسة- بمثال تطبيقي- أن توضح مراحل تصحيح البيانات الفضائية بشكل عملي، في عرضٍ يضمن التبسيط ويمنح القدرة على التنفيذ والتحليل والتقييم لنتائجها العملية؛ والمفاضلة بين أنواع الطرق والنماذج المستخدمة في التصحيح؛ بغرض تحديد المنهج العملي الأنسب لأحد أهم مصادر البيانات الجغرافية على الإطلاق، والتي يمكن اعتبارها

مستحده نسبيًا. وقد لوحظ إهمال عدد من العاملين بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقات الفضاء لموضوع الاختيار الأنسب لمسقط الخريطة وفق الغرض منها، وهو الخطأ الأكبر- في ظل شيوعه- على نتائج الدراسات التي يمكن أن تستخدم هذه الوسائل ومصادر بياناتها. وبما أنه ليس في الإمكان استخلاص شيء أفضل من شيء أسوأ؛ فيتعين إذن التأكيد على ضرورة أن تُصحح المرئية بدقة وعناية فائقة⁽¹⁾، قبل أن تُستخدم؛ حيث يُمثل تصحيحها حجر الأساس في قضية تحقيق وتوثيق البيانات الرقمية المستخدمة وتجهيزها للتحليل؛ خدمة لبناء قواعد بيانات مكانية مستقبلية بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية، والتي من أهم أهدافها استحداث وتحديث الخرائط الدقيقة التي تحتاجها الدراسات التطبيقية البيئية والجغرافية.

أ- مشكلة الدراسة: يتم تجميع البيانات المصورة الخام Raw data imagery بواسطة وسائل الاستشعار عن بُعد، سواء كانت الوسيلة هي الطائرة أم القمر الاصطناعي، فكلاهما يعملان على تمثيل السطح غير المستوي للأرض. وحتى صور المناطق المستوية بصيبتها- على ما يبدو- قدرٌ من التشوه أيضا؛ بسبب الإزاحة الطبوغرافية الناتجة عن تقوس سطح الكوكب، وغيوب فنية تختص بما عمليات المسح أو نتيجة لخلل تقني ما بالمجس المستخدم في التصوير. ولعلاج هذا التشوه صُممت مساقط الخرائط⁽²⁾. وفي حالات عديدة، تحتاج منطقة ما أكثر من صورة واحدة لتغطيتها، ويتم تجميعها معا من مصادر مختلفة، ولكي تُستخدم مع بعضها(موزايك)؛ يجب مقارنة خلايا(pixels) الصور المنفصلة بالخلايا الشبكية التي تؤلف كل صورة داخل المجموعة؛ ولكي تتطابق جميعها مع بعضها البعض في قواعد البيانات التي يمكن أن تُبنى عليها لاحقا. ولكل مسقط كارتوجرافي نظام إحداثي مختلف عن غيره، وغاية الإحداثيات تتمثل عامة في تحديد المواقع بأي مرئية وأي صورة. وتتوافق نظم الإحداثيات هذه مع النظام الشبكي الآلي بمربعاته التي تُحدد إحداثياتها بأزواج أعدادها السينية(المحور الأفقي الشرقي X) والصادية(المحور الرأسي الشمالي Y) داخل كل صف وعمود Column, Row بالحاسوب. وعليه، تحاول الدراسة تحديد الخطوات العملية اللازمة لتصحيح مرئية فضائية غير مصححة بالاستناد على مرئية أخرى مُصححة سلفا. وإعادة تصحيحها مرة أخرى بواسطة جهاز تحديد المواقع العالمي GPS to image rectification، وبعد الحصول على نتائج التصحيح ومتوسط الخطأ في كلتا الحالتين تعتمد الدراسة على تحليلها وتقييمها لإقرار أفضلية إحداها في النهاية. ويحدث أن يصادف الفنيون القائمون بعمليات التصحيح التقني للمرئية الفضائية عددا من المشاكل، فتحاول الدراسة تشخيصها، ومدى إمكانية التغلب عليها بطرح الحلول والبدائل.

ثم تحليل ومقارنة الطرق المستخدمة في تقنياتها، وهل توجد فروق ذات دلالة ما، يمكن في ضوءها ترجيح منهجية دون غيرها في النهاية. وعلى وجه العموم تعتمد عملية تصحيح مرئية فضائية غير مصححة Non-Rectified، على إسنادها لأي من مصادر البيانات المرجعية الأربع الآتية:

- مرئية فضائية مصححة سلفا Already Rectified Image.
- جهاز تحديد المواقع العالمي GPS، يفضل أن يتميز بأقل دقة خطأ ممكنة.
- خريطة طبوغرافية Topographic Map، يفضل ألا يقل مقياسها عن 1:50,000، وتُعتبر الخرائط ذات مقياس الرسم 1:250,000 مناسبة لتصحيح المرئيات ذات دقة الوضوح الأرضي المنخفضة lower resolution، كبيانات المحس AVHRR، وأنسب الخرائط اللازمة لتصحيح مرئيات أدق (Landsat and SPOT) هي خرائط الأساس الأدق ذات مقياس الرسم 1:25,000.
- نموذج ارتفاعات رقمي DEM مُسند⁽³⁾، وهي مرجعية مُستحدثة نسبياً، انتشرت مع اتساع رقعة الدراسات الحديثة لتطبيقات تقنيي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية؛ فشاعت عملية ترقيم البيانات وأرشفتها حاسوبياً، وباتت العديد من المناطق وقد تم نمذجة تضاريسها، فأصبحت تمثل مرجعية أسهل وأوفر في الجهد والوقت، بحيث يمكن الرجوع إليها في عمليات الإسناد والتصحيح، خاصة في مجال أبحاث الجغرافيا الطبيعية عامة والجيومورفولوجيا خاصة.

ب_ الهدف من الدراسة: تهدف هذه الدراسة إلى التوضيح البين لعدد من المفاهيم العلمية والتقنية التي تدخل في إطار عملية التصحيح الهندسي Geometric Correction⁽⁴⁾ للمرئية الفضائية، والتفريق الجلي بين عدد من المصطلحات التي التبست على البعض؛ فشفعت الدراسة- من أجل ذلك- بالمزيد من الإيضاحات في هامش المتن، وإلقاء الضوء على طبيعة القوانين العلمية (الرياضية) التي تتحكم في العملية وتحكم خطواتها خلال مسيرتها التطبيقية بآلية العمل ومحاولة تبسيطها قدر الإمكان، وصولاً إلى نهايتها الصحيحة بتحليل نتائج العملية وإجراء تصحيح الأخطاء. وتهدف العملية المدروسة- في الأساس- إلى تعديل إحدائي المرئية غير المصححة، والتي ستُعرف، في سياق العمل بالتعبير: Subject Image؛ لتتوافق مع المرئية المعروفة بالتعبير: Object Image⁽⁵⁾؛ بغية الاستفادة بها في الأبحاث الجغرافية عامة والدراسات البيئية المقارنة خاصة؛ لفوائدها في ملاحظة التطورات والتحويلات البيئية بالمنطقة محل

التصوير، فكشف التغيرات Changes Detection بين مجموعة من المرئيات المأخوذة على فترات متفاوتة، يتطلب الاعتماد على أجيال أقدم من المرئيات الفضائية التي تكون في الغالب غير مصححة. كما تهدف إلى تقديم مثال تطبيقي يُعد في حد ذاته بمثابة الدرس العملي الذي يمكن أن تتيح خطواته الموصلة- من خلال آلية العمل- فرصة الاستفادة المجانية به؛ لتُعم الفائدة على الدارسين الجُدد من الأكاديميين المعنيين، خاصة وأن مثل هذه التدريبات العملية مازالت باهظة التكاليف إلى حدٍ ما؛ لاحتكارها من قِبل مؤسسات علمية تجارية وشركات البرمجة التي تهدف للربح.

ج- الفروض العلمية:

- يمكن تبسيط مفاهيم وقوانين المعالجة الآلية للمرئية، رغم انطوائها على قدر كبير من التعقيد في نماذجها الرياضية التي يضطلع الحاسب بجزء كبير من تحليلاتها.
- تحديد ومناقشة نماذج التصحيح الآلية التي تأسست عليها العملية، وتعيين مساقط التمثيل الكارتوجرافي المناسبة ومراجع الإسناد الأدق.
- لا توجد فروق ذات دلالة معينة بين الإحداثيات الموقعة بواسطة مراجع الإسناد المختلفة والمستخدم في الدراسة وفق منطق خوارزمي تأسس عليه التصحيح لتعديل خطأ الإزاحة.
- يمكن التغلب على مشاكل العمل بأكثر من طريقة على قاعدة الحلول والحلول البديلة.
- تتيح عملية تصحيح المرئية الفضائية إمكانية تعديل وتحويل بياناتها الرقمية إلى معلومات مكانية موثوق بدقتها لتصبح قابلة للتحليل والتفسير.

د- منهجية الدراسة: تعتمد الدراسة على منهجية التصحيح الهندسي للمحاور الديكارتية أو الإحداثيات الكارتيزية Cartesian Coordinates ذات العلاقة بالأسس النظرية لعمليات الإسقاط الكارتوجرافي لشبكة خطوط الطول ودوائر العرض، التي تقسم سطح الأرض الكروي- بطبيعته المجسمة- لشبكة من المربعات أو المستطيلات التي تساعد على تحديد المواقع وتمييز أوضاعها النسبية configurations؛ ما يساعد على وصف معالمها وتحديد مناطقها بدقة، وإمكانية رسمها على وسيلة إيضاح مسطحة كالخريطة. وتتخلص في عمل عدد من الإزاحات الرقمية لنقاط بنية المرئية الأساسية Pixels ذات مصادر الخطأ في إحداثياتها المخرّفة أو المشوّهة Image distortion and sources of errors؛ والناجمة عن التباين في ارتفاعات وسرعات ووضعية المركبات الفضائية بمداراتها (كأن تكون رأسية أو مائلة مثلاً)، وما ينشأ عن تلك الأوضاع من تباين في سرعات المسح، وعلاقة ذلك بالموثرات الطبوغرافية عامة.

فإذا كانت المرئية مُحَرَّفَة فقط فسيحدث ترحيل في مواضع نقاط بنيتها تلك دون تغيير في قيمها الرقمية، أما إذا كانت مشوهة فسيتم تعديل في أبعاد نقاطها وتحسب قيمها الجديدة، وفق خوارزميات موحدة بعد مطابقتها بأحد المصادر المرجعية Referential Sources المشار إليها سابقا. وتتم تقنيات تصحيح إحداثياتها الجغرافية في صورة خطوات عملية سيرد تفصيلها لاحقا ضمن آلية العمل، كما تخضع عمليات التوقيع والتعديل والتحليل والتقييم للمنهج الكمي التحليلي المقارن الذي يحكم أفضلية خيار دون غيره وفق المعايير الكارتوجرافية والآلية المتعارف عليها.

هـ_ الدراسات السابقة: تم تناول عملية التصحيح في عدد من الدراسات باللغة الإنجليزية ضمن الطرق العملية لمعالجة المرئيات الفضائية، فمنها دراسة لجنسن Jensen، 1996م⁽⁶⁾، تحت عنوان: "معالجة البيانات الرقمية التمهيدية: من منظور علم الاستشعار عن بعد"، ركزت على توضيح عملية التصحيح في إطار المعالجات الأولية للمرئية الفضائية. ودراسة أخرى ليانج Yang، 1997م⁽⁷⁾، بعنوان: "التعديل والإسناد الجغرافي لبيانات CAMS⁽⁸⁾: التصحيح متعدّد الحدود وما بعده"، أطروحة نوقشت بجامعة كارولينا الجنوبية، في كولومبيا. ودراسة ثالثة لمحمد مصطفى وكلاوس بيتر سورز مع شامان Mohamed M.R. Mostafa and Klaus-Peter Schwarz and Chapman، 1998م⁽⁹⁾، تحت عنوان: "تطوير واختبار نظام مجس متعدّد محمول جواً للاستشعار عن بعد". ودراسة رابعة لمصطفى وكلاوس، 2000م⁽¹⁰⁾، بعنوان: "نظام استشعار متعدّد محمول جواً للاستحواذ على صورة مستعدلة"، في هاتين الورقتين، أوضح الباحثين مفهوم الاستعدال المباشر للصور الرقمية بدون الحاجة لتمثيل أو توقيع نقاط تحكم أرضية، ومناقشة نتائج نظم المعايرة بشيء من التفصيل، والتحليل الهندسي لمكونات نظم التصوير المحسّن بأعمال المحاكاة بالحاسوب. كما ناقشوا تطبيقات المساحة التصويرية أو الجوية photogrammetry المحتملة في تقديم صور تعطي قياسات بيئية ecometrics؛ تفيد في مخططات المرافق، والطرق، وخطوط الأنابيب؛ وتشكيل جيل متقدم من نماذج الارتفاعات الرقمية للتطبيقات الهندسية. ودراسة أخرى لجيانش شاندر وبريان مارخام Gyanesh Chander and Brian Markham، 2003م⁽¹¹⁾، تحت عنوان: "الحدود الديناميكية لتجهيزات المعايرة الراديومترية وما بعدها لبيانات Landsat-5 TM المراجعة"، أوضح فيها كيفية تحديد البارامترات الجديدة وتجهيزاتها اللازمة

لتحسين درجة وضوحها الأرضي؛ بعمل دقة معايرة مُطلقة؛ لتتسق وبيانات *ETM+* مع الوقت.

و- مصادر البيانات ومنطقة التصوير:

● مرئية فضائية مُصححة للقمر الأمريكي " لاندسات " Landsat TM، تم التقاطها لحوض سرت(هراوة- الوشكة البحرية) في العام 1995م.

● مرئية فضائية غير مصححة من نفس النوع لذات المنطقة ملتقطة خلال العام 1989م.

● يغطي منظر Landsat منطقة تبلغ أبعادها 170×185 كيلومترا. بدرجة وضوح أرضي تبلغ 30×30 مترا(تصبح 28.5×28.5 مترا بعد التحسين الطيفي)، وبدقة راديومترية تبلغ 8 بت Bit، ما يعني إمكانية أن تتراوح قيم بيانات الخلية الواحدة one pixel بين 0 - 256، حيث يلتقطها المحس TM متعدد الأطياف المجهز لتسجيل الطاقة(المنعكسة/ المنبعثة) وجمع بياناتها من خلال 7 قنوات توزعت أطوالها الموجية على المجالات الطيفية الأساسية الآتية:

- المجال المرئي Visible light.

- مجال الأشعة تحت الحمراء المنعكسة Reflected IR.

- مجال الأشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal IR. وقد تُخصص النطاق السادس منها للتصوير الحراري thermal mapping⁽¹²⁾.

● خريطة ليبيا الجيولوجية، لوحتي القداحية وقصر سرت، مقياس رسم 1: 250,000، طرابلس، 1977، تم استخدامها للمقارنة والتحقق من صحة نتائج تعيين وتحديد إحداثيات بعض المواضع.

ز- الأساليب والوسائل المتبعة في التنفيذ: استُخِمْ في عرض الخطوات أسلوب النوافذ windows presentation بالنسخ الآلي لأشكال كل خطوة على حدها؛ كوسيلة إيضاح لتسهيل ناتج العمل من ناحية وإجماع الدارسين وتفضيلهم إياها من ناحية أخرى⁽¹³⁾، وتم التنفيذ بواسطة حاسوب شخصي محمول بمعالج Celeron 370- 1.5GHz، وإن تطلبت عمليات التحليل الأكثر تقدما advanced processes حواسيب ذات معالجات أسرع، ويفضل منها نوعية Intel Processor، بالإضافة لجهاز GPS، وقد أُجريت المعالجة بواسطة برنامج ERDAS IMAGINE مع التنويه بإمكانية التنفيذ بأيٍّ من البرامج الأخرى العاملة في هذا الميدان وما أكثرها، وتعد مثل هذه الوسائل المستخدمة في الدراسة بدائيةً للغاية، قياسا للتحديثات الحاصلة في مثل هذه الكيانات المادية التي تتطور بتسارعٍ

يُشعرِك- وأنت تقف مشدوها، في حيرة خياراتك، وسط أنواعها وأنوائها التي تجعلها بين ليلة وضحاها ركاما رقميا متراميا- بأنك بدائيا تحيا عصورا قد خلت، حيث أضحى عالمنا اليوم بحق عالما رقميا "the world became digital".

ح- مراحل العمل:

1. مرحلة التحديد: تم فيها- من خلال الإطار النظري- تحديد المصادر المرجعية Referential Sources، كالخرائط المتوافرة، والتعيين المبدئي لمواقع نقاط التحكم الأرضية GCPs، والتعريف بالمنهجية المتوافقة Compatible methodical مع أغراض التصحيح.

2. مرحلة التنفيذ: أُبجِزت فيها عمليات التوقيع والمطابقة لنقاط التحكم الأرضية وتصحيح الأخطاء، وهي ليست مرحلة منفصلة بذاتها، حيث تداخل فيها العمل حسب ما تقتضيه الحاجة والمتابعة بين المرحلتين الثانية والخامسة على وجه الخصوص.

3. مرحلة تحديد مشاكل العمل وتقديم الحلول: وعنت بالتعرف على أهم المشكلات الفنية التي يمكن أن تعوق مواصلة العملية أو نجاحها، وتوضيح كيفية التغلب عليها أو عرض البدائل التي يمكن أن تحوّل دون إتمامها.

4. مرحلة مناقشة النماذج والمعايير: اختصت بمناقشة النماذج المنطقية Logical models analysis، التي تأسست عليها تقنية الاستشعار ونظم التشغيل.

5. مرحلة تحليل وتقييم النتائج: تم فيها التحليل الإحصائي لنتائج العملية، بغية تقييم متوسطات الأخطاء.

6. مرحلة تصحيح الأخطاء: حُصِّصت لعملية التصحيح النهائي للمرتبة في ضوء المعايير والأوضاع النسبية التي تمت مناقشتها في المراحل السابقة.

ثانيا: آلية العمل: تم توضيحها بمثال تطبيقي يشرح الخطوات العملية اللازمة للتصحيح، فكانت تلك العملية بمثابة أقصر الطرق وأنسبها لفهم واستيعاب مفاهيمها، وقد تم تجهيزها على مرحلتين: أ- تصحيح المرئية غير المصححة بالاعتماد على مرئية أخرى مصححة.

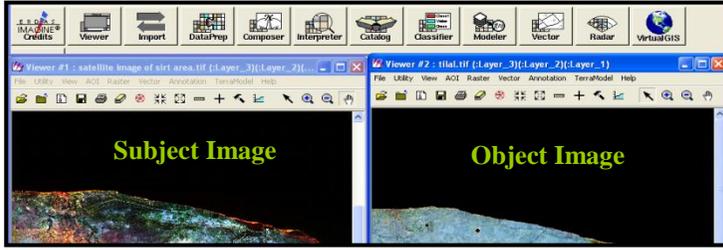
ب- تصحيح المرئية بواسطة جهاز تحديد المواقع العالمي.

أ- تصحيح مرئية غير مصححة بأخرى مصححة: Rectified Image -to-

Image Rectification

1. بعد تشغيل الحاسب الآلي وفتح البرنامج المستخدم، تُعرض المرئية المشوهة- المراد تصحيحها- أو المرئية الموضوع (Subject Image) في Viewer خاص بها، والمرئية المصححة- المعروفة بالاصطلاح Object Image- في Viewer آخر مستقل عنها (الشكل رقم 1).

شكل رقم (1) فتح المرئيتين في مشهدين منفصلين بنافاذة واحدة.



2. البداية ممكنة بالولوج من عدة مداخل منها:

- من لوحة وحدات البرنامج الرئيسية (Modules) الخاصة بأيقونات الواجهة، تُفتح وحدة DataPrep ، وباختيار العملية: Image Geometric Correction؛ يظهر صندوق حوارى بعنوان Set Geo correction Input File لإدخال المرئية التي يُراد تصحيحها.

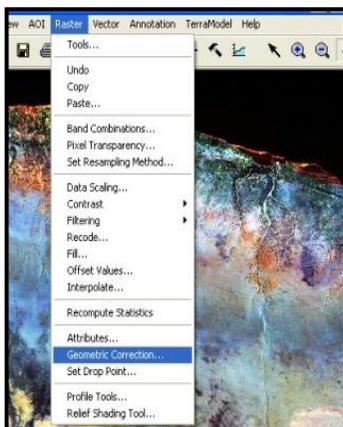
- بالنقر على الأيقونة  من شريط الأدوات بنافاذة Viewer؛ لفتح لوحة أدوات الطبقة المعروضة⁽¹⁴⁾، ومع النقر على الأيقونة Geo correct Image يُفتح شريط "warptool" لاختيار نموذج التصحيح.

من شريط القوائم بنافاذة Viewer التي تحوي المرئية المحرفة، تُفتح القائمة المنسدلة Raster وتُختار العملية Geometric Correction (الشكل رقم 2).

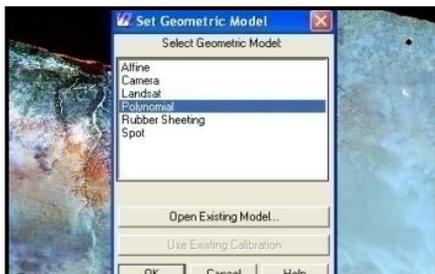
3. بظهور الصندوق الحوارى المعنون بالعبارة: Set Geometric Model، يتم تحديد النموذج Polynomial، ثم النقر على زر OK (الشكل رقم 3).

4. مع ظهور صندوق حوارى بعنوان: Polynomial Model Properties، مصحوبا بصندوق التصحيح الهندسي (بالجزء العلوي الأوسط للنافذة)، يتم تحديد التنبويب Projection والنقر على الزر Set Projection from GCP Tool (الشكل رقم 4).

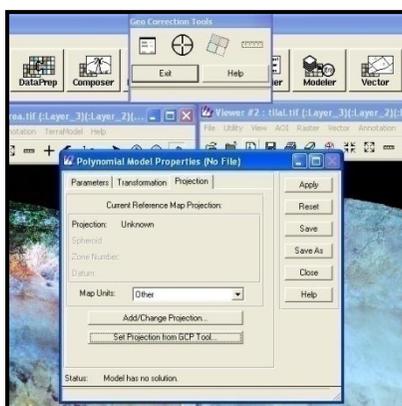
شكل رقم (2) أحد خيارات البدء المتعددة لعملية التصحيح.



شكل رقم (3) تحديد نموذج التصحيح.

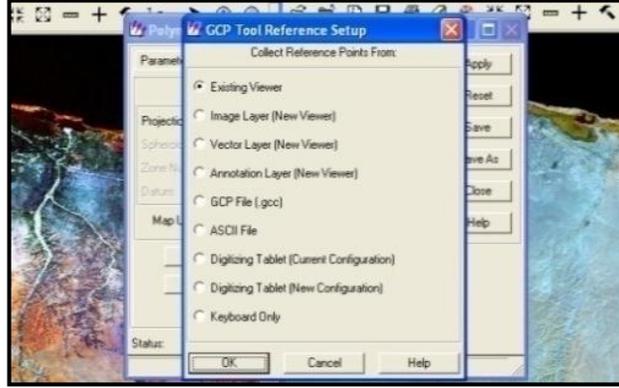


شكل رقم (4) تحديد نظام الإسقاط.



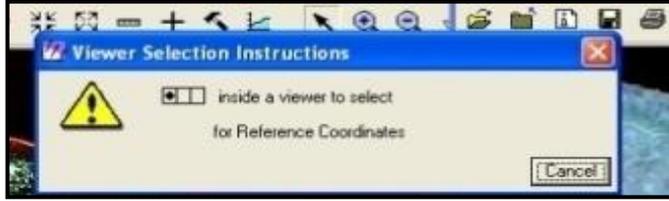
5. يظهر صندوق حوارى بعنوان⁽¹⁵⁾ **GCP Tool Reference Setup**، يتم التأكد من أن الاختيار هو Existing Viewer، والنقر على زر OK (الشكل رقم 5).

شكل رقم (5) خيار المسقط الموجود داخل إطار العملية.



6. يظهر صندوق حوارى بعنوان: Viewer Selection Instruction، يطلب من المستخدم أن ينقر بمؤشر الماوس (الفأرة) داخل المشهد Viewer، الذي يحتوي على المرئية المصححة (الشكل رقم 6).

شكل رقم (6) استخدام المسقط الموجود بالمرئية المصححة.

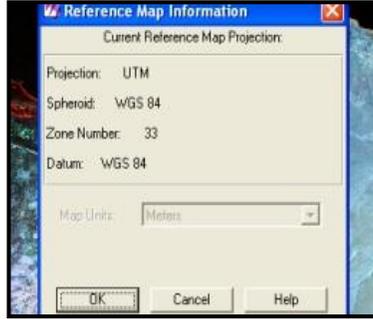


7. بعد النقر داخل المرئية المرجعية يظهر صندوق حوارى بعنوان: Reference Map Information يعرض المسقط وشبكة الإحداثيات المستخدمة مع المرئية المصححة، ولا يمكن التدخل هنا بالتعديل في هذه الحالة⁽¹⁶⁾، ويُنقر الزر OK (الشكل رقم 7).

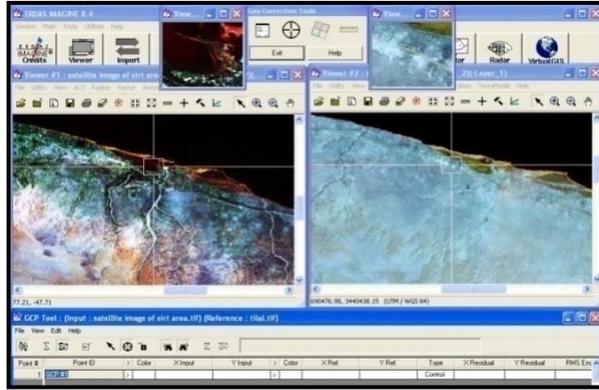
8. بالنقر على المفتاح OK، تصبح هيئة برنامج "ERDAS" رباعية النواقد، بإضافة نافذتين صغيرتين Viewers مكثرتين بالركن الأيسر العلوي لكل من نافذتي العرض، وظيفتهما تكبير وتوضيح التفاصيل بمواقع نقاط التحكم الأرضية المحققة في كلا المرئيتين.

9. وبالنقر على المفتاح OK مرة أخرى، تتمركز نافذتي التكبير ومؤشري التحديد مع شريط Geo Correction Tools بالقطاع العلوي الأوسط من نافذة العمل وتتموضع نافذة GCP Tool في الأسفل، لتصبح واجهة برنامج "ERDAS" كما هي مبينة في (الشكل رقم 8).

شكل رقم(7) تحديد شبكة الإحداثيات المستخدمة.



شكل رقم(8) بداية ضبط مواضع نقاط التحكم الأرضية.

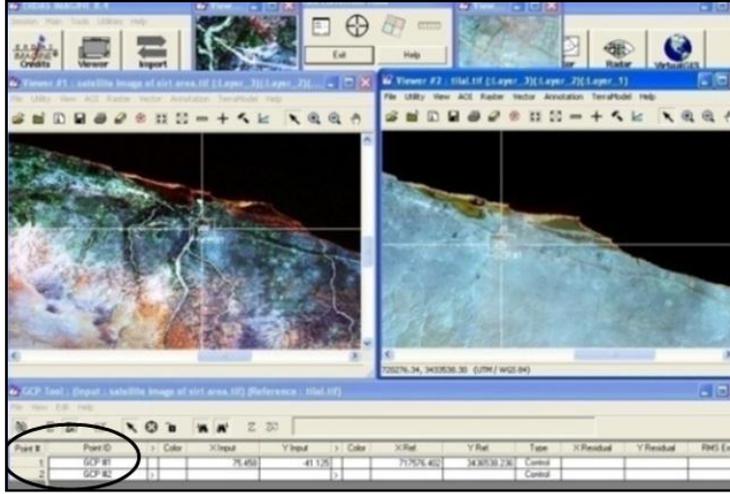


10. بالنقر على أيقونة "مؤشر التقاطع الوبرية"  في نافذة GCP Tool والذهاب إلى المرئية المحزّفة وتحريك مستطيل مؤشر التقاطع ليصبح فوق نقطة واضحة، والعمل بالمثل مع المرئية المصححة، ليصبح مستطيلي المؤشران متمركزان على نقطة واحدة في كلا المرئيتين؛ لإنشاء نقطة تحكم أرضية⁽¹⁷⁾ (Create GCP).

11. بالنقر فوق أداة Create GCP في نافذة GCP Tool، والذهاب إلى النقطة التي تم حديدها كنقطة تحكم أرضية تالية في نافذة المرئية المحرّفة، والنقر فوق هذه النقطة لتظهر علامة نقطة التحكم الأرضية. يُلاحظ بأن البرنامج قد بدأ في تسجيل أزواج إحداثيات النقطة الأولى في خانتي: X, Y Input بالجدول الموجود في نافذة GCP Tool (الشكل رقم9).

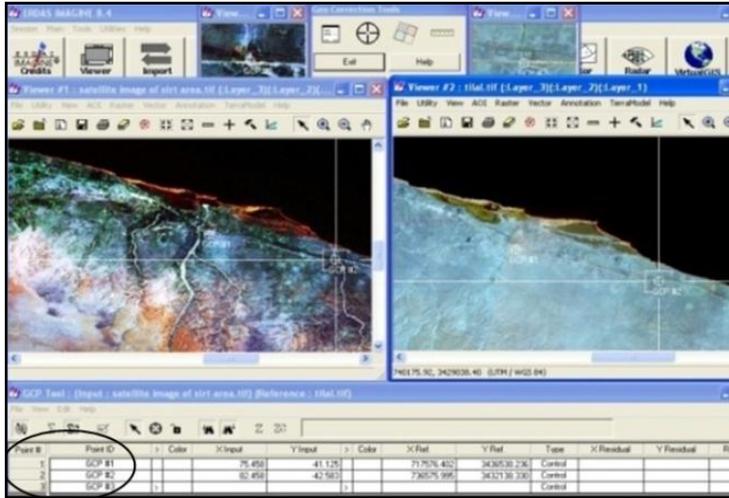
12. بالنقر فوق أداة Create GCP في نافذة GCP Tool مرة أخرى ثم الذهاب إلى النقطة المقابلة في نافذة المرئية المصححة، والنقر فوق هذه النقطة لتظهر علامة نقطة التحكم الأرضية، سيتم تسجيلها تلقائياً بالجدول كسابقتها (الشكل رقم9).

شكل رقم(9) تسجيل أزواج إحداثيات أول نقطة تحكم أرضية.



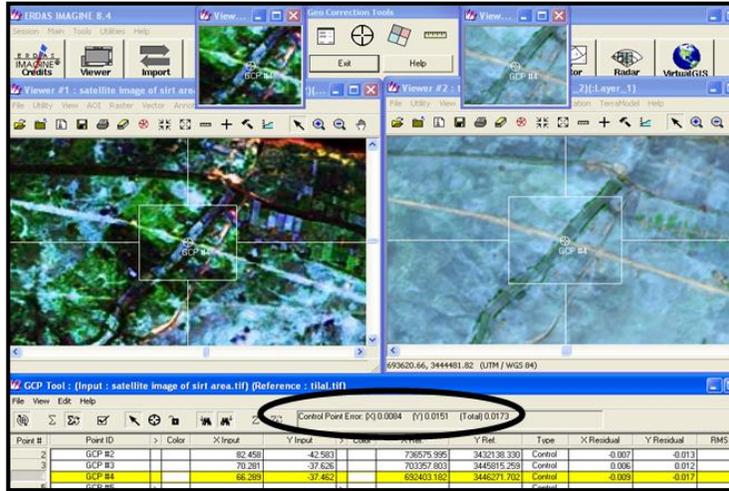
13. بالنقر على مؤشر التحديد  في نافذة GCP Tool، والذهاب إلى المرئية المشوهة وتحريك المؤشر فوق نقطة واضحة في المرئية، يتم نفس العمل مع المرئية المصححة؛ ليصبح المؤشر فوق نقطتين واضحتين لموضع واحد في المرئيتين (الشكل رقم 10).

شكل رقم(10) تسجيل أول وثاني نقطتي تحكم أرضي. مع بداية توقيع الثالثة.



14. مع تكرار الخطوات من العاشرة وحتى الثالثة عشر لكل نقطة جديدة يتم توقيعها، مع مراعاة ألا يقل عدد نقاط التحكم الأرضية عن 4 أربع نقاط⁽¹⁸⁾ (الشكل رقم 11).

شكل رقم(11) كيفية ضبط نقطتين واضحتين لموضع واحد بالمرئيتين مع تسجيل زوج إحداثي النقطة الأخيرة



ب- تصحيح مرئية بخريطة أو بجهاز تحديد المواقع **GPS to Image Rectification**: يتابع نفس الطريقة- مع اختلافات بسيطة- تم التحقق من نتائج التصحيح السابقة عن طريق استخدام أحد أجهزة تحديد المواقع العالمية GPS في إعادة تصحيح نفس المرئية، والحرص على أخذ الأرصاد من نفس مواضع نقاط التحكم التي تم توقيعها بالطريقة السابقة- لأغراض المقارنة-، ثم إعادة رصد عدد من النقاط الإضافية المعلومة سلفاً؛ بهدف التحقق من سلامة الجهاز (الصورة رقم 1)، وكانت النتائج متطابقة إلى حدٍ ما⁽¹⁹⁾.

صورة رقم (1) إحداثيات إحدى نقاط التحكم الأرضية الساحلية المعلومة (224) تم رصدها سلفاً بجهاز بحري أكثر دقة، واضطلع الباحث بإعادة رصدها في منطقة التصوير للتحقق من سلامة جهاز GPS قبل استخدامه في الدراسة.



ثالثاً: مشاكل العمل وكيفية التغلب عليها:

1. من المشاكل التي يمكن أن يُصادفها المعالج أثناء العمل، مشكلة تتمثل في استحابة تلقائية متبادلة في عملية وضع علامات GCPs بين المرئيتين، وغالبا ما توجد إزاحة يدوية manual displacement طفيفة للنقطة التالية، يمكن التغلب عليها بتعديلها وفق رؤية وخبرة المستخدم من خلال النافذة العلوية الأصغر، والتي يظهر فيها موضع النقطة المختارة مُكبّرا بتحري أعلى دقة ضبط وتحديد ممكنة. وهي عموما ليست بالمعضلة، مع قراءة القيم التي تعكس مدى الزحزحة الأفقية والرأسية التي خلفتها الإحداثيات السينية والصادية المدخلة، والتي يتنبأ بها الحاسب بعد توقيع النقطة الثالثة مباشرة وتظهر ضمن العمودين المعنونين بالإحداثيات المتبقية⁽²⁰⁾ X, Y Residual في نافذة GCP Tool، ومتابعتها أثناء إجراء العملية مدعاة للاطمئنان المبدئي على سلامة العمل؛ إذا ما لم تتخطى تلك القيم الواحد الصحيح، وتُسجل بخانة خطأ جذر متوسط المربع RMS Error بنفس الجدول.

2. إذا لوحظ أن نقاط التحكم الأرضية كانت ثابتة باتجاه أي من الإحداثي السيني أو الإحداثي الصادي أثناء توقيعها بالجدول الموجود في GCP Tool بنافذة الحاسب السفلية، فتلك مشكلة جديدة بالاهتمام وينبغي عدم إهمالها، والحل يتمثل في الآتي:

- إضافة المزيد من نقاط التحكم الأرضية في ذلك الاتجاه الثابت.
- أو الذهاب للصندوق الحواري الخاص بمطابقة ومضاهاة نقاط التحكم الأرضية GCP Matching؛ لإيجاد موقع بديل في المرئية المطابقة بمعامل الارتباط الأعلى⁽²¹⁾، وإنشاء نقطة تحكم أرضية في ذلك الموقع. ولتفتح هذا الصندوق الحواري، يُختار الأمر Edit / Point Matching... (تحرير/ مطابقة نقطة) بنافذة GCP Tool. ويتعين على المستخدم إدخال الطبقة المعلوماتية الواحدة تلو الأخرى من المرئية المصدر. وبالعموم تعد النتائج جيدة لو توافقت الملامح الطيفية⁽²²⁾ - كالطول الموجي مثلاً - للطبقة المعلوماتية المدخلة input layer، مع طبقة المصدر source layer. ويُرجح الباحث الحل الأول بالنسبة للمبتدئين؛ لأن الحل الثاني يحتاج لخبرة المضاهاة وخلفية أوسع بالأوامر ذات العلاقة بعمليات الضبط والتحرير الخاصة بنقاط التحكم الأرضية البديلة.

3. يحدث أن تظهر أيقونة التنبيه هذه  لتحذيرك من أن الصندوق الحواري لأدوات التصحيح الهندسي سوف يُغلق بسبب أن المرئية الموجودة بالنافذة الحالية ستُستبدل البيانات المعيارية، والتي ستظهر عندما تضغط على هذه الأيقونة ، للخروج من هذه الحالة اتبع أحد

الحلول الآتية:

● اضغط OK: للتأكيد على أنك مدرك لأهمية التحذير، وترغب في الاستمرار لإتمام عملية المعايرة⁽²³⁾، وهنا يُغلق الصندوق الحواري.

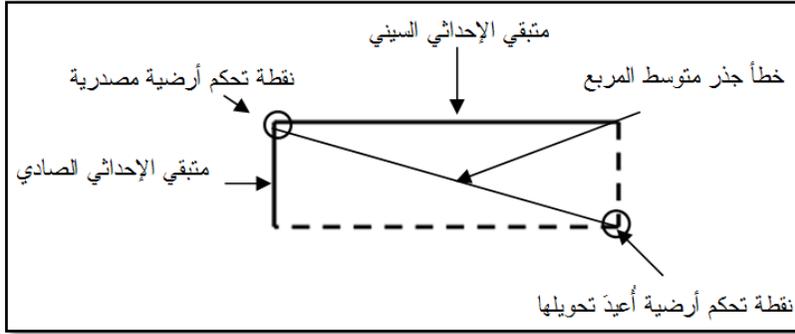
● اضغط Cancel: لإلغاء عملية المعايرة، وأغلق هذا الصندوق؛ إذا كنت لا ترغب في مواصلة تلك العملية، ويُصحح بهذا الإجراء في مثل حالة صورتنا الحالية؛ لأن البيانات المستخدمة في الدراسة تمت معايرتها سلفاً وستخضع للتحقق من تلك المعايرة بتجميع نقاط التحكم الأرضية أثناء توقيعها، من خلال أدوات التصحيح الهندسي المتاحة ضمن هذه المنهجية.

رابعاً: مناقشة النماذج والمعايير: إن استيعاب الصيغ المختلفة، مع تبسيط المعقد منها، يساعد كثيراً في فهم طبيعة البيانات المستخرجة Outputs من ناحية، والتعرف على مدى دقة تحويلاتها الرياضية Math. Transformation من ناحية أخرى، فمثلاً: لو أخذنا إحداثياً واحداً (س أو X) - بدلاً من إحداثيان (س، ص أو X, Y) كما في نموذج Polynomial - سيتيح ذلك إمكانية تمثيلها على منحنى بياني من بعدين 2D فقط؛ ولإدراكنا الحكمة من ضرورة ألا يقل عدد نقاط التحكم الأرضية المطلوبة للتصحيح عن 4 أربع نقاط وألا تزيد رتبة التحويل عن الرتبة الثانية 2D order بالنموذج التعددي، والمثالب التي يمكن أن تترتب على مدى صحة نتائج العملية إذا ما قلت النقاط عن العدد المطلوب لتجهيز مصفوفة التحويل الأصح، ويظهر الفرق في استخدام الرتب الدنيا والعليا lower-higher orders بهذا النموذج ومتى يُستخدم كل منها⁽²⁴⁾.

وترمي هذه المناقشة إلى توضيح عدد من المفاهيم الأساسية الضرورية لفهم المعايير التي تأسست عليها عمليات التصحيح، والتي من أهمها طبيعة وآلية مصفوفة التحويل بتحويلاتها الخطية المترافقة متعددة الحدود، وطبيعة الأشكال الهندسية الداخلة في بناء المرئية كالقطع المستقيمة والزوايا المتساوية التي تؤلف خلايا الصورة الجوية أو المرئية الفضائية، وتراعى في أيٍّ من نماذجها التقنيّة technical models فرضيات الهندسة التحليلية والفراغية وقواعد حساب المتثلثات بعلاقتها المختلفة؛ بهدف تحقيق خواص: التوازي، والتطابق، فالتمائل بالمسلمات الإقليدية للمرئية الفضائية مع نظم الإحداثيات المسندة كارتوجرافيا على الأرض.

* مصفوفة التحويل **Transformation Matrix**: تحسب أي مصفوفة تحويل من نقاط التحكم الأرضية⁽²⁵⁾، وتحتوي المصفوفة على المعاملات المستخدمة في المعادلات متعددة الحدود لتحويل الإحداثيات. ويعتمد حجم المصفوفة عموماً على رتبة التحويل. والهدف من حساب معاملات المصفوفة هو اشتقاق المعادلات متعددة الحدود لأقل قدر من الخطأ المحتمل عند استعمالها في تحويل الإحداثيات. وليس في الإمكان دوماً اشتقاق المعاملات بدون خطأ. وتُعرف المسافة المحصورة بين إحداثي نقطة التحكم المرجعية والمنحني بخطأ جذر متوسط المربع **RMS error** المشار إليه سابقاً (الشكل رقم 12).

شكل رقم (12) يوضح العلاقة بين خطأ جذر متوسط المربع ومتبقيات كل زوج إحداثي نقطة تحكم أرضية أعيد تحويلها.



المصدر: مترجم عن Rectification on-line manual

* التحويلات الخطية **Linear transformation**: بما أنه يوجد إحداثيان (س، ص) متطابقان لكل نقطة تحكم أرضية GCP موقعة على المرئية الفضائية⁽²⁶⁾. إذن يُمكن تمثيل العلاقة بين النقطة الأرضية وقياسات المرئية المطابقة معها باستخدام التحويل الخطي - الأسهل والأسرع - مع صيغ متعددة الحدود من الرتبة الأولى على النحو التالي:

$$ص_0 = أ_0 + أ_1 س + أ_2 ص$$

$$ص_0 = ب_0 + ب_1 س + ب_2 ص$$

حيث أن:

- س، ص : متغيران يمثلان إحداثيات المرئية المصدر (بيانات مدخلة inputs).
- ص₀، ص₀ : متغيران يمثلان إحداثيات المرئية المصححة (مخرجات outputs).
- أ₀، أ₁، أ₂ و ب₀، ب₁، ب₂ : معاملات مصفوفة التحويل.

وعليه تحتوي مصفوفة تحويل الرتبة الأولى بالنموذج الرياضي متعدد الحدود Polynomial على عدد 6 سِتّة معاملات، ثلاثة لكلِّ إحدائي (س، ص) هي:

$$\begin{matrix} 0 \text{ أ} & 1 \text{ أ} & 2 \text{ أ} \\ 0 \text{ ب} & 1 \text{ ب} & 2 \text{ ب} \end{matrix}$$

* التحويل متعدّد الحدود Polynomial Transformation: تُستخدم المعادلات متعددة الحدود في تحويل ملف إحدائيات المصدر إلى الإحدائيات الكارتوجرافية الصحيحة. والمعاملات الرياضية التي تعرضها الأمثلة التالية عموماً سوف يتم حسابها بطريقة المربعات الصغرى التراجعية LSR method. فمثلاً: افترض أن الإحدائيات السينية لنقاط التحكم الأرضية المدخلة كانت: 1، 2، 3؛ فستصبح مخرجاتها كما في الجدول رقم (1).

جدول رقم (1) تحويل من الرتبة الأولى للإحدائيات السينية المصدرية
لعدد ثلاث نقاط تحكم أرضية.

الإحدائي السيني المرجع (مُخْرَج)	الإحدائي السيني المصدر (مُدخِل)
17	1
9	2
1	3

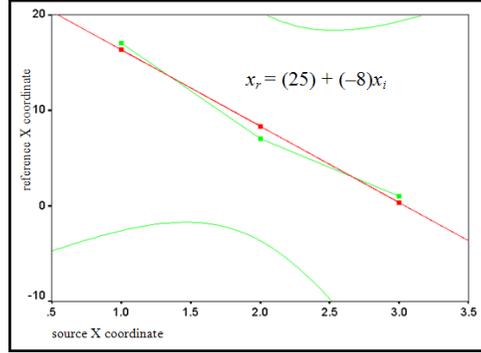
يسمَح التحويل من الرتبة الأولى بتخصيص الإحدائيات السينية لنقاط التحكم الأرضية المدخلة⁽²⁷⁾، (المعاملات المحصورة بين قوسين) بالمعادلة التالية:

$$س = (25) + (-8)سب$$

حيث أن:

- س: الإحدائي السيني المرجعي.
- سب: الإحدائي السيني المصدر.
- تقابل هذه المعادلة نفس الصيغة كمعادلة خطّ مستقيم ($y = m x + b$) أو ($ص = م س +$ ب). فإذا كان النموذج متعدّد الحدود من الدرجة الأولى خطياً بالمعايير الرياضية؛ فإن التحويل من الدرجة الأولى كذلك يُعرف كتحويل خطيّ، كما في المعادلة الخطية (البيانية) المخطّطة في (الشكل رقم 13).

شكل رقم (13) تحويل من الرتبة الأولى.



المصدر: التحليل باستخدام برنامج SPSS.

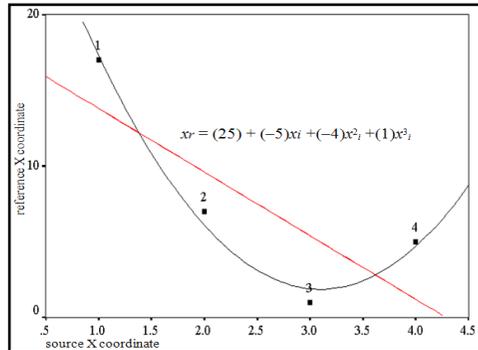
وفي حال تغيرت نقطة التحكم الأرضية الثانية لتصبح كما في الجدول رقم (2)؛ لا يمكن لأي خط أن يصل بين هذه النقاط المتعددة (الشكل رقم 14)، ولا تعكس نموذجاً متعدّد الحدود من الرتبة الأولى كما سبق أعلاه، وعليه فإن تلك النقاط يمكن أن تظهرها معادلة متعدّدة الحدود من الرتبة الثانية (الشكل رقم 15) كما في النقاط الموضحة بالصيغة التالية:

$$s_1 = (31) + (-16)s_1 + (2)s_1^2$$

جدول رقم (2) تغيير إحدى نقاط التحكم الأرضية.

إحداثي سيني مرجعي (مُخْرَج)	إحداثي سيني مصدري (مُدخِل)
17	1
7	2
1	3

شكل رقم (14) التحويل بعد أن تغيرت نقطة التحكم الأرضية الثانية.



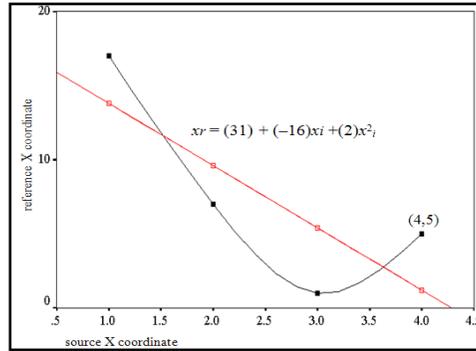
المصدر: التحليل باستخدام برنامج SPSS.

المعادلات متعدّدة الحدود من الدرجة الثانية فأكثر ليست خطية، فإذا أُضيفت للقائمة أكثر من ثلاث نقاط تحكم أرضية؛ كما في الجدول رقم (3).

جدول رقم(3) تغيير إحدى نقاط التحكم الأرضية.

إحداثي سيني مصدرى (مُدخل)	إحداثي سيني مرجعي (مُخرَج)
1	17
2	7
3	1
4	5

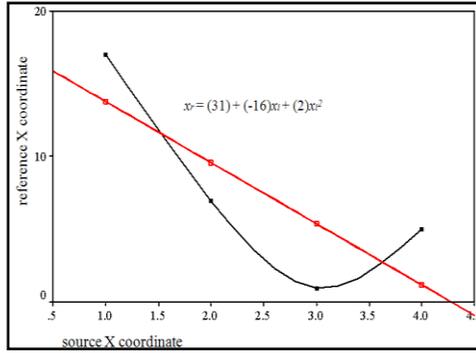
شكل رقم(15) التحويل بعد إضافة نقطة التحكم الأرضية الرابعة.



المصدر: التحليل باستخدام برنامج SPSS.

كما ي تضح من الشكل التالي، لا تتلاءم نقطة التحكم الأرضية الرابعة هذه على منحنى المعادلة متعدّدة الحدود من الرتبة الثانية، ولضمان توافق وملائمة كُُلِّ نقاط التحكم الأرضية، يجب أن تزداد رتبة التحويل إلى الرتبة الثالثة. المعادلة والرسم البياني في (الشكل رقم 16) يمكن أن يوضحا نتيجة زيادة رتبة التحويل. ويتضح أن التحويل من الرتبة الثالثة قد يبدو معقدا نسبياً، لكن على أية حال، فإن تجهيز وتحويل الإحداثيات بواسطة هذه المعادلة ربما يتسبب في حدوث تشوهات غير مرغوبة unwanted distortions في بيانات الصورة أو المرئية المستخرجة (outputs).

شكل رقم (16) تحويل من الرتبة الثالثة.



المصدر: التحليل باستخدام برنامج SPSS.

ومن أجل الحصول على درجة ملائمة متقنة لكل نقاط التحكم الأرضية؛ يجب عمل حساب القيم المرتفعة جداً بتحويل الرتبة الثالثة الجدول رقم (4)، والتي ستتسبب في أن تكون بعض خلاياها الناتجة مرتبة (مُصطفة) في رتب مختلفة عن الخلايا المدخلة (inputs) ومتباعدة في اتجاه الإحداثي السيني (الشكل رقم 17).

جدول رقم (4) ترتيب القيم المرتفعة للإحداثيات المخرجة بتحويل الرتبة الثالثة.

إحداثي سيني مرجعي (مُخْرَج)	إحداثي سيني مصدري (مُدخِل)
$0س(1) = 17$	1
$0س(2) = 7$	2
$0س(3) = 1$	3
$0س(4) = 5$	4

$$0س(1) < 0س(2) < 0س(3) < 0س(4)$$

$$1 < 5 < 7 < 17$$

شكل رقم (17) تأثير تحويل الرتبة الثالثة على ترتيب قيم الإحداثيات السينية المدخلة والمخرجة بالبيانات الخام (أعلى) والمصححة (أسفل).

الإحداثيات السينية لبيانات المرئية المُخَطَّة																
1	2	3	4													
1	2	3	4													
الإحداثيات السينية لبيانات المرئية المُخْرَجة																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3				4		2										1

وعليه، فإن أنسب التصحيحات عادة ما تكون إما رتبة أولى أو رتبة ثانية؛ لخطورة استخدام تصحيحات الرتبة الأعلى، حيث تكون نتائجها المتوقعة أقل انتظاماً، إذا ما أردنا مُلائمة كُلِّ نقاط التحكم الأرضية التي تم توقعها وهو الإجراء الذي تم إتباعه في تصحيح المرئية موضوع الدراسة⁽²⁸⁾.

خامساً: تحليل نتائج الإسناد والتصحيح: أُسندت بيانات المصدر مسقط مركبتور المستعرض Transverse Mercator projection؛ لاعتبارات: صغر المساحة والموقع الجغرافي الذي يفرض وقوع منطقة التصوير ضمن العروض المدارية (المناطق الجافة) غير البعيدة - بدرجة قصية - عن خط الاستواء، وما يعنيه ذلك من أفضلية تمثيل، يمكن أن تحافظ على صحة متغير المسافات نسبياً، على العكس من تشوّهه بنسب أكبر مع استخدام أنواع أخرى من المساقط، بالإضافة إلى تحقيق مسقط مركبتور لعدة مزايا عامة⁽²⁹⁾ هي:

- الإبقاء على الاتجاهات والزوايا التي تحكم عناصر المحتوى الرقمي بالمرئية.
- الاحتفاظ بالخصائص الشكلية لملامح المرئية لثمائل نظيراتها على الطبيعة.
- صحة المساحات التي تحتلها الظاهرات المؤلفة لملامح المرئية الفضائية.
- دقة مقياس الرسم.

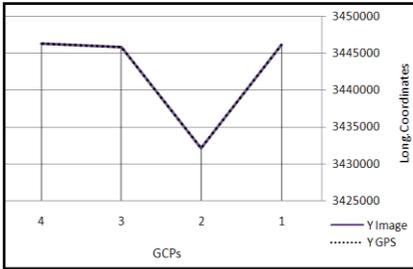
وقد غطت بيانات المرئية الفضائية النطاق الشرقي من المنطقة الجغرافية Geographical Zone رقم 33 وخط طولها المركزي (المرجعي) هو 15⁰ وفق نظام UTM، وما يتبع ذلك من صحة وتطابق في ناتج الأعمال الكارتوجرافية (الخرائط)، التي تعتمد على تلك البيانات الفضائية، لما هو موجود على سطح الأرض من ظاهرات مختلفة، وتحديد أدق لبيانات وأرصاء الأعمال المساحية المستقبلية، والمفاضلة الموضوعية لإعدادات التصحيح والإسناد الكارتوجرافي تحت أي غرض أو تطبيق بيئي أو جغرافي أو إنشائي محتمل.

ويتركز تحليل نتائج التصحيح على تقييم خطأ جذر متوسط المربع Evaluating RMS Error، الذي تم استخراجه بإجراء تحويل متعدّد الحدود من الرتبة الأولى فالثانية، بعد التأكد من أنّ تحويل الرتبة الأولى غير فعال، وتكرار فحص مصفوفاته مراراً ومقارنة نتائجها، عن طريق تقييم التشوّه النسبي، وذلك بالتنقل بين المرئية المعاد تحويلها وبين المرئية المصححة والخريطة الجيولوجية للمنطقة. وفي ضوء المعايير السابقة وبعد الحصول على نتائج العملية⁽³⁰⁾ تم تقييم متوسطات الأخطاء، حيث أظهرت معاملات التصحيح (Parameters) بمصفوفة التحويل بالجدول رقم (5) الخاص بتحويلات المرئية المصححة، وبالجدول رقم (6) الخاص بتحويلات

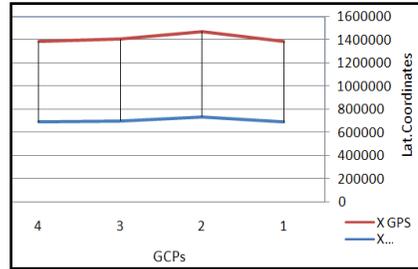
جهاز تحديد المواقع العالمي، وبعد إجراء التحليلات الإحصائية اللازمة اتضحت من قراءة نتائجها الحقائق التالية:

1. بلغ خطأ جذر متوسط المربع الإجمالي في الإحداثيات السينية (الأفقية) لنقاط التحكم الأرضية 0.008 (الشكل رقم 18)، في حين بلغ في الإحداثيات الصادية (الرأسية) 0.015. وإن تطابق مدى الإزاحة الكبيرة نسبياً في توقيع نقطة التحكم الأرضية الثانية بالإحداثيات الصادية الرأسية (الشكل رقم 19) بمتوسط خطأ إجمالي بلغ 0.017 بنتائج التصحيح المعتمدة على المرئية المصححة سلفاً، في حين بلغ متوسط الخطأ الإجمالي بمربع الجذر المتوسط في نتائج التصحيح التي اعتمدت على جهاز تحديد المواقع العالمي 0.030، الجدول رقم (7) مما رجح أفضلية الاعتماد على المرئيات المصححة سلفاً، لعدم توافر الدقة المطلوبة في الكثير من أجهزة تحديد المواقع العالمية التي تُتاح للأفراد، على العكس من المؤسسات العسكرية والمراكز العلمية الكبرى التي يمكن أن توفر لخبرائها وباحثيها أجهزة أدق، وإن توافقت نتائج التصحيح بالوسيلتين مع الشروط التقنية لكون الخطأ الإجمالي دون الواحد الصحيح على وجه العموم.

شكل رقم (19) مدى الزحزحة في قيم الإحداثيات الصادية الرأسية الناتجة عن خطأ جذر متوسط المربع.



شكل رقم (18) مدى الزحزحة في قيم الإحداثيات السينية الأفقية الناتجة عن خطأ جذر متوسط المربع.



2. لا توجد اختلافات كبيرة بين القيم المطبَّعة المساهمة normalized contribution التي تمثل خطأ جذر متوسط المربع لكل نقطة مقارنةً بخطأ جذر متوسط المربع الكلي، لكل نقطة تحكم أرضية سواء وقعت بالإسناد للمرئية للمصححة سلفاً أو سُجلت بواسطة جهاز GPS.

3. توافقت إحداثيات نقطة الترجيح الرابعة سواء بنقاط التحكم الأرضية المسندة للمرئية المصححة سلفاً أو بتلك التي سُجلت بواسطة جهاز GPS مع قيم ارتباط الوسيط الحدّي التي تتراوح ما بين 0 - 1، حيث بلغت في الأولى 0.245 (أي ربع الوسيط الحدّي) وفي الثانية 0.554 (أي نصف الوسيط الحدّي تقريباً)، لتُعتمد نقطة تحكم أرضية مطابقة ويتم توقيعها، ما

يعني عدم الحاجة لمزيد من نقاط تحكم أرضية بديلة، وبأن عملية توقيع النقاط تمت بأمان؛ وبالتالي صلاحية المرئية موضوع الدراسة لعدة تطبيقات عملية، كرسم الخرائط دقيقة المقاييس، والاطمئنان لعمليات تصغيرها وتكبيرها، وفائدتها في إمكانية المقارنة والربط بين الصور الفوتوغرافية الجوية والأرضية لأي ظاهرة بمنطقة التصوير.

4. سجلت إحداثيات نقاط التحكم الأرضية الموقعة بواسطة الجهاز الملاحي GPS المستخدم في الدراسة، نسبة خطأ تراوحت بين 10-111 متراً الجدول رقم (8).

5. يوجد ارتباط قوي بين نتائج توقيع أزواج الإحداثيات العرضية وارتباط أقوى نسبياً بين نظيراتها من أزواج الإحداثيات الطولية لنقاط التحكم الأرضية المسندة لكل من المرئية المصححة سلفاً وجهاز GPS⁽³¹⁾ (نسبة خطأ كبيرة)؛ ما يعكس مدى دقة التطابق في توقيع نقاطها الأرضية مع اختلاف الوسيلة الجدول رقم (9).

6. أثبت اختبار F عدم وجود اختلافات شديدة بالاحتمالات الثنائية لكل من أزواج الإحداثيات العرضية والطولية سواء ببيانات المرئية المصححة سلفاً أو الموقعة بواسطة جهاز GPS بوجه عام الجدول رقم (9).

7. تميل قيم التوزيع التكراري بأزواج الإحداثيات الطولية للتفرطح Platykurtic أكثر من أزواج الإحداثيات العرضية، حيث بلغت -0.00387 ، -0.361072 على التوالي؛ مما يشير إلى ركود نسبي في توزيع نقاط التحكم الأرضية مقارنةً بالتوزيع العادي Normal Distribution سواء الموقعة ببيانات المرئية أو بالجهاز؛ وذلك بسبب الانخفاض النسبي لدرجة الوضوح الأرضي بالمرئيتين؛ الأمر الذي ترتب عليه الاضطرار إلى تكديس نقاط التحكم في مساحة صغيرة- هي الأوضح- عند توقيعها.

8. ويشير الخطأ القياسي لقيمة "ص المتوقعة لكل قيمة "س" بأزواج الإحداثيات العرضية في خط الانحدار، بأنه أكبر بكثير عن نظيره بأزواج الإحداثيات الطولية، حيث بلغ 111.34 و 14.65 على التوالي. مما يعكس زيادة نسبة الخطأ المقدر بالإحداثيات العرضية بكل من مرجعيتي الإسناد اللتان اعتمدت عليهما عملية التصحيح، الجدول رقم (9).

الجدول رقم (5) بارامترات نقاط التحكم الأرضية الموقعة بالاعتماد على المرئية المُصححة.

كود نقطة التحكم Point ID	الإحداثيات السينية (المصححة) X Ref	الإحداثيات الصادية (المصححة) Y Ref	نوع النقطة Type	الإحداثيات العرضية المتبقية X Residual	الإحداثيات الطولية المتبقية Y Residual	خطأ جذر متوسط المربع RMS Error	الإسهامات Contrib.	التوافق Match
GCP #1	716387.2383	3446072.429	Control	-0.068124976	0.019986313	0.028993148	0.98984911	
GCP #2	693500.4871	3447283.238	Control	0.007094878	-0.013555602	0.056117782	1.003941693	
GCP #3	716644.2489	3438288.652	Control	-0.006518149	0.012804043	0.060608579	1.010091783	
GCP #4	716387.2383	3436958.053	Control	0.009548247	-0.017234754	0.051483946	0.7259992	0.245

الجدول رقم (6) بارامترات نقاط التحكم الأرضية المسجلة بواسطة جهاز GPS.

كود نقطة التحكم Point ID	الإحداثيات السينية (المصححة) X Ref	الإحداثيات الصادية (المصححة) Y Ref	نوع النقطة Type	الإحداثيات العرضية المتبقية X Residual	الإحداثيات الطولية المتبقية Y Residual	خطأ جذر متوسط المربع RMS Error	الإسهامات Contrib.	التوافق Match
GCP #1	692898.395	3446093.153	Control	-0.075	0.049	0.073	0.789	
GCP #2	736584.436	3432113.265	Control	0.074	-0.040	0.060	1.034	
GCP #3	703186.254	3445826.478	Control	-0.099	0.041	0.071	1.027	
GCP #4	692432.123	3446264.201	Control	0.087	-0.040	0.069	0.895	0.554

المصدر: نتائج توقيع نقاط التحكم الأرضية ورسومات الخطأ باستخدام البرنامج ERDAS IMAGINE.

جدول رقم(7) مقارنة متوسط الخطأ بإحداثيات نقاط التحكم الأرضية
المسندة لكل من المرئية المُصححة وجهاز GPS.

متوسط الخطأ بالإحداثيات المسجلة بواسطة جهاز GPS			متوسط الخطأ بالإحداثيات الموقعة بالمرئية الصحيحة		
متوسط الخطأ الإجمالي	الإحداثيات العرضية (Y)	الإحداثيات الطولية (Y)	متوسط الخطأ الإجمالي	الإحداثيات العرضية (X)	الإحداثيات الطولية (Y)
0.0304	0.0275	0.0187	0.0173	0.0084	0.0151

المصدر: الجدول من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج برنامج ERDAS IMAGINE.

الجدول رقم(8) تقدير متوسط الخطأ بإحداثيات نقاط
التحكم الأرضية المسجلة بواسطة جهاز GPS.

الفارق بينهما		الإحداثيات المسجلة بواسطة جهاز GPS		الإحداثيات الكارثوجرافية الصحيحة		نقطة التحكم الأرضية
العرضية (lat.)	الطولية (long.)	الإحداثيات العرضية (lat.)	الإحداثيات الطولية (long.)	الإحداثيات العرضية (lat.)	الإحداثيات الطولية (long.)	
14-	21	692898	3446093	692912	3446072	1
9	25-	736584	3432113	736575	3432138	2
171-	11	186703	3445826	703357	3445815	3
29	7-	326924	3446264	692403	3446271	4

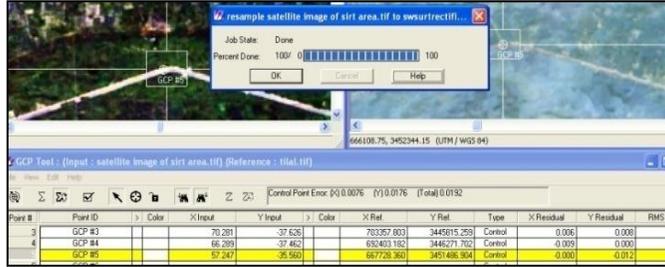
المصدر: الجدول من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج برنامج ERDAS IMAGINE.

جدول رقم(9) العلاقات الوصفية لأزواج الإحداثيات
بكل من المرئية المُصححة وجهاز GPS.

الإحداثيات الطولية (Y) المسندة لكل من المرئية والجهاز	الإحداثيات العرضية (X) المسندة لكل من المرئية والجهاز	المتغير الإحصائي
0.999999	0.9999904	الارتباط
0.996999	0.999451	اختبار F
-0.00387	-0.361072	التفرطح
14.65576	111.3421	الخطأ القياسي لقيمة ص

المصدر: الجدول من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج تحليل برنامج Excel.

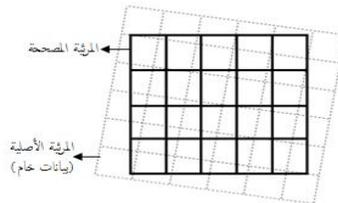
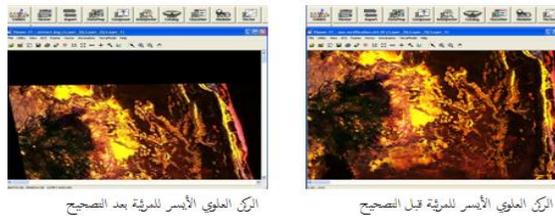
شكل رقم(21) نافذة الانتهاء من العملية.



5. بالنقر على المفتاح OK ينتهي التصحيح، ويصبح الإغلاق موافق بالخروج من نافذة المرئيتين بعد حفظ الملف.

6. وللتأكد من أن عملية التصحيح تمت بأمان؛ تُفتح المرئية بالنقر على أيقونة  بشرط الأدوات الخاص بنافذة Viewer، سيظهر صندوق حوار باسم ImageInfo وبه بيانات التصحيح الأخيرة ممثلة في صف: Projection Inf، وللتأكد من أن المرئيتين قد أصبحتا متماثلتي المسقط والإحداثيات؛ يتم استخدام خاصية Swipe وذلك بالنقر على القائمة المنسدلة Utility بشرط القوائم الخاص بنافذة Viewer، ثم نختار Swipe...؛ لفتح المرئيتين فوق بعضهما البعض في نفس النافذة (Viewer)، ونتأكد من أن بيانات المرئية التي باتت على صورتها الخام (غير مصححة) قد أصبحت مُستَعَدَّة⁽³⁴⁾ Geocoded. وبمقارنة الركن العلوي الأيسر للمرئية قبل وبعد التصحيح، سنجد أن إحداثيات الخلايا الشبكية لبيانات المرئية تم تحويلها بعد تحويلها رياضياً وتصحيحها هندسياً لتُستَعَدَّل في وضعية رأسية بعد أن كانت وضعيتها مائلة على النحو الموضح في (الشكل رقم 22).

شكل رقم(22) وضعية الإحداثيات الشبكية للبيانات بعد تحويلها.



* الخاتمة:

تناولت الدراسة عملية التصحيح الهندسي للبيانات الفضائية الخام، وخلصت إلى إمكانية تحقيق أعلى نسبة نجاح في التصحيح؛ إذا ما روعيت في الاختيارات أنسب الأوضاع، وتم إنجاز عمليات التوقيع والمطابقة لنقاط التحكم الأرضية وتصحيح الأخطاء، حتى توافقت نظم الإحداثيات بالبيانات الخام مع النظام الشبكي الآلي بمبرعاته التي تُحدد إحداثياتها بأزواج أعدادها السينية والصادية داخل كل صف وعمود بالحاسب الآلي. وبعد إجراء تصحيح الأخطاء وتقييمها والمفاضلة بين أنواع الطرق والنماذج المستخدمة تم التوصل إلى عدد من النتائج تم تحديدها في عدد من النقاط التي تخدم قضية تحقيق وتحسين البيانات الرقمية المستخدمة وتجهيزها للتحليل؛ خدمة لبناء قواعد بيانات مكانية مستقبلية بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية، والتي من أهم أهدافها عمل الخرائط الدقيقة التي تحتاجها الدراسات التطبيقية البيئية والجغرافية.

* نتائج الدراسة:

1. فاضلت الدراسة بين مجموعة الحلول والحلول البديلة لعدد من مشاكل العمل، مصحوبة بتبريرات التفضيل لإحداها دون سواها من حلول وردت في سياقها بالمتن.
2. أمكن توضيح أبسط لوغاريتمات المعالجة الآلية للرؤية في معادلاتها الجبرية البسيطة، التي ساعدت على إمكانية التحرير بالتعديل ومن ثم اختيار الأنسب منها أثناء العمل.
3. أفضل الإعدادات (settings) المختارة لنماذج التصحيح بالأوضاع المختلفة لبرامج المعالجة والتحليل كانت للنموذج الرياضي Polynomial؛ لتعدد حدوده الجبرية ومتغيراته الإحصائية.
4. أنسب رتب التحويل التي تأسس عليها التصحيح كانت للرتبتين الأولى والثانية؛ لأنهما يناسبان الصور والمرئيات المنفردة، بعكس تصحيح الصور المتداخلة التي تستخدم صيغ الرتب الأعلى بالنموذج الرياضي التعددي، ويطلق عليها صيغ الملاحظة observation equations.
5. أثبتت العملية أن آلية التصحيح الهندسي Geometric Correction للصور والمرئيات أفضل وأشمل من عمليات التسجيل Registration فقط؛ لعدم اعتماد الأخيرة على أية نظم إحداثية كارتوجرافية map coordinate system. كما تُفضل عملية إعادة تعين الصورة (تكرار أخذ العينات) Resampling بشكل منفرد بواسطة أي من برامج معالجة الصور الشائعة؛ لنتائجها السلبية على صور المناطق التي تسود بها ظاهرات من النمط الشريطي أو النقطي، كالمزارع والنباك، ومدارج المطارات وأرضيات الاحتفالات المزخرفة بدهانات خطية،

- وبعض الأهداف العسكرية الموهمة ... الخ.
6. التقنيات المستخدمة في تصحيح المرئية الفضائية Image، يمكن استخدامها في تصحيح الصور الجوية Aerial Photographs آليا(بواسطة الحاسب)، وبنفس المنهجية.
7. خلصت الدراسة إلى أن أنسب مساقط التصحيح هو مسقط مركبتور المستعرض UTM؛ لاعتبارات إقليمية تم تفصيلها بالمتن.
8. دقة التحديد الرقمي للمنطقة الجغرافية Geographical Zone التي تضمنتها بيانات المرئية الفضائية، حيث غطت النطاق الشرقي من المنطقة الجغرافية رقم 33 وخط طولها المركزي هو 15^0 وفق نظام UTM، وتكمن أهمية مثل هذا التحديد في ضرورة أن تتضمنها إعدادات أي نظام معلوماتي جغرافي مستقبلي، وفي توفير كلفة اقتصادية مرتفعة، يمكن أن تتطلبها المشاريع والمنشآت الهندسية المقبلة بالمنطقة، وذلك لحاجة مثل هذه المشاريع لدقة نسبية عالية.
9. وجدت فروق بين إحداثيات نقاط التحكم الأرضية الموقعة بواسطة الجهاز الملاحي GPS المستخدم في الدراسة والإحداثيات الكارتوجرافية الصحيحة الموقعة من مرئية مصححة سلفا، حيث تراوحت نسبة الخطأ بينهما 10- 111 مترا؛ ليعكس احتمالية وجود بعض الاختلافات تبعا لدقة مرجعية الإسناد المستخدمة.
10. تمت عملية تصحيح البيانات بنجاح وفق أصولها العلمية، وضمن هامش إجمالي خطأ جذر متوسط المربع RMS error المقبول به من الناحية التقنية؛ ما يعني صلاحية المرئية في رسم الخرائط دقيقة المقاييس، وإمكانية استخدامها في الربط بين الصور الجوية والأرضية.
11. مع إتمام عملية التصحيح لهذه البيانات تم توحيد ثلاث متغيرات مساحية أساسية في إحداثيات مرجعية موحدة هي:
- نقطة الأصل (الإسناد) Origin Datum .
 - التوجيه الفضائي Orientation .
 - مقياس الرسم (وحدة القياس) Scale. وعليه بات من السهل تحويل الإحداثيات بين أي مرجع مستحدث للإسناد الجيوديسي الليبي ومراجع الإسناد الجيوديسية العالمية؛ وبالتالي يصبح هناك إمكانية لربط الشبكة الجيوديسية الليبية بشبكة الإحداثيات الجيوديسية العالمية لتتفاعل وتستفيد من منظومة الأقمار الصناعية بدقة قياساتها المستحدثة.
12. أوضح استبيان الطلاب من خلال خبرة التدريس الجامعي أن طريقة عرض النوافذ windows presentation، هي أفضل الوسائل التعليمية لموضوعات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية عامة، وعلى الأخص الجوانب العملية منها.

الهوامش والتعليقات:

- 1- تتوقف دقة التصحيح على مدى دقة الخصائص الهندسية والجغرافية للإحداثيات المرجعية التي سُسند إليها المرئية المراد تصحيحها، كما تتوقف على مدى تحري المحلل أو المصحح للدقة في عمله أثناء إجرائه لعمليات المعالجة الأولية Reprocessing وضرورة تصحيح الأخطاء الواردة بعد توقيعه لنقاط التحكم الأرضية.
- 2- **مسقط الخريطة Map Projection**: هو نظام تم تصميمه لتمثيل سطح كروي ثلاثي الأبعاد "3D" أو جسم شبه كروي (كالأرض) على سطح مستوي ثنائي الأبعاد "2D" (كالخريطة). وهناك عدد من طرق الإسقاط الكارتوجرافي المختلفة. وتتوقف دقة أي منها على مدى حفاظه على صحة عدد من الخصائص، مثل الحفاظ على المسافة الحقيقية، وصحة الزاوية والاتجاه، والمساحة. فمثلاً: عند رسم قطراً محمداً لدائرة ما بأي موقع على خريطة ما، تم إسقاطها بمسقط المساحات المتساوية، سيمثل نفس المنطقة الكلية. وهذا يفيد في مُقَارَنَة مساحات استخدامات الأراضي، والكثافة، والعديد من التطبيقات الأخرى. على أية حال، يصعب الحفاظ على صحة المساحات، الأشكال، الزوايا، ومقياس الرسم في أجزاء الخريطة المختلفة، إذ قد يُحْرَفُ أو يشوه أي من تلك العناصر بالمسقط الواحد، وعموماً يختلف المسقط باختلاف التطبيق، فالدقة النسبية اللازمة مثلاً لرسم الخرائط التفصيلية في تخطيط المدن أعلى بكثير من الدقة النسبية المطلوبة في رسم خرائط حصر موارد الغابات أو تصنيف الصحاري على المستوى الإقليمي، وتحتل خرائط استخدام الأرض - على مستوى المناطق داخل أقطارها - دقة نسبية وسط بينهما، ولذا فالمعيار هنا مساحي، وعليه أصبح المسقط الاسطواني هو الأنسب لتمثيل المناطق صغيرة المساحة؛ لإهماله كروية الأرض، بينما بات المسقط المخروطي هو الأصلح في التعبير عن المساحات الكبيرة؛ لعدم إهماله كروية الأرض.
- 3- تأسس هذا النموذج على معادلات خطية مشتقة بمعلومية ثلاث نقاط تحكم أرضية بأبعادها الثلاث 3D GCPs، وذلك من خلال عملية يطلق عليها **Orthorectification**، وهو شكل من أشكال التصحيح الأكثر فائدة في تحليل الصور الجوية عامة، وخاصة تلك التي تتعلق بموضوعات الجيومورفولوجيا والتضاريس أو المباني في مجال طبوغرافيا العمران، وهي نفس التقنيات المستخدمة في المساحة الجوية أو التصويرية Photogrammetric techniques.
- 4- يُطلق البعض أحياناً على مفهوم **التصحيح الهندسي Geometric Correction**: اصطلاح **التصحيح الجغرافي**، وهو خلطٌ خاطئ، حيث يختص التصحيح الهندسي بتصحيح بيانات المناطق صغيرة المساحة (دون الإقليم)، ولذا يتم إسقاطها بشكل أدق وفق إحداثيات شبكية متعامدة، ووحدات قياس مترية منتظمة. بينما يختص التصحيح الجغرافي بتصحيح بيانات المناطق الشاسعة (ما فوق مساحة الإقليم) إذ يمكن إسقاطها وفق إحداثيات شبكية كروية spheroid لا تحتاج بالضرورة دقة عالية، ووحدات قياسها دائرية (بالدرجة). وإن تمثل وجه الشبه بينهما في أن الخوارزميات الرياضية التي تأسست على واحدة.
- 5- يُقصد بالتعبير **Subject Image**: المرئية الخاضعة للتصحيح، أو المرئية الموضوع، أي موضوع الدراسة (التصحيح). أما التعبير **Object Image**: فيُقصد به المرئية الهدف أو المصححة، وفي الغالب تمثل المرئية الأحدث بهذه المجموعة المرئية المعرّفة Objected، لأي مرئية أخرى سابقة عليها.
- 6- **Jensen, John R**: Introductory Digital Image Processing; A Remote

Sensing Perspective. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1996, pp.42 - 97 .

7- **Yang, X.**: "Georeferencing CAMS Data: Polynomial Rectification and Beyond, Dissertation," University of South Carolina, Columbia, SC, 1997, pp.17 - 56 .

8- **المصطلح CAMS**: بالدراسة المذكورة هو اختصار للعبارة: **Calibrated Airborne Multispectral Scanner (CAMS)**، وتعني: البيانات المعيارية للمساح الضوئي متعدد الأطياف والمحمول جواً، وتشير لنوعية معينة من بيانات الاستشعار عن بعد **remotely sensed CAMS data**. ويستخدم المصطلح **(CAM)** أيضاً في نفس المجال لأغراض التحكم والتوجيه والتصوير الفضائي الرقمي الدقيق و**Micro-Imaging** على الكواكب الأخرى باستخدام كاميرات تعمل بالليزر وبأطياف عدة، فيشير مثلاً إلى التعبير: **Collision Avoidance Maneuver**، وتعني: "مناورة تجنّب الاصطدام" بالبرنامج الفضائي **Cassini/CAPS**. وقد تطوّر هذا الاصطلاح في الأساس عن نوعية معينة من كامات البيانات المكانية الصادرة عن نظم إدارة نشاط (مدى فعالية) المصبّات **Catchment Activity Management System**، التابعة لقسم المصادر الطبيعية والبيئة (DNRE) سابقاً، وبشكل عام، أن هذه النظم لديها القدرة على استيراد وتصدير البيانات المكانية **Spatial Data** لعرضها على المستوى المحلي لأصغر وحدة مكانية وصولاً لمستوى الإقليم، وتلك كانت معنية في البداية بحماية النظم البيئية بدءاً من إدارة المتنزهات والأراضي العامة إلى مصادر المياه والغابات، واليوم أصبحت معنية بإنشاء مشاريع عمل وبناء قواعد بيانات في هذه المجالات. وتمتلك تلك النظم مستودعا لبيانات الكامات **CAMS Data Warehouse**؛ لتخزين الصور الرقمية (jpg) والوثائق الإلكترونية (pdf, doc)، خاصة الخرائط المنتجة بواسطة برامج **GIS**، وبها يستطع أي فرد في حال تحديده لنقاط أرضية محددة في الميدان بواسطة جهاز **GPS** أن تساعده هذه النظم في الحصول على خرائط دقيقة لمنطقته، ويمكن أن تحل أي مشاكل أو أخطاء كارثوجرافية باستخدام هذه الكامات في الحال. وتوسّع الاستخدام فأصبح يُعرف بالاصطلاح المعرّب: "كاما" وهو اختصار لعدد من العبارات التي تختلف باختلاف المجالات والنشاطات البشرية المتنوعة، ففي مجال الصناعة-على سبيل المثال- تعني "الكاما" انبعاث محسوب في شكل اسطوانة دائرية تدور؛ ووظيفته الانبعاث هي: تحويل الحركة الدورانية إلى حركة ميكانيكية خطية تخدم أغراضاً هندسية محددة، ومن أشهر تطبيقاتها المعروفة بعمود الكامات، الذي يستمد حركته الرئيسية لفتح وغلق صمامات الوقود والعدم داخل غرف الاحتراق الداخلي بمحركات السيارات... الخ. وفي مجال الخدمات العامة، يشير الاختصار **(CAMS)** للعبارة: **Card Application Management Systems**، وتعني: نظم إدارة تطبيق البطاقات الالكترونية، وهي كروت ذكية حديثة تتيح إمكانية الاتصال عن بعد **Remote connection**، وذلك عن طريق التفاعل بينها وبين غيرها من مكونات البنية الأساسية لنقل البيانات؛ ولذا تتمتع نظم **CAMS** بمرونة كافية وكفاءة عالية في الأداء، ويمكنها التواصل مع مختلف البطاقات الالكترونية، وتسمح بدمج المعلومات- مهما تباينت أو اختلفت مصادرها- باستخدام قنوات الاتصال الحديثة، ومن أوسع كروتها شهرة في مجال تكنولوجيا الاتصالات والبيث الفضائي ما

يعرف "بكامة الكروت المشفرة" أو وحدة الاختراق المشروط، وهي عبارة عن مكن عن مكن أو حاضن للكارت المشفر، وتقوم بقراءته؛ بواسطة دائرة إلكترونية صغيرة الحجم تضاف لأجهزة الاستقبال والإرسال الفضائي (المعروفة بالريسيفر) حتى يتمكن المستخدم من فك إشارات أو أكواد بعض القنوات المشفرة DECODED، الخاصة بتقديم خدمة علمية أو تجارية أو ترفيهية بمقابل مادي معين، وهنا تختلف "الكامات" باختلاف أنواع ونظم التشفير. و عموماً تقبل بيانات الكامات التحديث بالتعديل أولاً بأول؛ ولذا تُعد هذه النظم أحد أهم مفاهيم الجودة الشاملة في الكثير من المجالات الحيوية. حيث تعمل بآلية الربط التي تدير عمليات التزامن في نقل البيانات بين النظم الخارجية كتأمين البيانات الهامة بالمؤسسات الحساسة، وقواعد البيانات الخرائطية، والبيانات الشخصية للأفراد كبطاقات الائتمان والكروت الإلكترونية للرعاية الصحية والضمان الاجتماعي ... الخ، كما أنها تخضع لقوانين حماية البيانات. وقد أصبح باستطاعة كل فرد في هذا العالم بواسطة هذه النظم بكاميراتها- أن يرى العالم بأسره *all world watches all world*، من خلال شبكات عنكبوتية كشبكة ويب كام EarthCam أو "كامة الأرض" وتقدم مثل هذه الشبكات خدمات في منتهى الأهمية بالنسبة للباحثين في مجال علوم الأراضي الجغرافيين والبيئيين بشكل خاص، ويمكن لأي إنسان عصري أن يستفيد منها بوجه أو بآخر.

- 9- **Mostafa, M.M.R., K.P. Schwarz, and M.A. Chapman, 1998.** Development and Testing of an Airborne Remote Sensing Multi-Sensor System, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(2):217-222.
- 10- **Mostafa, M.M.R., K.P. Schwarz, 2000.** "A Multi-Sensor System for Airborne Image Capture and Georeferencing", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 66, No. 12, pp. 1417-1423.
- 11- **Chander, G. and Markham, B:** "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, no. 11, 2003, pp. 2674- 2677.
- 12- **NASA:** "Landsat 7 Facts: Landsat 7." at

<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html.05> October, 1999.

13- بُني هذا التفضيل على أساس استطلاع آراء الدارسين خلال الفترة 2006-2009م، وإجراء استبيان علمي- يخدم أهداف الدراسة- على عينة شاملة من مجتمع طلاب ثلاث فصول دراسية خلال العامين الدراسيين 2007-2008م، 2008-2009م، وبعد تفريغ الاستمارات وتحليل نتائجها إحصائياً باستخدام **معامل التفاضل**، حظيت طريقة العرض هذه على تأييد نسبة 97% من الطلاب الدارسين بجامعة سرت الليبية.

14- أُصطلح على تعريب بعض الألفاظ في الأوساط العاملة بالاستشعار عن بعد، فمثلاً: عُرفَ الصندوق الحواري "بالديالوج"، ولوحة أو شريط الأدوات "ببالتة راستر تول"، وعرفت لوحة واجهة البرنامج ووحداها

الرئيسية "بالمودولات" ... الخ.

15- وهو عبارة عن نافذة وظيفتها عرض خيارات **المرجعية** التي سٌجمع منها نقاط التحكم الأرضية **Collect Reference Points** وتعني بعملية الإسناد المرجعي الجغرافي **Georeferencing**، لتعيين أو إسناد بيانات مرئية لإحداثيات **خريطة**. على الرغم من أنها- بيانات المرئية- قَدْ تكون مُسقطة سلفاً للوحة مستوية معينة، لكن لم يتم إسنادها بعد إلى المرجع الإحداثي الصحيح. وقد تضمّنت عملية التصحيح مفهوم الإسناد الجغرافي هذا، منذ أن ارتبطت كُلُّ أنظمة إسقاط الخريطة بإحداثياتها. وهي عملية يقوم فيها الحاسب بتعديل إحداثيات الخلايا أو النقاط الشبكية المشكّلة لبنية المرئية (pixels) التي تم تصويرها من الفضاء. ويقوم الحاسب بعمل نوعين من الإسناد، **الأول**: يُعرف **بالإسناد النسبي** أو **المرتبط Relative Reference**، ليكون بمثابة مرجع للخلية في جداول المعلومات الإلكترونية الخاصة بالمرئية، فتُعطى للخلية الأولى من جهة الركن الأيسر العلوي (UL) الرمز A1 وعند نسخ صيغة تحتوي على إسناد مرتبط بخلية أخرى، فإن الإسناد المرتبط سيتغير في الحال، والنوع **الثاني**: يعرف **بالإسناد المطلق Absolute Reference**، وهو تسمية الخلية في جداول المعلومات الإلكترونية الخاصة بالمرئية، بعلامات الدولار. مثلاً (\$A\$6) للإشارة إلى عدد ثابت تستخدمه عادة (كعدد خطوط الطول بمناطق مسقط مركبتور العالمي المستعرض). وعموما الإسناد المطلق مُقفل **Locked in** ولذلك فهو لا يتغير عند نسخ الصيغ إلى خلايا مختلفة. ويتوقف دور عملية **الإسناد** هنا على ترحيل إحداثيات خلايا المرئية من موضع لآخر، على العكس من **التصحيح Rectification** الذي يقوم بإحداث تغيير في أبعاد خلايا المرئية (pixel dimensions). **للمزيد** راجع للباحث: "محاضرات غير منشورة في الاستشعار عن بعد" بجزئها (النظري والعملية)، أقيمت على طلاب الجغرافيا بجامعة سرت.

16- لأن المرئية المصححة والتي سٌسند إليها المرئية المراد تصحيحها تمتلك كافة المعلومات المرجعية الكارتوجرافية سلفاً، ولذا فالديالوج المفتوح يحمل عنوان: **Reference Map Info**، ويشتمل على المعلومات التالية: نوع المسقط: **UTM** . والمجسم الكروي: **WGS 84**. ورقم المنطقة: **33**. والمرجع الأساسي لارتفاعات سطح الأرض: **WGS 84**، ومرجع سطح المقارنة الجيوديسي الرأسي الليبي **LGD** يُسند لمتوسط مستوى سطح البحر المتوسط (**MSL**).

17- يشترط فيها الوضوح والثبات، كأن تكون بمواضع الشوارع المتعامدة أو الطرق المتقاطعة ... الخ، **لا** أن تكون مثلاً: مسلات أو رؤوس بحرية أو ما شابه من الظاهرات القابلة للتآكل والزوال، بسبب تعرضها لعوامل التعرية الأنتشط، ويفضل توقيعها متفرقة.

18- لأن النموذج المختار بالتقنية المستخدمة يتطلب 3 ثلاث نقاط على الأقل لإتمام المهمة؛ والدواعي المنطقية لهذا المعيار سيتم تفصيلها لاحقاً ضمن مناقشة النماذج والمعايير، وتُخصّص النقطة الرابعة لتقييم مقدار الخطأ الذي يمكن أن يحدث أثناء توقيع تلك النقاط، وتسجل قيمته أسفل العمود المعنون بالاصطلاح: **RMS Error** في جدول **GCP Tool**، ويشار لهذا الخطأ بالقبول من الناحية التقنية إذا لم يتعدى متوسط إجماله الواحد صحيح، كما هو موضح بالخانة داخل الشكل البيضاوي الأسفل.

19- بعد اختيار النموذج الرياضي التعددي Polynomial Model يظهر ديلوج Polynomial Model Properties، يُختار التبيوب Projection ومع النقر على المفتاح Change Add/Projection؛ لاختار التبيوب Standerd من الصندوق الحوارى الناتج عن الأمر السابق، وتحديد فة المسقط واسمه من الخانتين Categories& Projection تباعا، وتبعاً لرقم المنطقة أو النطاق Zone الذي تمثله المرئية محل التصحيح؛ لتحديد أحد المساقط المعروفة، ثم انقر Ok لاختيار Keyboard Only ثم الموافقة على المعلومات المرجعية للإسقاط الكارتوجرافي الجارى اعتماده، ووحدة القياس Map Unit القابلة للتغيير، إلى أن نصل إلى نافذة GCP Tool، لتحديد مواضع النقاط المرصودة بواسطة جهاز GPS، أو إحداثيات النقاط الثابتة على الخريطة المرجعية، وذلك بالنقر فوق أداة Create GCP في نافذة GCP Tool، وبالذهاب إلى النقطة التي تم تحديدها كنقطة تحكم أرضية في نافذة المرئية المراد تصحيحها وبالنقر فوق هذه النقطة تظهر علامة نقطة التحكم الأرضية، وتكرار الخطوات من الثامنة وحتى الحادي عشر في طريقة التصحيح الأولى يتم توقيع بقية النقاط.

20- تحتوي أداة نقاط التحكم الأرضية GCP Tool على عمودي الإحداثيات السينية والصادية لكل نقطة تحكم أرضية، وتسمى المسافات المحصورة بين إحداثيات المصدر والإحداثيات المحولة في اتجاه واحد بالميتقيات Residuals، أو بمعنى آخر الإحداثي السيني المتبقي هو: المسافة بين الإحداثي السيني المصدر والإحداثي السيني الذي أعيد تحويله. وكذلك بالنسبة للإحداثي الصادي.

21- الارتباط الأعلى: أحد معايير البارامترات الحديثة Threshold Parameters، والتي إذا تراوحت فيها قيمة الارتباط بين 0 - 1، تكون العلاقة دون الوسيط الحدّي، وعندها لا نحتاج إلى إنشاء نقطة تحكم أرضية مطابقة. أما إذا كان الارتباط مساوياً لهذا الوسيط الحدّي أو يعادل رُبُعَهُ، عندها نحتاج إلى إنشاء نقطة التحكم الأرضية المطابقة. أما إذا كانت قيمة الارتباط أقل من الوسيط الحدّي، كانت النقطة غير متوافقة Unmatched Point، أي دون الوسيط الحدّي، وعندئذٍ يمكن إهمالها؛ وتُحذف النقطة المعرفة من قبل المستخدم، وإذا أخفق في مضاهاتها بنجاح؛ يلقى المستخدم المساعدة الفورية من قبل الحاسب بالسماح أو عدمه عندما يدخل قيمة منطقية مقبولة acceptable أو غير منطقية أثناء عملية تحرير مضاهاة تلك النقاط.

22- السبب في هذه المشكلة يرجع إلى التفاوت في زاوية التقاط البيانات التي تختلف باختلاف درجة ميل الأشعة العمودية والمائلة ذات العلاقة بتباين زاوية ارتفاع الشمس التي تختلف بدورها باختلاف الفصول، وتأثير الكل على اختلاف بيانات نقطتي النظر/ السم (nadir/ zenith) من جهة، بالإضافة لانحراف أو اختلاف زاوية انكسار الأشعة الكهرومغناطيسية التي تختلف باختلاف الوسط الضوئي (تباين كثافة الضوء) وعلاقتها أيضاً بدرجة تعامد أو ميل الأشعة وزاوية سقوطها وأطولها الموجية من جهة أخرى.

23- تتيح آلية المعايرة Calibration mechanism - خاصة برنامج "الإيرداس" - لمصفوفة التحويل الرياضي أن تُحزَّن في سجل (يحمل نفس الاسم Calibration record) بملف المرئية الأصلية original image file، وحالياً يتم إنشاء سجل المعايرة بأحد وسيلتين، الأولى: بواسطة مستوردي AVHRR, SPOT importers. ولكل منهما صندوق مراقبة وتحقق، يَسْمَحُ للمستخدم بأن يشير إلى أن تلك المعايرة تمت باستخدام المعلومات المتوفرة في العنوان الرأسي من الأشرطة المغناطيسية tapes أو

أقراص الذاكرة المدبجة CDs. وكلا المستوردان يحولان ملف إحداثيات الخلايا إلى خطّ العرض/ خط طول (بالدرجات). **والثانية:** بواسطة أداة GCP Tool التي تستخدم في تجميع نقاط التحكم الأرضية، وهي المتاحة والمستخدمة ضمن أدوات التصحيح الهندسي بهذه الدراسة. ويمكن بالتصحيح الراديومتري لهذه الثوابت المحددة للمعايرة، أن تحوّل قيم الخلايا (وحدات بناء المرئية pixels) إلى ألبينو مئوي percentage Thermal albedo وإشعاع طيفي spectral radiance (Bands 1, 2)، أو طاقة حرارية Thermal energy map and projection (Bands 3,4 and 5) يقيسها المجس بالمللي وات/ المتر المربع؛ لتفادي تداخلها مع المؤثرات الجوية وغيرها. ويحتوي هذا السجل على معلومات الخريطة والمسقط map and projection information ومصفوفتي تحويل transformation matrices، تستخدم إحداها في التحويل من ملف الإحداثيات إلى إحداثيات الخريطة، والآخر عبارة عن تحويل عكسي- من إحداثيات الخريطة لإحداثيات الملف؛ ولذلك فإن نافذة العرض (Viewer) قد تحسب إحداثيات الخريطة الصحيحة للمرئية بدون الحاجة لإجراء مرور عبر عملية إعادة التعيين والتحديد process resampling حيث لا ملفات إضافية. ويؤدي هذا في النهاية إلى التوفير في الوقت وسعة مساحة القرص على الحاسب الآلي. ويشترط لإجراء المعايرة أن تكون المرئية المراد معايرتها متطابقة الإسناد الجغرافي تطابقاً تاماً Typically georeferenced، واستخدمت مصفوفة تحويلاتها في إعادة تعيين المرئية المصدر، لإنشاء وإخراج مرئية تكون خلاياها مُصطَفَّة مع نظام خريطة مُعطى سلفاً. ويُذكر بأنّ التجهيزات الجديدة للنطاقات العاكسة بمنظومة "الاندسات (1-5، 7) مستندة على العمر الافتراضي لمنحنى المعايرة الراديومترية Radiometric calibration curve للوسيلة المشتقة من معاير الآلة الداخلي، عبر المعايرة مع بيانات ETM+ وأنظمة المقاييس البديلة (النطاق الحراري thermal band).

24- ما أسهل أن يتعلم المرء التقنية- كما وردت في المثال التطبيقي المؤصَّح بألية العمل فقط- وهو أمرٌ لا بأس به، بالنسبة لفني أو مُعالج بيانات داخل منظومة العمل بتطبيقات الفضاء، لكن مجرد الوقوف عند تلك الحدود فقط، هو بالأمر السيئ بالنسبة لمحلل أو مُفسر داخل المنظومة، إذ يمكن تشبيه الفني في الحالة الأولى بالحرثي أو سائق المركبة غير المؤهل للتعامل مع مشكلة ميكانيكية طارئة بالمركبة التي يقودها، أما المُحلِّل في الحالة الثانية، فيمكن تشبيهه بالمهندس الميكانيكي، الذي يمكنه بسهولة تحديد في أي من دورة الطاقة أم دورة الوقود تكمن المشكلة؛ لدرايته بالخلفية العلمية بجانب قيادته السليمة والحكيمة للمركبة.

25- تحسب مصفوفة التحويل Transformation Matrix من نقاط التحكم الأرضية أثناء توقيعها. وتُشمل المصفوفة على المعاملات التي استعملت في تحويل الإحداثيات بواسطة المعادلات متعدّدة الحدود المعقدة Complex Polynomial Transformation. ويعتمد حجم المصفوفة على أمر التحويل وتحتوي على معاملات لتحويل إحداثيات ملف المصدر إلى خريطة مُصححة الإحداثيات بالاعتماد على التشويه الحاصل في المرئية الفضائية غير المصححة. لذا؛ تمثل الوحدات المتبقية residuals وأخطاء جذر متوسط المربع RMS errors، جميعها وحدات نظم الإحداثيات المدخلة. وغالباً ما يوجد احتمال ضعيف لاشتقاق معاملات بدون خطأ. وتعتبر أعداد نقاط التحكم الأرضية، ومواقعها بالنسبة لبعضها البعض، متغيرات هامة في ذلك التحويل المعقد. والمنهجية المستخدمة في حساب مصفوفة التحويل من نقاط التحكم

الأرضية، ارتكزت على طريقتين:

1. خطأ جذر متوسط المربع **RMS Error**: ويعني المسافة بين موقع نقطة تحكم أرضية مُعطاة (بيانات المصدر المدخلة) وموقع نفس نقطة التحكم الأرضية المُعاد تحويلها. أو بمعنى آخر، هو الاختلاف بين الإحداثي الناتج المطلوب لنقطة تحكم أرضية وإحداثي الناتج الفعلي لنفس النقطة (بيانات الإسناد الميخرجة)، عند تحويلها بالتصحيح الهندسي، ويظهر الخطأ كمسافة في النظام الإحداثي المصدر. فإذا كانت إحداثيات ملف البيانات هي الإحداثيات المصدرية، فإن خطأ مربع الجذر المتوسط هو مسافة في متوسطات اتساع (عرض) خلايا المرئية.

2. المربعات الصغرى التراجعية **The least squares regression**: تستخدم طريقة المربعات الصغرى التراجعية في حساب مصفوفة التحويل من نقاط التحكم الأرضية، وتقوم على أساس حساب مجموع مربعات انحرافات نقاط التحكم الأرضية عن خط الانحدار (خط الاتجاه العام)، ويُفضل الاعتماد فيها على معادلة الانحدار البسيط والتي تمثل فيها ص القيمة الاتجاهية لنقاط التحكم (كمتغيرات تابعة)، حيث $v = a + b \cdot s$.

26- باستثناء تصحيح الصور المتداخلة، فتلزمها تصحيحاً مُعقداً **complicated correction**، يستخدم صيغ الرتب الأعلى بالتمودج الرياضي متعدد الحدود **Polynomial**، فنقطة التحكم الأرضية **GCP** التي يتم توقيتها وقياسها بمنطقة التداخل بين صورتين (يُسمى ويُسمى) يلزمها عدد أربع صيغ يطلق عليها صيغ الملاحظة **observation equations**.

27- يُطلق على العملية الآلية التي تؤدي هذه الوظيفة (التوافق بين صور مختلفة المصدر) داخل الحاسب الآلي مصطلح: التسجيل **Registration**، دون الاعتماد على أي نظام إحداثي كارتوجرافي **map coordinate system**. فمثلاً: إذا لم تكن الصورة "س" مُصححة، وسُتسعمل في دراسة ما مع الصورة "ص"، يمكن أن تُجرى عملية تسجيل آلي للصورة "ص" بالصورة "س" لتتوافقا معاً، وفي هذا المثال يتضح أن عملية التصحيح لم تتضمن أي إسقاط مرجعي. وإذا لم تُصطفُ خلايا الشبكة بالصورة "س" مع خلايا الشبكة بالصورة "ص"؛ يجب إعادة تعيينها أو اختبارها بواسطة عملية تُدعى **Resampling**، سيأتي تفصيلها في موضعها لاحقاً. ويتضمن تسجيل مرئية مرئية أخرى **image-to-image registration** عملية الإسناد الجغرافي (**georeferencing**) فقط؛ إذا كانت المرئية المصدرية مسندة سلفاً **georeferenced**. والإسناد الجغرافي في حد ذاته يقبل التغير في معلومات إحداثيات الخريطة فقط في ملف المرئية (image file, using the Image Information utility)، مع ثبات شبكة المرئية فلا تتغير.

28- **ERDAS Field Guide**: "Rectification On - Line Manual", Fifth Edition, ERDAS, inc. Georgia, Atlanta, 1999, pp. 344-358.

29- **Raisz, Erwen**: "Principles of Cartography," 2d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1962, pp. 187 - 192.

30- يمكن تشبيه ناتج العملية بحالة الانتهاء من "لعبة اللغز" المعروفة "بالبازل puzzle" التي تقتضي وضع كل

قطعة من مكوناتها في مكانها الصحيح، ولا ننسى أن أداء مثل هذه المهمة قد تمّ بمراعاة مبدأ التوافق بين أجزاء الأشكال الهندسية البسيطة المتطابقة، من قطع مستقيمة متساوية الطول وزوايا متساوية.. الخ، وبما أن المرئية الفضائية تتألف خلاياها من مربعات تمتلك أجزاءها نفس الشكل ونفس المقاييس والزوايا؛ فمن السهل التعبير عنها بوصف النقاط الموجودة على أي من عناصرها المكونة لها (كالمستقيم مثلاً) بأكثر من صيغة رياضية بسيطة: من قبيل أن المربع يمكن تقسيمه إلى مثلثين متساويين، ويمكن البرهنة على صحة أي من زواياه بالاستناد على أن مجموع زوايا المثلث تساوي 180° ، وبما أن $\angle > 45^\circ = \angle$ فإن $\angle > 45^\circ$ أيضاً لأنهما متطابقتان بالمثلثين س ع ل، ص ه ج داخل مربع من مربعات شبكة الصورة أو المرئية؛ خاصة في ظل عدم وجود صور متداخلة overlapping areas of two images and more بمنطقة التصوير.

31- ربما لأن الجهاز المستخدم ينتمي للنوعية المصممة لاستقبال الشفرة المعروفة بالاختصار A/C، وتعني شفرة الاستحواذ(الجمع) الخشن(غير الدقيق) Coarse Acquisition Code، على التردد 10.23×154 ميغا هيرتز (التردد الأساسي للموجات الكهرومغناطيسية الصادرة عن كل أقمار GPS) بطول موجي قدره 19 سم، خدمةً للتعين أو التحديد الموضعي القياسي Standard Positioning Service، وهي مخصصة للأغراض المدنية التي لا تحتاج الدقة العالية المطلوبة مثلاً في الأغراض العسكرية.

32- المقصود بعملية إعادة التعين **Resampling**: إعادة وتكرار أخذ العينات، وهي عكس عملية الضغط والتكثيف Compress، وتسمح بتكبير الصورة، ولكن لا تؤدي إلى تحسّينها من الناحية النوعية؛ ولذا تنخفض دقة وضوحها Law Resolution، ونتائج هذه العملية سلبية(سيئة) عند تصوير المناطق التي تسود بها ظاهرات أنماطها شريطية أو نقطية، كمزارع الزهور العطرية، والنبات على سبيل المثال، وتعتمد آليتها على القيام بتكرار صف من خلايا الصورة أو المرئية، وأخذ أقرب الألوان إليه لزيادة حجم ملف الصورة. أو يمكن القول بأنها عملية استنباط قيم بيانات خلايا شبكة الصورة الجديدة من قيم خلايا شبكة الصورة المصدر، ويتطلب ملف البيانات المدخلة ومصنوفة التحويلات اللازمة لإنشاء شبكة الخلايا الجديدة. ويمكن إجراء تلك العملية بشكل منفرد من خارج عملية التصحيح الهندسي، بتثبيت الخيار Set Resampling Method... من قائمة Raster نافذة Viewer، لكنها محدودة الجدوى.

33- نموذج الشريحة المطاطية: تأسس على فكرة هندسية مفادها إمكانية تشكيل أشكالاً كروية مجسمة واضحة الحدود، من خلال ثني وتحويل منحنى يتقاطع مع نفسه عدة مرات، ودراسة مدى إمكانية تعديلها طبولوجياً، بعكس الهندسة الإقليدية التي تهتم بعناصر الاستقامة أو التوازي أو المسافة التي تتأثر بالتعديل والتحويل. ويُعرف الطبولوجي بعلم الهندسة اللاكمية المختصة بدراسة خواص الأشكال الهندسية، ويميز بين الأشكال الكروية والمكعبة، وهي ذات الأشكال(موضوع الطبولوجي) التي لا تتغير خواصها بالتغيرات الطارئة على الشكل بالتعديل أو التحويل بالثني أو المط أو غيرها، حيث يمكن تعديل وتحويل وإنشاء هذه الأشكال من تلك بالدمج أو التشكيل، مع التمييز بين الأشكال الكروية الحلقية؛ لعدم إمكانية تحويل أي منهما للآخر دون تشويه أو تمزيق.

34- المصطلح **Geocoded**: يعني البيانات المُستعدّلة، ويشير إلى المرئيات التي تم تصحيحها

وإسنادها إلى إحداثيات خريطة وحجم خلية معينة ثم حل شفرتها **Decoded** في النهاية بعد أن كانت مُشفرة، وعادة ما تطبق عليها تصحيحات راديومترية radiometric corrections. وهي عملية يقوم فيها الحاسب بربط إحداثيات النماذج الفضائية بسطح الأرض (إسنادها لتتطابق مع الإحداثيات الجغرافية على الأرض)، وتحسب مواصفات الإسقاط والإسناد... الخ، ويمكن لبرنامج ERDAS التعامل مع ملفات الصور ذات الإسناد المرجعي Datum، وبالتالي فإحداثياتها محددة. وفي البرامج المختصة تمدنا عملية التكويد هذه بدوائر عرض وخطوط طول أي مكان، ودائما ما تتقاطع مع مراكز الخلايا، بخلاف عملية الإسناد الجغرافي georeferencing (والتي يخلط بينهما البعض خطأ) حيث ينحصر وجه الشبه بين المصطلحين (Georeferencing & Geocoding) في إمكانية قيامهما بعملية ربط النقاط الشبكية لأي مرئية فضائية (Raster space) بأحد نماذج الإحداثيات، بحيث توضح كيف تتموضع خطوط شبكة نظم الإحداثيات بالنسبة لمراكز خلايا المرئية. والاحتمال الأكبر أن يكون هذا النوع من البيانات - المستعدلة - تجاريا. وإن كان لا يُفضل ذلك، إذ يجب أن تُصحح فقط، إلا إذا تم الاتفاق على إسنادها لنظام إحداثي مختلف أو تكون منسوبة أو مسجلة registered إلى بيانات أخرى مُصححة rectified.