

تأثير دقة تمييز الصور الفضائية المقطعة باستخدام البرنامج المجاني SAS.Planet والنماذج الرياضية التجريبية على دقة الخرائط الصورية

إعداد

د. خديجة يحيى فقيه

أستاذ الخرائط المساعد قسم الجغرافيا _ كلية الآداب _ جامعة الأميرة نورة بنت عبدالرحمن

أ.د. عمر محمد الخليل

أستاذ المساحة التصويرية كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين

المستخلص:

في السنوات الأخيرة، صارت المصادر المجانية للصور الفضائية ذات دقة التمييز المكانية العالية عديدةً وصار من الممكن تنزيلها بالاستعانة ببعض البرامج المجانية مفتوحة المصدر مثل البرنامج SAS.Planet بدقات تمييز يستطيع المستخدم التحكم بها. يعتبر هذا النوع من الصور مصدراً أساسياً للمعلومات اللازمة من أجل صناعة الخرائط الصورية التي تشكل بدورها خارطة أساس لاقتطاع الخرائط الشعاعية. تعتمد دقة البيانات المكانية المقطعة من هذه الصور على دقة تمييزها وعلى النماذج الرياضية التجريبية المطبقة في التصحيح الهندسي. يهدف هذا البحث بشكل أساسي إلى دراسة تأثير دقة التمييز المكانية للصور الفضائية ونوع النموذج التجريبي المطبق على دقة التصحيح الهندسي لهذه الصور وعلى دقة الخارطة الصورية الناتجة.

تم في هذا البحث اختبار بعض الطرائق التجريبية في إنجاز التصحيح الهندسي لصور فضائية ذات دقات تمييز مختلفة تغطي جزء من مدينة الرياض مع تثبيت عدد نقاط الضبط، وعددها 10 نقاط، والاختبار وعددها 24 نقطة. وجدنا أن النموذج التجريبي كثير الحدود من الدرجة الأولى ونموذج التحويل الإسقاطي لتصحيح الصور الفضائية لا يتأثران بتغير دقة تمييز هذه الصور في حين يتأثر كثير الحدود من الدرجة الثانية بشكل كبير بتغير هذه الدقة فقد وجدنا أن الدقة تراوحت بين 1.748 m و 0.543 m عند تغير دقة تمييز الصورة الفضائية من 2.4 m إلى 0.6 m على الترتيب. كما لاحظنا أنه عندما تتضاعف قيمة دقة التمييز فإن دقة التصحيح بتطبيق نموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية تتضاعف بدورها. من ناحية أخرى، وجدنا أن النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية هو الأفضل لإنتاج خرائط صورية تفصيلية من بين النماذج المدروسة فقد وجدنا أن قيم مقاييس الخرائط الشعاعية تراوحت من 1:7500 إلى 1:2500.

الكلمات الافتتاحية: صور فضائية مجانية، التصحيح الهندسي، نماذج تجريبية، خرائط صورية، الخطأ المتوسط التربيع.

1. مقدمة

هناك عدد من المصادر المجانية لصور الأقمار الصناعية التي يمكن استخدامها في علم صناعة الخرائط Cartography مثل مرصد الأرض التابع لوكالة الفضاء الأمريكية NASA Earth Observatory (<https://earthobservatory.nasa.gov>) والذي يؤمن مجموعة واسعة من الصور والبيانات الجغرافية التي يمكن تنزيلها مجاناً والتي تغطي هذه الصور مجموعة من الموضوعات، بما في ذلك تغطية الأرض Land cover والظروف الجوية والكوارث الطبيعية. كما نشير هنا إلى مكتشف الأرض Earth Explorer الخاص بمؤسسة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS (Finn et al, 2012 وهو أداة على الويب تسمح للمستخدمين بتصفح وتنزيل الصور الفضائية وغيرها من البيانات الجغرافية. تشمل هذه الأداة مجموعة متنوعة من مجموعات البيانات من مصادر مختلفة، بما في ذلك Landsat و Sentinel و ODIS. ولا ننسى المتصفح المجاني Google Earth والذي يوفر مجموعة من الصور الفضائية التي يمكن عرضها وتنزيلها مجاناً. تغطي هذه الصور مجموعة من المواقع ويتم تحديثها بانتظام. إن النقطة المهمة التي نود الإشارة إليها هنا هي الصور ذات دقة التمييز العالية High Resolution التي يمكن الحصول عليها من هذه المصادر والتي يمكن أن تصلح لإنتاج خرائط صورية ذات مقاييس كبيرة Large scale photomaps. في الحقيقة تمكننا بعض البرمجيات المجانية من الوصول إلى قواعد بيانات هذه المصادر والحصول منها على صور فضائية بأفضل دقة تمييز ممكنة وبشكل تفاعلي. نذكر من هذه البرمجيات البرنامج GIS SAS.Planet (Geography, 2018) والذي يتيح للمستخدمين تنزيل الصور والخرائط من مصادر مختلفة مثل Bing و Maps و Yandex Maps و Google Earth وغيرها.

إن عملية التصحيح الهندسي هي عملية لتحويل الصور الفضائية الخام Raw image إلى تمثيلات دقيقة ومصححة مكانياً لسمات سطح الأرض على شكل خارطة صورية Photomap. تتضمن العملية ضبط الصورة لإزالة التشوهات الهندسية التي يسببها موقع واتجاه القمر الصناعي، فضلاً عن التشوهات الناجمة عن انحناء الأرض وتغيرات التضاريس (Baboo & Renuka Devi, 2011). إضافة إلى دقة تمييز الصورة الفضائية Resolution، تتأثر دقة عملية التصحيح الهندسي ودقة الخارطة الصورية بعدد من العوامل، بما في ذلك اختيار وتوزيع نقاط الضبط الأرضية (Ground control points (GCPs ونوع وكمية التشوهات الموجودة في الصورة، ودقة النموذج الرياضي المستخدم لحساب معاملات التحويل (Al-Fahdawi & Pradhan, 2019). في الواقع، هناك عدة أنواع من النماذج الهندسية التي يمكن استخدامها لتصحيح الصور ومنها ما هو فائق الدقة Rigorous models وما هو تجريبي Empirical. تعتمد النماذج التجريبية، مثل النموذج كثير الحدود Polynomial والنموذج الإسقاطي Projective، فقط على نقاط الضبط في حساب معاملات التصحيح.

يمكن صياغة مشكلة البحث بشكل سؤال يحاول الباحثان الإجابة عليه من خلال البحث بالشكل الآتي:
ما هو تأثير دقة التمييز المكانية للصور الفضائية ونوع النموذج التجريبي المطبق على دقة التصحيح الهندسي لهذه الصور وعلى دقة الخارطة الصورية الناتجة؟
سنستفيد في البحث من إمكانيات البرامج المجانية التي تتيح الوصول إلى قواعد بيانات الصور الفضائية المجانية، مثل البرنامج Sas.Planet، في الحصول على صور فضائية ذات دقات تمييز مختلفة لمنطقة الدراسة، كما سيتم خلال الاختبارات تثبيت عدد نقاط الضبط ونقاط الاختبار وتغيير عاملين فقط هما النموذج التجريبي للتصحيح الهندسي ودقة التمييز المكانية لمعرفة تأثير هذين العاملين على دقة الخارطة الصورية الناتجة لمنطقة الدراسة.

2. الدراسات السابقة

تعددت وتتنوعت الدراسات على المستوى العالمي والإقليمي والتي هدفت إلى دراسة تأثير دقة تمييز الصور الفضائية والنموذج الرياضي كثير الحدود المستخدم في التصحيح الهندسي لهذه الصور على دقة هذا التصحيح وبالتالي على دقة الخارطة الصورية الناتجة وهي كما يأتي:
دراسة (Xie & Chen, 2013) والتي وجدت أن دقة تمييز الصورة الفضائية تؤثر بشكل مباشر على دقة التصحيح الهندسي للصورة، حيث تم الحصول على دقة أفضل في التصحيح للصور ذات الدقة العالية.
دراسة (Yastikli, 2014 Topan &) حيث تمت مقارنة دقة نموذج كثير الحدود ونموذج التابع النسبي Rational Function في تصحيح الصور الفضائية. تم استخدام صور فضائية ذات دقة تمييز عالية لتقييم أداء النموذجين في التحويل الهندسي للصورة. أظهرت الدراسة أن نموذج التابع النسبي يمكن أن يحسن دقة تصحيح الصور الفضائية بشكل أفضل من نموذج كثير الحدود، خاصة عندما تكون الصور ذات دقة عالية.
دراسة (Singh & Gupta, 2014) ودراسة (Zhang & Zhang, 2017) واللذان تم فيهما مقارنة مختلف أنواع نماذج كثير الحدود في تصحيح الصور الفضائية عالية الدقة. أظهرت الدراسات أنه يمكن استخدام نموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة أو الرابعة لتحسين دقة تصحيح الصور الفضائية، وتحديداً عندما تكون الصور ذات دقة عالية. وكانت نتائج الدراسة تشير إلى أن استخدام نموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة أو الرابعة يمكن أن يزيد من دقة تصحيح الصور بنسبة تتراوح بين 0.1 - 0.5 بيكسل، بينما يمكن أن يزيد استخدام نموذج كثير الحدود من الدرجة الخامسة من دقة التصحيح بنسبة تتراوح بين 0.05 - 0.3 بيكسل.

دراسة (Kim et al. 2018) والتي هدفت إلى مقارنة أداء نماذج التصحيح الهندسي المختلفة للصور الفضائية، وذلك باستخدام صور فضائية ذات دقة تمييز عالية. تم استخدام نموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة والرابعة، ونموذج التابع النسبي. تم تطبيق هذه النماذج على مجموعة من الصور الفضائية مختلفة الدقة، وتم تقييم دقة التصحيح الهندسي باستخدام مقياس (Root Mean Square Error (RMSE). توصلت الدراسة إلى أن نموذج التابع النسبي يمكن أن يحسن دقة تصحيح الصور الفضائية بشكل أفضل من نموذج كثير الحدود، خاصةً في الصور ذات الدقة العالية.

دراسة (الخليل وآخرون، 2017) حيث تم اختبار بعض الطرائق التجريبية في إنجاز التصحيح الهندسي لمرئية فضائية ذات دقة تمييز عالية من النوع QUIKBIRD. توصل الباحثون إلى أن كثيرات الحدود من الدرجتين الثانية والثالثة هما الأنسب لمسألة التصحيح الهندسي للصور الفضائية التي تغطي مشاهد محدودة الاتساع. في حين أن التحويل الإسقاطي يكون فعالاً في حالة المشاهد المستوية والشد المرن Rubber sheet يكون أكثر الطرق فعاليةً في حال توفر عدد كبير من نقاط الضبط التي تغطي كامل المشهد المصور.

دراسة (Bayram & Yilmaz, 2019) ودراسة (Dey & Mandal, 2015) واللذان توصلتا إلى أن نموذج التابع النسبي يمكن أن يحسن دقة تصحيح الصور الفضائية بشكل أفضل من نموذج كثير الحدود، وخاصةً في الصور ذات الدقة العالية. وقد تم الحصول على زيادة في دقة تصحيح الصور بنسبة 20% على الأقل باستخدام نموذج التابع النسبي بدلاً من نموذج كثير الحدود.

دراسة (Tawfik et al., 2017) وقد تم في هذه الدراسة القيام بالتصحيح الهندسي لعدة صور بدقات تمييز مختلفة واستخدمت صورة فضائية ذات دقة تمييز عالية كصورة مرجعية. بينت النتائج أن التصحيح الهندسي يعطي نتائج دقيقة عند استخدام الصور الخام بدقة تمييز تساوي أو تفوق دقة تمييز الصورة المرجعية.

أما بالنسبة للدراسات المرجعية التي استفادت من الصور الفضائية المجانية باستخدام البرنامج SAS.Planet فلدينا بعضها فيما يأتي:

دراسة (Tkacheva et al, 2019) والتي تم فيها عرض نتائج التحليل المقارن المشترك للخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية على أراضي أحد المراكز الإقليمية لجمهورية مورديفيا - إنسار والمناطق المحيطة بها مباشرة. وهنا تم الحصول على أجزاء من الخرائط الطبوغرافية والصور الفضائية لمنطقة الدراسة باستخدام إمكانيات البرنامج الملاحى SAS.Planet. بينت النتائج إلى أن استخدام برنامج

SAS.Planet الصور الفضائية يمكن أن يكون فعالاً في تقييم دقة الخرائط الطبوغرافية بالتشارك مع الصور الفضائية.

دراسة (Wang et al. 2019) هدفت هذه الدراسة إلى تحديد توزيع مزارع الشاي في منطقة معينة باستخدام صور Landsat وبرنامج SAS.Planet لتحليل الصور. أوضحت الدراسة فعالية البرنامج SAS.Planet في تحليل الصور الفضائية وتحديد المواقع بدقة.

نشير أخيراً إلى وجود بعض الدراسات المرجعية التي تناولت التصحيح الهندسي كمرحلة من مراحل معالجة الصور الفضائية الرقمية Digital image processing لإنتاج خرائط موضوعية (تصنيف Classification الصور الجوية) أو طبوغرافية ذات مقاييس صغيرة منها، دون تركيز كبير على تأثير نوع النموذج الرياضي المطبق في التصحيح الهندسي ودقة تمييز الصور الفضائية المستخدمة على نوعية هذه الخرائط. من هذه الدراسات نجد دراسة (جمال وكاظم، 2019) التي ركزت على تصنيف استعمالات الأراضي الزراعية وتم فيها إنجاز عملية التصحيح بتطبيق إسقاط الخرائط Map projection المتوافر في برمجيات GIS. ضمن هذا الصنف نجد أيضاً دراسة (عيد والويش، 2017) التي هدفت إلى تحديث الخرائط الطبوغرافية من الصور الفضائية وطبقت النموذج الرياضي كثير الحدود من الدرجة الأولى في عملية التصحيح الهندسي دون الإشارة إلى النوعية الهندسية للتصحيح. من ناحية أخرى، هنالك بعض الدراسات التي سعت إلى دراسة أفضل نموذج رياضي يمكن استخدامه لإجراء التصحيح الهندسي للصور الفضائية المستخدمة وكذلك تأثير تشكيل نقاط الضبط الأرضية (GCPs) على الدقة التي يمكن تحقيقها من خلال الخارطة الصورية. (Khalaf et al., 2018)

كخاتمة للدراسة المرجعية نستطيع أن نقول:

- 1- عدد الدراسات العالمية والعربية التي تناولت تأثير تغير دقة التمييز للصورة على دقة التصحيح الهندسي قليل بشكل عام وهذا ما يدفعنا إلى دراسة تأثير هذا العامل بشكل أوسع.
- 2- أشارت معظم الدراسات إلى أن نموذج التابع النسبي يعطي دقة أفضل في التصحيح مقارنةً بالنماذج كثير الحدود، ونشير هنا إلى أن الاستخدام الناجح بهذا النموذج يعتمد على النماذج الرياضية Mathematical models الدقيقة لمستشعرات الأقمار الصناعية وأنه في أغلب الحالات، لا يمكن القيام بالتعريف الدقيق لهذه النماذج وذلك بسبب عدم توفر معلومات حول مدار التابع الصناعي، مما يدفعنا إلى تطبيق نماذج تجريبية (كثيرة الحدود أو الإسقاطية) قائمة على استخدام نقاط الضبط في التصحيح الهندسي للصور الفضائية لتحضيرها لاقتطاع البيانات المكانية التي تستخدم في صناعة وتحديث الخرائط.

3- لم تستد الأبحاث من الإمكانيات التي توفرها المصادر المجانية للصور الفضائية والتي يمكن الوصول إليها باستخدام البرنامج SAS.Planet الذي يقطع هذه المرئيات عند مستويات دقة تميز مناسبة لأعمال صناعة الخرائط عند مقاييس كبيرة وهذا ما سنقوم به في بحثنا. في الواقع، تم استخدام هذا البرنامج في الأبحاث السابقة كأداة لتحليل الصور.

3. مفهوم التصحيح الهندسي للصور الفضائية

التصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية والصور الجوية الرقمية هو العملية التي تسمح بإزالة التشوهات الهندسية من هذه المرئيات وتمكننا من الحصول على تمثيلات دقيقة ومصححة مكانياً لسمات سطح الأرض على شكل خارطة صورية. تتم هذه العملية عبر ربط نظام إحداثيات المرئية Image coordinate system أو الصورة مع نظام إحداثيات العنصر Object coordinate system المصور وذلك باستخدام بيانات التوجيه الداخلي (معاملات المعايرة) والخارجي (موقع وتوجيه) للمستشعر أو لآلة التصوير الجوية أو باستخدام مجموعة من نقاط الضبط Control points وكذلك أخذ الشروط الجوية المتوفرة في المشهد بعين الاعتبار.

تمر عملية التصحيح الهندسي بالخطوات الأربع الآتية (Campbell & Wynne, 2011):

1. اختيار طريقة التصحيح، وهي خطوة تعتمد على نوع التشوهات الموجودة في المرئية أو الصورة وعلى البيانات المرجعية Reference data المتوفرة، هنا لدينا الحالتان التاليتان:

a. بيانات مرجعية تضم معاملات معايرة المستشعر ومعاملات موقعه وتوجيهه وهو ما يسمح بتصحيح التشوهات الهندسية بشكل نظامي Systematic correction في المرئية أو الصورة بأسلوب يسمى بالأسلوب غير المباشر Parametric approach.

b. بيانات مرجعية تضم مجموعة من نقاط الضبط وهي تسمح بربط نظام إحداثيات المرئية مع نظام إحداثيات المشهد المصور عن طريق معادلات لها شكل كثيرات حدود Polynomials. هذا الأسلوب يسمح بتصحيح التشوهات الهندسية بشكل غير نظامي Non-systematic correction ويعرف باسم الأسلوب المباشر أو التجريبي.

2. تحديد المعاملات المجهولة وهي التي تصف المعادلات الرياضية التي تربط نظام إحداثيات المرئية مع نظام إحداثيات العنصر وذلك باستخدام البيانات المرجعية.

3. اختبار الدقة الهندسية للتصحيح وذلك عبر دراسة إحصائية للنتائج ومقارنات مع حدود تساهل معينة.

4. إعادة الاعتيان Resampling والاستكمال Interpolation وهنا يتم توليد المرئية أو الصورة المصححة. الهدف من هذه العمليات هو تحديد المقدار الرقمي الواجب وضعه في الموقع الجديد

لبكسل المرئية الناتجة عن التصحيح. تحسب عملية إعادة الاعتيان القيمة الجديدة للبكسل انطلاقاً من قيمته الأصلية في المرئية غير المصححة. تستخدم طريقة الجار الأقرب، القيمة الرقمية لبكسل المرئية الأصلية الأقرب إلى الموقع الجديد للبكسل في المرئية المصححة. وهذه الطريقة هي الأبسط وهي لاتخرب القيمة الأصلية للبكسل ولكن يمكن أن تولد تضاعف البكسلات أو فقداً لعدة قيم وهي تملك إمكانية توليد مرئية مشوشة (Lillesand et al, 2014).

يأخذ الاستكمال الخطي الثنائي، المتوسطة الموزونة باستخدام المسافة للبكسلات الأربع الأقرب في المرئية الأصلية من البكسل الجديد. وطريقة الوسطي هذه، تُغير القيمة الأصلية للبكسلات وتُولد قيمة جديدة تماماً في المرئية الجديدة. وقد يكون هذا مؤدياً بالنسبة لعمليات أخرى كالتصنيف المستند إلى الجواب الطيفي. وفي هذه الحالة من المفضل تطبيق إعادة الاعتيان بعد عملية التصنيف (Schowengerdt, 2012).

تذهب عملية الالتفاف التكعيبي، أبعد وتحسب المتوسطة الموزونة باستخدام بلوك من البكسلات حاو على 16 بكسلًا من المرئية الأصلية وتحيط الموقع الجديد للبكسل الناتج. وكما في حالة الاستكمال الخطي الثنائي، تُولّد هذه الطريقة قيمة جديدة للبكسل، ولكن تولد هاتان الطريقتان مرئية ذات مظهر أكثر هدوءاً وذلك بعكس طريقة الجار الأقرب (Sabins, 2015)).

4. منهجية البحث

اعتمد البحث أولاً على الطرق الاستشعارية Sensing ways حيث اعتمدت عملية المعالجة للحصول على الخرائط الصورية على بيانات استشعارية تم تحضيرها ومعالجتها وتحليلها باستخدام برمجيات مختصة مثل SAS.Planet و ArcGIS. كما تم اتباع منهج البحث الكارتوغرافي Cartographic method (Dent & Torguson, 2014) من خلال إنتاج خرائط صورية بمقاييس مختلفة تتبع لدقة تمييز الصور الفضائية وللنموذج التجريبي المطبق في عملية التصحيح الهندسي. من ناحية أخرى، تم تطبيق المنهج المقارن Comparative method في هذا البحث من خلال مقارنة مقاييس (دقة) الخرائط الصورية الناتجة عن معالجة صور فضائية بدقات تمييز مختلفة وبتطبيق نماذج تجريبية مختلفة للتصحيح الهندسي وإظهار الاختلافات بينها. تم أيضاً اتباع المنهج التجريبي Experimental method والذي يُعد أقرب مناهج البحث العلمي لحل المشكلات بالطريقة العلمية (دويدري, 2002). تم استخدام المنهج التجريبي من خلال تطبيق التقنيات المختلفة المتاحة ضمن بيئة البرمجيات وإظهار مدى كفاءتها عند العمل على مرئيات

فضائية ذات دقات تمييز مختلفة وعند تطبيق نماذج تجريبية مختلفة للتصحيح الهندسي، وملاءمتها لوضع منهجية مناسبة لإنتاج خرائط صورية لمنطقة الدراسة.

5. طرائق البحث مواده

شملت مواد البحث ما يأتي:

- 1- بيانات متمثلة بالصور الفضائية ذات دقات تمييز مختلفة تغطي منطقة الدراسة.
- 2- نقاط أرضية مقاسة باستخدام تقنية (GPS (Global Positioning System تم الحصول عليها من وزارة النقل والخدمات اللوجستية <https://mot.gov.sa/> (السعودية).
- 3- النماذج التجريبية للتصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية. يتوفر العديد من الطرائق التجريبية المستخدمة في التصحيح الهندسي للصور الفضائية نذكر منها:
 - نموذج التابع النسبي Rational function: يستخدم هذا النموذج النسبة بين تحويلات كثيرة الحدود Polynomial transformations كما أنه يأخذ المناسيب الأرضية بعين الاعتبار. وعند عدم توفر أية معلومات حول المستشعر المستخدم في النقاط المرئية أو أية معلومات مساعدة أخرى، فإننا نستخدم هذا النوع من النماذج. ويتيح هذا النموذج ربط الإحداثيات الصورية ثنائية البعد (X,Y) مع الإحداثيات الأرضية ثلاثية الأبعاد (X,Y,Z) لمجموعة من نقاط الضبط كما هو موضح في المعادلة (1):

$$(1) \quad x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m a_{ijk} \cdot X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n b_{ijk} \cdot X^i Y^j Z^k}$$
$$= \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)}$$
$$= \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m c_{ijk} \cdot X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n d_{ijk} \cdot X^i Y^j Z^k}$$

حيث P_1, P_2, P_3 و P_4 هي كثيرات حدود عادةً ما تكون درجتها العظمى مساوية لـ 3 مما يعني الحاجة إلى تحديد 20 معاملاً (المعاملات (a, b, c, d). إن ما يجعل هذه الطريقة تجريبيةً هي عدم قدرتها على التخلص من كامل التشوهات بين نقاط الضبط، كما يتطلب تطبيقها عدداً كبيراً من هذه النقاط (الخليل وآخرون، 2016).

- نموذج كثيرات الحدود Polynomials: تستخدم نماذج كثيرات الحدود من أجل ربط إحداثيات نقاط المرئية مع مقابلاتها في نظام إحداثيات مرجعي Reference coordinate system. ولهذه النماذج شكل معادلات من درجات متعددة. نوضح في المعادلة (2) الشكل العام لهذه المعادلات:

$$(2) \quad x = \sum_{i=0}^t \sum_{j=0}^i a_k \cdot X^{i-j} \cdot Y^j y = \sum_{i=0}^t \sum_{j=0}^i b_k \cdot X^{i-j} \cdot Y^j$$

حيث x, y هي الإحداثيات المقاسة في المرئية أما X, Y فهي الإحداثيات المرجعية و a_k, b_k هي وسطاء كثير الحدود. أما عدد هذه الوسطاء (M) فيتبع لدرجة كثير الحدود ويعطى في المعادلة (3):

$$(3) \quad M = (t + 1) \cdot (t + 2)$$

وأخيراً، تعطى العلاقة بين درجة كثير الحدود (t) والعدد الأصغري لنقاط الضبط الواجب توفرها (N) في الصورة من خلال المعادلة (4):

$$(4) \quad N = \frac{(t + 1) \cdot (t + 2)}{2}$$

إن ما يجعل هذه الطريقة تجريبيةً هي عدم قدرتها على التخلص من كامل التشوهات بين نقاط الضبط (كما في حالة التتابع التنسيبية) كما أنها لا تأخذ طبوغرافية الأرض بعين الاعتبار، مما يجعلها مناسبةً أكثر للمناطق المنبسطة ومحدودة الاتساع (الخليل وآخرون، 2016).

- النموذج الإسقاطي Projective Perspective: يعبر هذا النموذج عن العلاقة بين حيزين مستنداً إلى فكرة الإسقاط المنظوري Perspective projection. والعناصر الأساسية لهذا الإسقاط هي مركز الإسقاط، حزمة من الأشعة تمر من هذا المركز ومستويان هما مستوى العنصر ومستوى المرئية واللذان يقطعان الحزمة ولا يحويان المركز. أما العلاقة بين إحداثيات النقاط في المرئية (x,y) ومقابلاتها في العنصر (X,Y) فهي تتبع لمعاملات التحويل L_1, L_2, \dots, L_8 وموضحة بالعلاقة (5):

$$(5) \quad \begin{aligned} x &= \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3}{L_7 X + L_8 Y + 1} \\ x &= \frac{L_4 X + L_5 Y + L_6}{L_7 X + L_8 Y + 1} \end{aligned}$$

كما في حالة النموذج السابق، فإن النموذج الإسقاطي لا يأخذ تغيرات المناسيب في المشهد المصور بعين الاعتبار ولذلك فهو نموذج تجريبي (الخليل وآخرون، 2016).

- الشد المرن: Rubber Sheeting يُعتبر التحليل باستخدام العناصر المنتهية finite elements أداة قوية لحل المسائل الحسابية المعقدة، والتي يمكن توصيفها بواسطة أجزاء صغيرة و بسيطة، وهذه الطريقة هي مستخدمة بشكل واسع كتقنية استقراء محلي في التطبيقات الجغرافية. وعند تطبيق هذه الطريقة لتصحيح المرئيات الفضائية، فإنه يتم استخدام نقاط الضبط المعروفة لبناء العديد من المثلثات بحيث تكون رؤوس كل مثلث (عنصر منته) هي ثلاث نقاط ضبط. يتم بعد ذلك تطبيق

التحويل كثير الحدود لإنشاء علاقات رياضية بين نظام إحداثيات المرئية ونظام إحداثيات العنصر لكل من هذه المثلاث. وفي هذه الحالة، نسمي التحليل بالعناصر المنتهية بالشد المرن، كما يمكن أن يسمى أيضاً بالتصحيح على أساس مثلاثتي وذلك لأن التحويل وإعادة التشكيل يتمان بتطبيق قاعدة تحويل مثلث تلو الآخر. يجب أن تستخدم طريقة الشد المرن عندما لا تستطيع طرائق التصحيح الأخرى (مثل التحويل كثير الحدود) إعطاء نتائج مقبولة. ولكن تطبيق هذه الطريقة يحتاج إلى عدد كبير من نقاط الضبط والتي تغطي كامل المرئية. وهنا تجب الإشارة إلى أنه يتم بناء سطح مرن من شبكة النقاط وأن النقاط الواقعة خارج هذه الشبكة ستكون عرضةً لأخطاء كبيرة ولذلك نعتبر هذه الطريقة تجريبيةً أيضاً (الخليل وآخرون، 2016).

اقتصر بحثنا على دراسة نموذج كثيرات الحدود وكذلك النموذج الإسقاطي.

أما أدوات البحث فهي:

1- البرنامج SAS.Planet المستخدم في اقتطاع الصور الفضائية لمنطقة الدراسة وهو برنامج مجاني لتحميل الخرائط والصور الجوية والفضائية من مصادر مختلفة على الإنترنت وعرضها في واجهة المستخدم الخاصة به. يتيح البرنامج للمستخدمين البحث عن المواقع والعناوين وتحميل الخرائط والصور الجوية والفضائية لتحليلها واستخدامها في المشاريع الشخصية أو التجارية. كما يحتوي البرنامج على ميزات إضافية مثل تحويل الصور إلى تنسيقات مختلفة وتسجيل الخطوط والنقاط والمسارات على الخرائط، ويدعم البرنامج العديد من اللغات المختلفة. يستخدم البرنامج على نطاق واسع في العديد من المجالات مثل الدراسات الجغرافية والبحث العلمي وتخطيط المدن والسياحة والملاحة والتنقيب عن المعادن والنفط والغاز. (SAS.Planet Software, 2023)

2- البرنامج ArcGIS 10.8 المستخدم في التصحيح الهندسي وإخراج الخرائط الصورية وهو برنامج لنظام المعلومات الجغرافية (GIS) المطور من قبل شركة Esri ويوفر مجموعة من الأدوات والتقنيات المتخصصة لجمع وتحليل وتحويل وعرض البيانات الجغرافية في بيئة الحاسوب. يتضمن البرنامج ArcGIS 10.8 العديد من الميزات والأدوات المتخصصة مثل إنشاء الخرائط والطبقات والمشاريع والتحليل المكاني وإدارة البيانات والاتصال بقواعد البيانات والتعامل مع البيانات الجغرافية المختلفة من مصادر مختلفة. كما يدعم البرنامج العديد من اللغات المختلفة ويعمل على أنظمة التشغيل المختلفة. (Esri, 2021))

3- البرنامج NCSS المستخدم في التحليلات الإحصائية للنتائج وهو برنامج إحصائي يستخدم لتحليل البيانات وتصميم الدراسات الإحصائية ورسم الرسوم البيانية. يتضمن NCSS العديد من الميزات والأدوات المتخصصة مثل التحليل الإحصائي الوصفي والاستنتاجي والتجريبي وتصميم الدراسات



الإحصائية وتحليل الانحدار والتحليل العاملي والتحليل العاملي المتعدد والتحليل العاملي التفاعلي والتحليل العاملي الشجري والتحليل العاملي الخطي العشوائي وغيرها. كما يدعم البرنامج العديد من التنسيقات المختلفة للبيانات والرسوم البيانية ويعمل على مختلف أنظمة التشغيل. ويتيح NCSS للمستخدمين إمكانية تحليل البيانات وإجراء الاختبارات الإحصائية وإنشاء الرسوم البيانية بسهولة وفعالية، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث العلمية والدراسات الإحصائية والتحليلات البيانية المختلفة. (NCSS, 2021)

6. منطقة الدراسة

منطقة الدراسة هي جزء من مدينة الرياض كما هو موضح في الشكل (1)، وتقع بين خطي العرض $24^{\circ}38'0.85''$ جنوباً و $24^{\circ}53'37.89''$ شمالاً وبين خطي الطول $46^{\circ}32'333.51''$ غرباً و $46^{\circ}52'12.90''$ شرقاً وتبلغ مساحتها التقريبية 950 كيلومتر مربع. تتسم المنطقة بأنها مستوية تقريباً وذات نسيج عمراني مؤلف من العديد من الأحياء السكنية والشوارع الواسعة والمناطق الخضراء بالإضافة إلى الأراضي الفضاء .



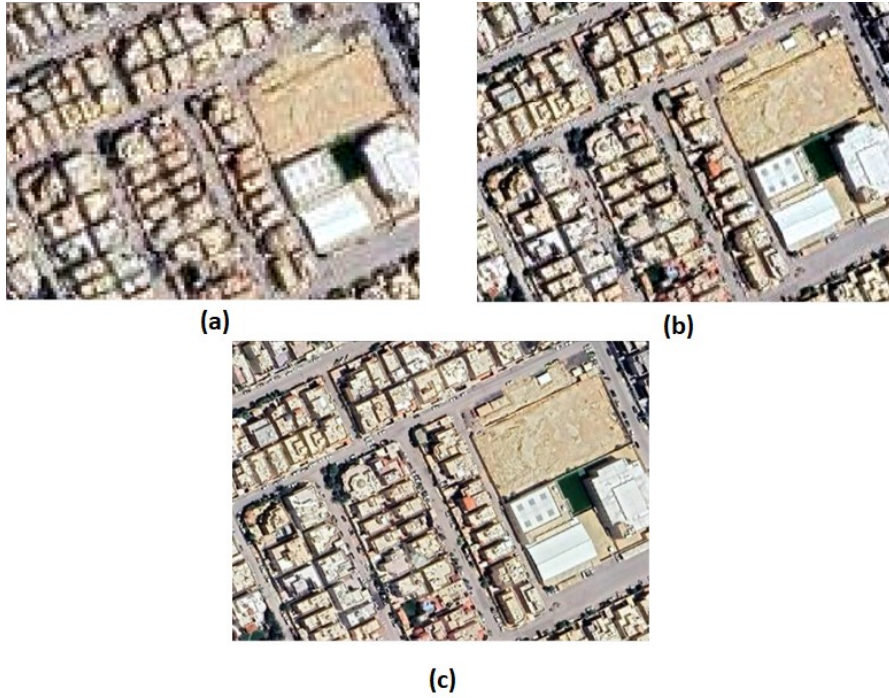
الشكل (1). حدود منطقة الدراسة.

7. النتائج والمناقشة

تم تنزيل ثلاث صور فضائية ذات دقات تمييز مختلفة تغطي منطقة الدراسة بالاستعانة بالبرنامج المجاني مفتوح المصدر SAS.Planet وهي الآتية:

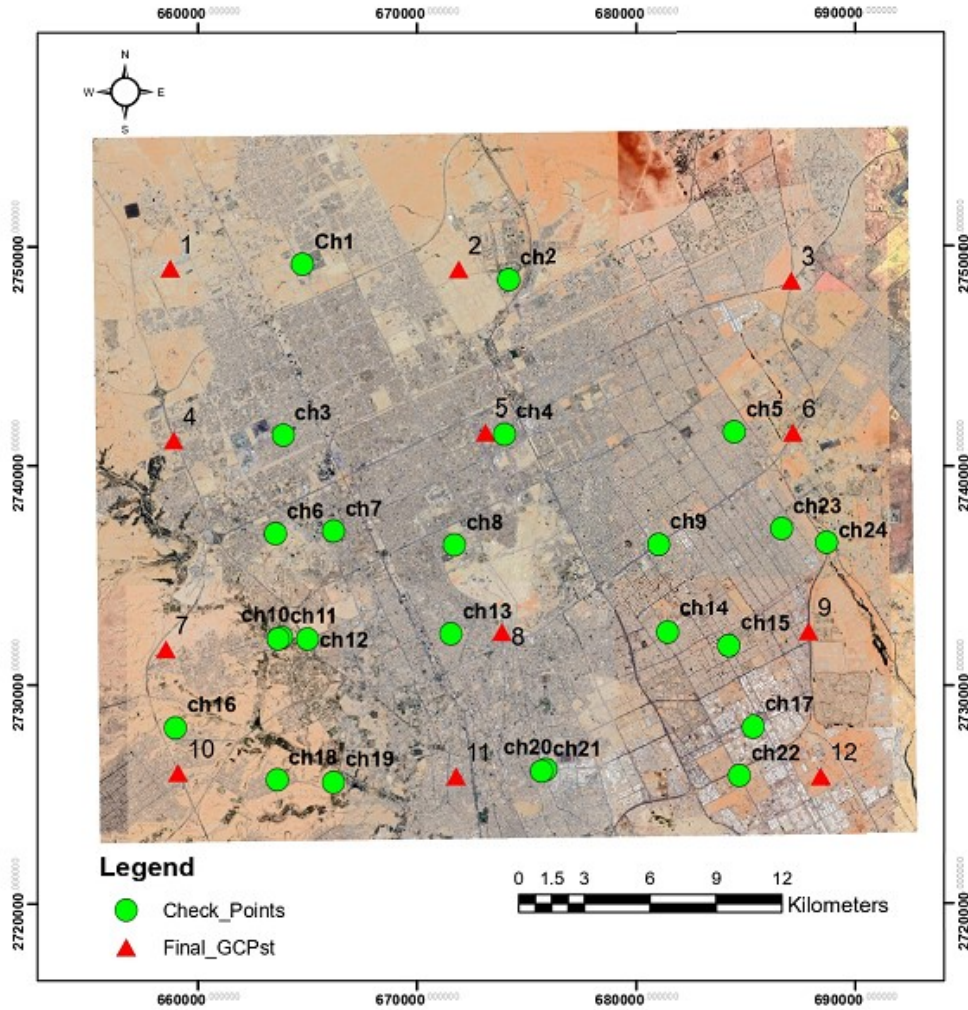
- صورة ذات دقة تمييز مكانية تساوي تقريباً 2.4 m.
- صورة ذات دقة تمييز مكانية تساوي تقريباً 1.2 m.
- صورة ذات دقة تمييز مكانية تساوي تقريباً 0.6 m.

نوضح في الشكل (2) نفس الجزء من الصور الثلاثة المقطعة حيث نلاحظ تأثير تغير دقة التمييز على وضوح الصورة .



الشكل (2). جزء من الصور الفضائية المستخدمة يغطي نفس المنطقة: (a) صورة بدقة تمييز 2.4 m. (b) صورة بدقة تمييز 1.2 m. (c) صورة بدقة تمييز 0.6 m.

فيما يخص النقاط الأرضية فعددها يبلغ 34 نقطة مسقطة ضمن نظام الإحداثيات عين العبد- ميركاتور المستعرض (Universal Transverse Mercator (UTM (Ain_el_Abd_UTM_Zone_38N). تم تقسيم هذه النقاط إلى مجموعتين بحيث تضم المجموعة الأولى عشر نقاط ضبط Control points موزعة بشكل موحد Uniform distribution داخل منطقة الدراسة ستستخدم في عمليات التصحيح الهندسي، في حين تضم المجموعة الثانية أربع وعشرين نقطة ستستخدم كنقاط اختبار Check points في عمليات تقييم دقة التصحيح. ونود أن نشير هنا إلى افتقار المعايير العربية إلى قواعد تتعلق بعدد نقاط الاختبار ونمط توزيعها ولهذا استخدمنا معايير الخرائط التي أصدرتها الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) والتي تشترط استخدام 20 نقطة تحقق كحد أدنى لاختبار الدقة الأفقية المطلقة للتصحيح الهندسي للصور الفضائية (ASPRS, 2015). وعلى الرغم من أن نمط توزيع هذه النقاط سيكون خاصاً بكل مسح، إلا أن هنالك توصيات تحض على توزيعها بشكل موحد داخل المشهد المصور. في كل الأحوال، لا يزال تحديد التوزيع الأمثل لنقاط التحقق الأفقية في اختبار دقة الخرائط موضوع بحث مستمر. نوضح في الشكل (3) خارطة توزع نقاط الضبط والاختبار ضمن منطقة الدراسة.

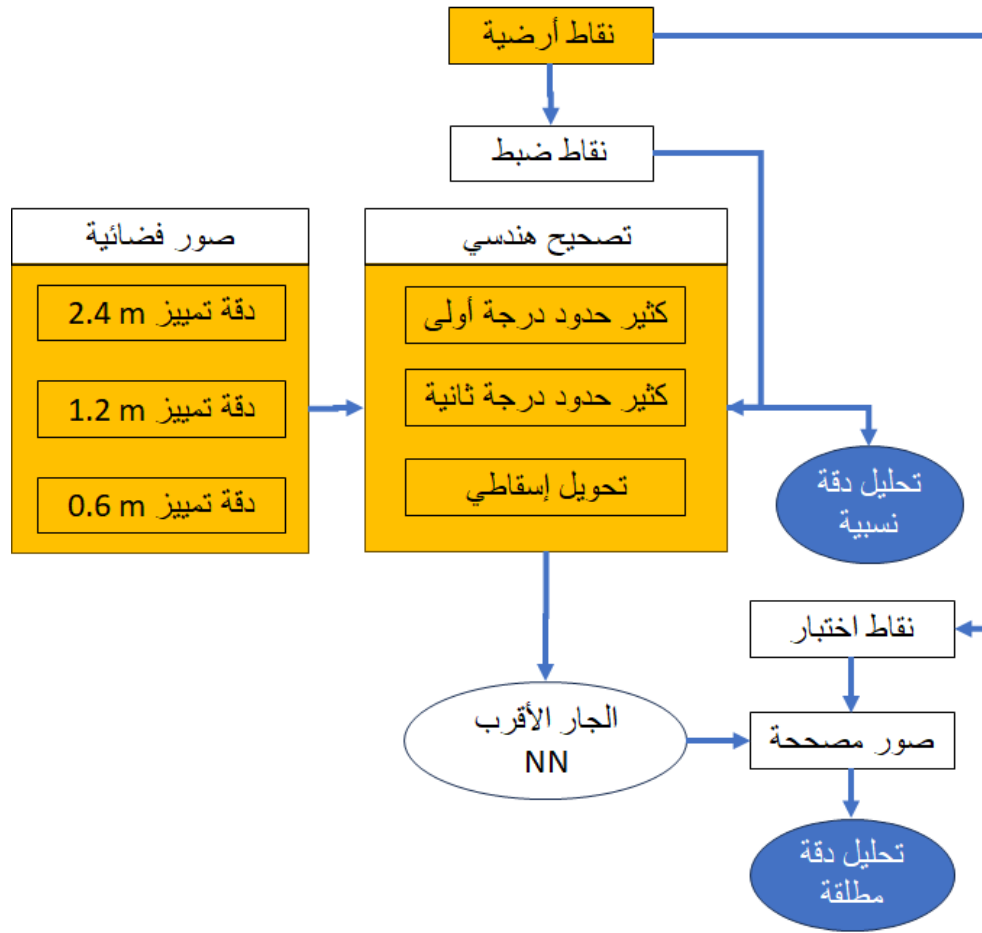


الشكل (3). توزيع نقاط الضبط ونقاط الاختبار في منطقة الدراسة.

فيما يخص التصحيح الهندسي للصور وإنتاج الخرائط التصويرية منها فقد تم وفق المنهجية الآتية (الشكل (4)):

- 1- قياس كل نقاط الضبط على الصورة بالاستعانة بالبرنامج ArcGIS 10.8.
- 2- تنفيذ التصحيح الهندسي للصورة مع تطبيق ثلاثة نماذج تجريبية هي: كثير الحدود من الدرجة الأولى First order polynomial، كثير الحدود من الدرجة الثانية Second order polynomial، والتحويل الإسقاطي Projective transformation وتحديد قيم الأخطاء متوسطة التربيع RMSE على نقاط الضبط في كل حالة. إن قيم هذه الأخطاء ستمكننا من تقييم الدقة النسبية Relative accuracy للتصحيح الهندسي.
- 3- إتمام عملية التصحيح باعتماد خوارزمية (NN (Nearest Neighbor) لإعادة الاعتيان Resampling وإنتاج الصورة الخارطة التصويرية.

4- قياس نقاط الاختبار على الخارطة الصورية ومقارنة إحداثياتها المقاسة مع الإحداثيات المعلومة ودراسة الفروق لتقييم النوعية الهندسية لهذه الخارطة عبر دراسة قيم الأخطاء متوسطة على نقاط الاختبار. إن اعتماد هذه المنهجية سيمكننا من تقييم الدقة المطلقة Absolute accuracy للتصحيح الهندسي واستنتاج مقياس الخارطة الشعاعية Vector map الممكن إنتاجها من الخارطة الصورية بعملية الرقمنة Digitization.



الشكل (4). المنهجية المتبعة في المعالجة.

□ تقييم نوعية التصحيح باستخدام نقاط الضبط (دقة نسبية)

يوضح الجدول (1) والشكل (5) قيم الأخطاء متوسطة التربيع على تصحيح الصور بالاستعانة بنقاط الضبط.

الجدول (1). الأخطاء متوسطة التربيع على نقاط الضبط كتابع لدقة التمييز وللنموذج التجريبي المطبق.

الخطأ متوسط التربيع (m)	النموذج التجريبي	دقة التمييز (m)
8.841	كثير حدود درجة أولى	2.4
0.643	كثير حدود درجة ثانية	

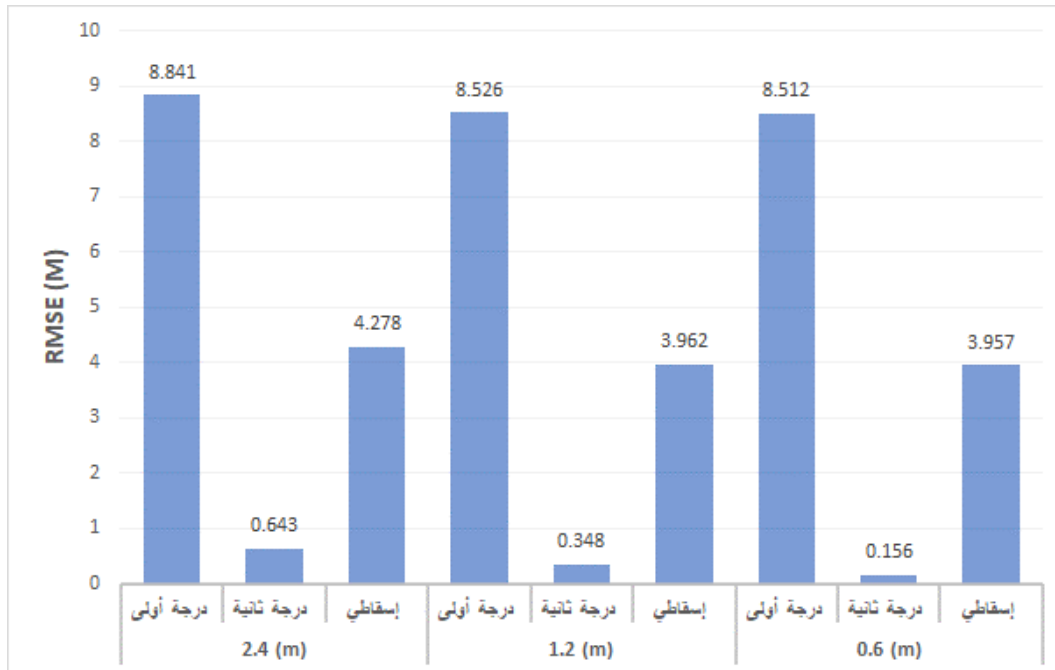


4.278	تحويل إسقاطي	1.2
8.526	كثير حدود درجة أولى	
0.348	كثير حدود درجة ثانية	
3.962	تحويل إسقاطي	0.6
8.512	كثير حدود درجة أولى	
0.156	كثير حدود درجة ثانية	
3.957	تحويل إسقاطي	

المصدر: من إعداد الباحثين

نلاحظ من الجدول (1) والشكل (5) ما يأتي:

- 1- بالرغم من تغير قيم دقة التمييز لم تتحسن نوعية التصحيح بتطبيق كثير الحدود من الدرجة الأولى حيث نلاحظ التقارب الكبير بين قيم الأخطاء متوسطة التربيع على نقاط الضبط في هذه الحالة.
- 2- تطبيق كثير الحدود من الدرجة الثانية أدى إلى تحسن كبير في دقة التصحيح الهندسي للصورة حيث نلاحظ أن قيم الأخطاء متوسطة التربيع التصحيح قد تحسنت تقريباً بمقدار الضعف عند تحسن دقة تمييز الصورة بمقدار الضعف.
- 3- فيما يخص التحويل الإسقاطي فدقته أفضل من دقة كثير حدود من الدرجة الأولى ولكنها أسوأ من حالة كثير الحدود من الدرجة الثانية في كل حالات دقة التمييز مع ملاحظة أن قيم الأخطاء متوسطة التربيع متقاربة في كل حالات دقة التمييز.



الشكل (5). الأخطاء متوسطة التربيع على نقاط الضبط كتاب لدقة التمييز وللمنموذج التجريبي المطبق.

□ تقييم نوعية التصحيح باستخدام نقاط الاختبار (دقة مطلقة) وإنجاز الخرائط الصورية لمنطقة الدراسة يتم تقييم نوعية التصحيح باستخدام الخطأ متوسط التربيع الكلي على المواقع الأفقية لنقاط الاختبار. وهنا، قمنا بقياس إحداثيات هذه النقاط على الصور المصححة (X_0, Y_0) ومن ثم حساب الفروق بين إحداثياتها المقاسة باستخدام (X_{GPS}, Y_{GPS}) . انطلاقاً من الفروقات السابقة يمكن حساب الأخطاء متوسطة التربيع التالية:

● الخطأ متوسط التربيع على الاتجاه X:

$$RMSE_X = \frac{\sum_{i=1}^n (X_0 - X_{GPS})^2}{n} \quad (1)$$

● الخطأ متوسط التربيع على الاتجاه Y:

$$RMSE_Y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_0 - Y_{GPS})^2}{n} \quad (2)$$

● الخطأ متوسط التربيع على الموقع الأفقي:

$$RMSE_{XY} = \sqrt{\frac{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2}{n}} \quad (4)$$

من ناحية أخرى، إذا كانت فروق الإحداثيات لنقاط الاختبار تتبع للتوزيع الطبيعي Normal distribution ولا يوجد ارتباط Correlation بينها، فإنه من الممكن حساب مقياس الخارطة (S/1) التي يمكن إنجازها من الصور المصححة باستخدام المعادلة (5) التي تربط بين $RMSE_{XY}$ ومخرج مقياس الخارطة:

$$RMSE_{XY} \leq \frac{0.25 \times S}{1000} \quad (5)$$

أولاً: حالة كثير الحدود من الدرجة الأولى

يوضح الجدول (2) الفروقات بين إحداثيات نقاط الاختبار على الصور المصححة وبين الإحداثيات المعلومة مع أخذ تغيرات دقة تمييز الصور بعين الاعتبار.

الجدول (2). الفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

دقة تمييز	2.4 m	1.2 m	0.6 m
-----------	-------	-------	-------



النقطة	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)
CH1	-7.599	3.828	-5.427	4.413	-6.152	4.857
CH2	3.493	2.774	1.269	5.552	1.906	5.977
CH3	-3.507	-2.411	-2.430	-0.719	-3.179	-1.042
CH4	4.595	0.891	0.180	2.583	0.812	2.807
CH5	5.639	-1.552	4.497	-4.245	3.782	-2.373
CH6	0.018	-0.164	-1.096	-1.753	0.337	-1.109
CH7	-0.270	-0.377	0.804	-0.872	-0.428	-0.224
CH8	1.833	1.694	1.804	1.200	-0.367	2.379
CH9	3.264	-3.754	-0.065	0.136	0.219	0.218
CH10	4.822	-1.555	3.708	0.149	2.957	-0.436
CH11	4.459	-0.898	4.441	0.807	3.138	-0.876
CH12	5.923	2.582	2.616	0.998	2.994	0.958
CH13	0.417	1.533	1.484	3.236	0.951	2.656
CH14	0.773	2.347	-2.557	-0.333	-2.809	0.185
CH15	-4.772	-1.606	-3.722	-0.997	-4.177	-0.495
CH16	10.404	-2.456	8.201	-2.937	8.956	-2.544
CH17	-8.059	1.475	-7.011	0.994	-7.701	0.840
CH18	8.324	2.242	8.306	2.859	8.098	3.733
CH19	5.642	2.480	5.620	4.192	6.032	4.516
CH20	0.117	7.301	-2.109	5.726	-1.972	6.614
CH21	-1.311	6.456	-1.346	5.975	-1.762	6.862
CH22	-6.611	2.922	-8.850	0.251	-9.010	2.775
CH23	1.601	-2.440	0.455	-4.030	0.349	-3.927
CH24	-0.156	-6.700	-0.209	-6.097	-0.257	-6.560

المصدر: من إعداد الباحثين

لإجراء الاختبارات الإحصائية للفروقات تم استخدام البرنامج NCSS وهو برنامج يمكننا من حساب كل المقدرات الإحصائية الوصفية الهامة كما يمكننا من معرفة فيما إذا كانت عينة ما تتبع للتوزيع الطبيعي عبر تطبيق اختبارات مختلفة نذكر منها:

1. اختبار كولموجوروف-سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov test).

2. اختبار شابيرو-ويلكس (Shapiro-Wilk test).

3. اختبار داغوستينو كييري (D'Agostino-Pearson test).

4. اختبار أندرسون-دارلينج (Anderson-Darling test).

كما يحدد قيمة معامل ارتباط بيرسون Pearson بين عینتين من القياسات. فيما يخص بحثنا، فقد اعتمدنا اختبار شابيرو-ويلكس لأنه الأفضل في التعامل مع العينات الصغيرة (أقل من 30) (Mendenhall *et al.*, 2013). بعد اختبار الفروقات باستخدام NCSS وجدنا النتائج الآتية الموضحة في الجدول (3).



الجدول (3). المقدرات الإحصائية للفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

معامل بيرسون	توزيع طبيعي	$RMSE_{XY} (m)$	$RMSE_Y (m)$	$RMSE_X (m)$	دقة التمييز
-0.18	نعم	5.793	3.187	4.837	2.4
-0.08	نعم	5.370	3.225	4.294	1.2
-0.13	نعم	5.561	3.368	4.425	0.6

المصدر: من إعداد الباحثين

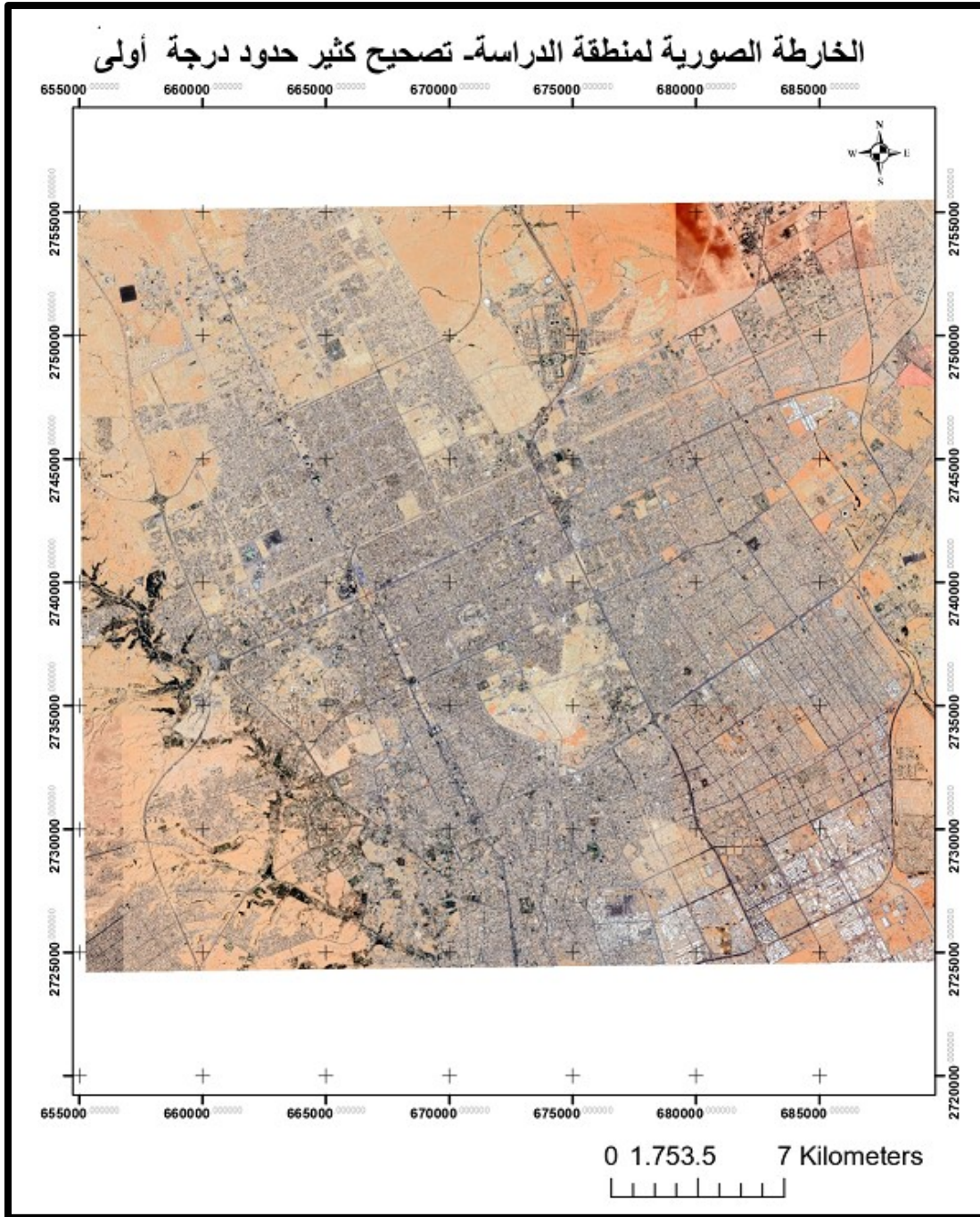
نلاحظ أنه بالرغم من تغير قيمة دقة تمييز الصورة لم تتغير قيمة الخطأ المتوسط التربيع بشكل واضح. كما نلاحظ أن الفروقات تتبع للتوزيع الطبيعي في كل حالات دقة التمييز وأن الارتباط بين الفروقات dx و dy هو ارتباط ضعيف جداً بحيث نستطيع الجزم بأنه لا يوجد ارتباط بينهما. نطبق العلاقة (5)، لحساب مقاييس الخرائط الشعاعية الممكن استنتاجها من الخرائط الصورية الناتجة عن التصحيح الهندسي بتطبيق النموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى. النتائج موضحة في الجدول (4).

الجدول (4). مقاييس الخرائط الشعاعية الموافقة للنموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى.

المقياس العملي	المقياس النظري	$\sigma_{XY} (m)$	دقة التمييز
1:25000	1: 23172	5.793	2.4
1:25000	1: 21479	5.370	1.2
1:25000	1: 22244	5.561	0.6

المصدر: من إعداد الباحثين

نوضح في الشكل (6) الخارطة الصورية الموافقة لدقة التمييز 0.6 m كمثال عن الخرائط الصورية الناتجة.



المصدر: من إعداد الباحثين

الشكل (6). الخارطة الصورية الناتجة عن تطبيق نموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى على صورة دقة تمييزها 2.4 m.

ثانياً: حالة كثير الحدود من الدرجة الثانية



نوضح في الجدول (5) الفروقات بين إحداثيات نقاط الاختبار على الصور المصححة وبين الإحداثيات المعلومة مع أخذ تغيرات دقة تمييز الصور بعين الاعتبار.

الجدول (5). الفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

دقة تمييز النقطة	2.4 m		1.2 m		0.6 m	
	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)
CH1	-0.577	-0.812	0.555	-0.965	0.040	0.178
CH2	1.872	-3.901	-0.235	-0.771	-0.444	0.564
CH3	-0.673	-3.141	0.455	-0.046	-0.472	-0.085
CH4	3.015	-2.035	-0.189	-0.036	-0.460	0.577
CH5	-0.441	-2.314	0.790	-1.411	-0.167	0.741
CH6	0.738	-2.095	0.767	-0.120	-0.276	-0.385
CH7	-0.132	-2.337	-0.089	-0.361	-0.494	0.340
CH8	0.755	-0.127	0.826	-0.344	-0.595	0.078
CH9	2.326	-3.377	1.348	-0.307	-0.562	0.120
CH10	1.094	-0.258	-1.066	-0.496	-0.423	-0.521
CH11	0.763	0.417	0.794	0.177	0.236	0.765
CH12	-0.256	-0.484	-0.219	0.372	-0.120	-0.005
CH13	-0.624	-1.587	0.542	-0.730	-0.080	0.310
CH14	1.938	-0.792	-0.134	-1.029	-0.365	-0.193
CH15	0.156	-2.405	0.289	-0.455	0.087	0.200
CH16	1.168	-0.249	0.079	0.588	0.451	0.283
CH17	1.011	-2.896	1.151	-0.965	-0.551	0.715
CH18	-1.932	0.588	0.290	-0.779	0.292	-0.300
CH19	1.392	-1.343	0.340	-0.520	-0.016	-0.324
CH20	0.316	-1.033	0.408	-1.302	-0.693	-0.125
CH21	1.122	0.333	0.117	-1.032	-0.439	0.644
CH22	2.598	-0.966	0.543	-0.141	-0.679	0.538
CH23	1.622	-0.042	0.672	0.839	0.727	0.470
CH24	1.605	-1.973	-0.430	0.001	-0.226	-0.255

المصدر: من إعداد الباحثين

قمنا بإجراء الاختبارات الإحصائية للفروقات باستخدام البرنامج NCSS فوجدنا النتائج الآتية الموضحة في الجدول (6).

الجدول (6). المقدرات الإحصائية للفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

معامل بيرسون	توزيع الطبيعي	σ_{XY} (m)	σ_Y (m)	σ_X (m)	دقة التمييز
-0.17	نعم	1.748	1.279	1.192	2.4
-0.08	نعم	0.793	0.579	0.542	1.2



0.04	نعم	0.543	0.394	0.374	0.6
------	-----	-------	-------	-------	-----

المصدر: من إعداد الباحثان

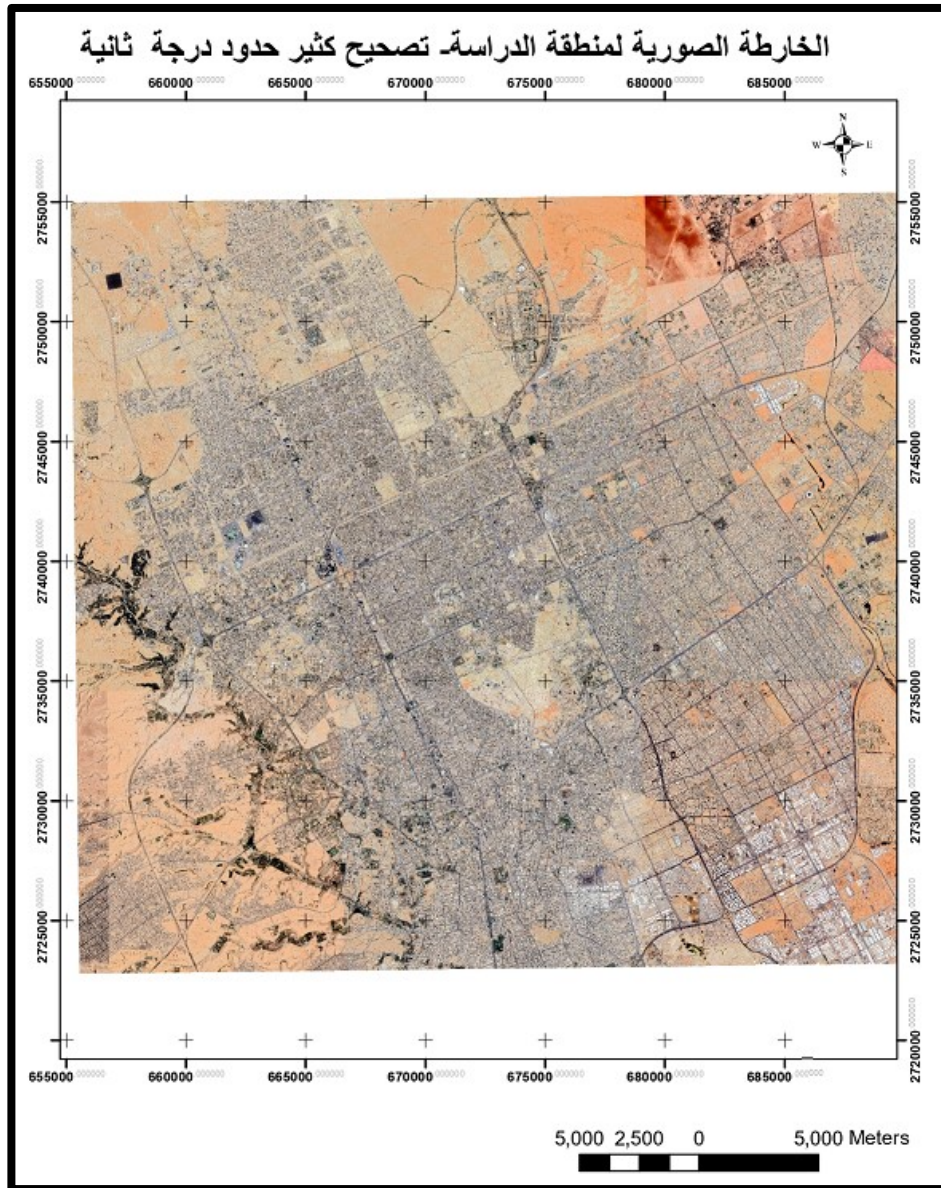
نلاحظ التأثير الكبير لتغير قيمة دقة تمييز الصورة على قيمة الخطأ المتوسط التربيع. كما نلاحظ أن الفروقات تتبع للتوزيع الطبيعي في كل حالات دقة التمييز وأن الارتباط بين الفروقات dx و dy هو ارتباط ضعيف جداً بحيث نستطيع الجزم بأنه لا يوجد ارتباط بينهما. كما في الحالة السابقة، نطبق العلاقة (5)، لحساب مقاييس الخرائط الشعاعية الممكن استنتاجها من الخرائط الصورية الناتجة عن التصحيح الهندسي بتطبيق النموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى. النتائج موضحة في الجدول (7).

الجدول (7). مقاييس الخرائط الشعاعية الموافقة للنموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية.

المقياس العملي	المقياس النظري	$\sigma_{XY} (m)$	دقة التمييز
1:7500	1: 6993	4.837	2.4
1:5000	1: 3173	4.294	1.2
1:2500	1: 2171	4.425	0.6

المصدر: من إعداد الباحثين

نوضح في الشكل (7) الخارطة الصورية الموافقة لدقة التمييز 0.6 m كمثال عن الخرائط الصورية الناتجة.



المصدر: من إعداد الباحثين

الشكل (7). الخارطة الصورية الناتجة عن تطبيق نموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية على صورة دقة تمييزها 0.6 m.

ثالثاً: حالة التحويل الإسقاطي

نوضح في الجدول (8) الفروقات بين إحداثيات نقاط الاختبار على الصور المصححة وبين الإحداثيات المعلومة مع أخذ تغيرات دقة تمييز الصور بعين الاعتبار.



الجدول (8). الفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

دقة تمييز النقطة	2.4 m		1.2 m		0.6 m	
	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)	dx (m)	dy (m)
CH1	-1.259	0.560	-0.863	0.021	-0.359	0.130
CH2	0.718	-0.301	0.048	2.444	-0.040	3.001
CH3	0.880	0.815	0.178	3.537	-0.538	3.098
CH4	1.869	4.111	0.104	4.642	-0.287	6.397
CH5	2.269	1.635	0.537	1.070	0.253	1.747
CH6	0.117	4.276	0.510	3.697	-0.256	3.173
CH7	-0.885	4.029	-0.484	4.545	-0.330	5.134
CH8	1.916	6.271	1.239	5.690	-0.569	7.287
CH9	3.017	3.024	0.179	4.634	-0.318	4.582
CH10	0.460	1.970	-0.243	3.566	0.128	3.475
CH11	2.327	0.457	0.528	4.243	0.331	3.046
CH12	1.241	3.939	-0.553	4.439	0.531	3.239
CH13	-1.646	5.014	0.963	6.612	-0.321	6.542
CH14	2.609	5.806	-0.227	3.021	-0.667	4.059
CH15	-1.504	-0.156	0.049	1.439	-0.543	2.383
CH16	2.967	-2.194	0.059	-2.803	1.392	-2.930
CH17	-0.705	-0.463	-0.242	0.024	-1.228	-0.098
CH18	-0.365	-1.239	2.219	-0.760	0.918	0.424
CH19	0.638	-0.976	2.135	0.600	0.648	1.223
CH20	1.268	3.688	0.605	3.075	-0.619	3.230
CH21	-0.108	2.868	0.323	2.254	0.168	3.492
CH22	0.915	-0.612	-0.817	-1.228	-0.796	-1.112
CH23	-0.159	1.936	0.308	1.357	0.051	0.866
CH24	-0.278	-2.155	0.194	-2.736	-0.322	-1.123

المصدر: من إعداد الباحثين

قمنا بإجراء الاختبارات الإحصائية للفروقات باستخدام البرنامج NCSS فوجدنا النتائج الآتية الموضحة في الجدول (9).

الجدول (9). المقدرات الإحصائية للفروقات الموافقة لدقات التمييز المختلفة.

معامل بيرسون	توزيع الطبيعي	σ_{XY} (m)	σ_Y (m)	σ_X (m)	دقة التمييز
0.15	نعم	2.882	2.516	1.404	2.4
0.04	نعم	2.669	2.555	0.771	1.2
0.29	نعم	2.618	2.551	0.588	0.6

المصدر: من إعداد الباحثين



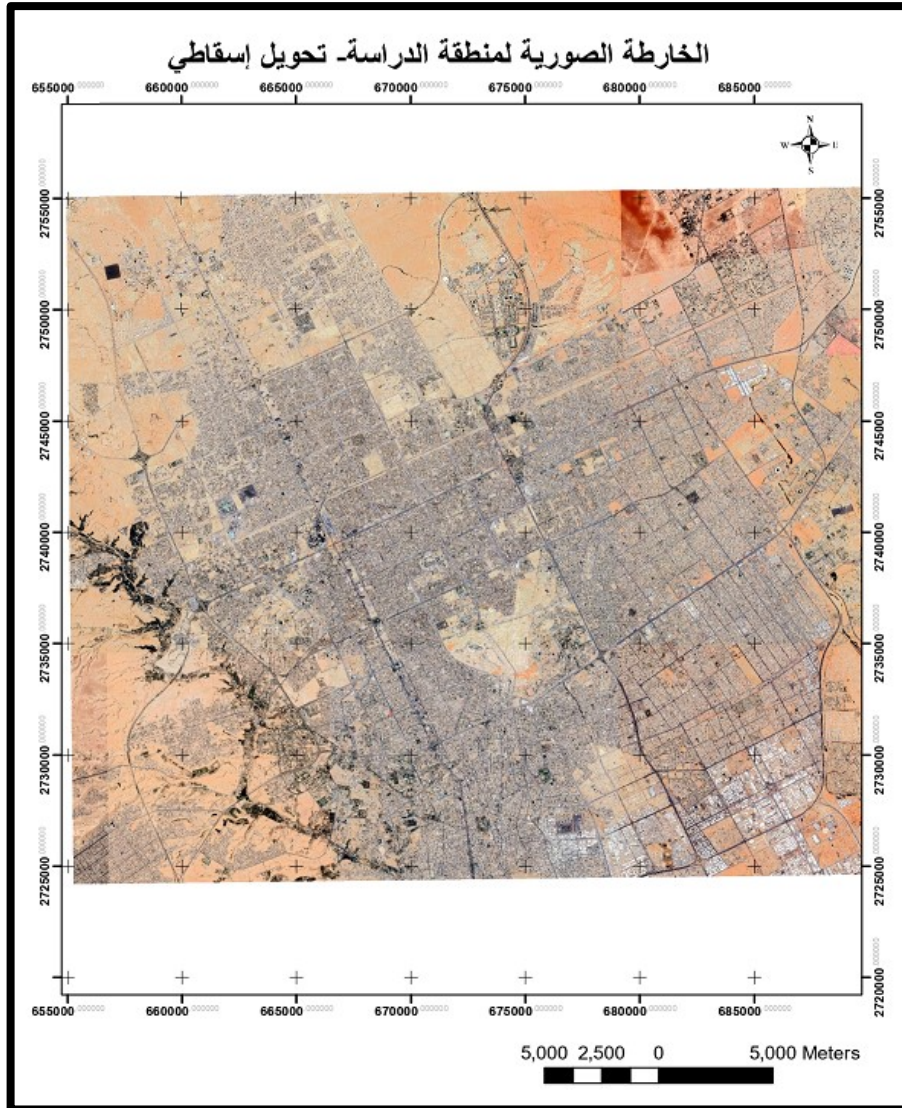
نلاحظ عدم التأثير الواضح لتغير قيمة دقة تمييز الصورة على قيمة الخطأ المتوسط الترتيب. كما نلاحظ أن الفروقات تتبع للتوزيع الطبيعي في كل حالات دقة التمييز وأن الارتباط بين الفروقات dx و dy هو ارتباط ضعيف بحيث نستطيع الجزم بأنه لا يوجد ارتباط بينهما. كما في الحالات السابقة، نطبق العلاقة (5)، لحساب مقاييس الخرائط الشعاعية الممكن استنتاجها من الخرائط التصويرية الناتجة عن التصحيح الهندسي بتطبيق التحويل الإسقاطي. النتائج موضحة في الجدول (10).

الجدول (10). مقاييس الخرائط الشعاعية الموافقة لنموذج التحويل الإسقاطي.

المقياس العملي	المقياس النظري	$\sigma_{XY} (m)$	دقة التمييز
1:12500	1: 11527	2.882	2.4
1:12500	1: 10675	2.669	1.2
1:12500	1: 10471	2.618	0.6

المصدر: من إعداد الباحثين

نوضح في الشكل (8) الخارطة التصويرية الموافقة لدقة التمييز 0.6 m كمثال عن الخرائط التصويرية الناتجة.



المصدر: من إعداد الباحثين

الشكل (8). الخارطة الصورية الناتجة عن تطبيق نموذج التحويل الإسقاطي على صورة دقة تمييزها 0.6 m.

8. الاستنتاجات والتوصيات

أظهرت نتائج الدراسة ما يأتي:

1. يمكن أن تشكل الصور الفضائية المجانية المقطعة بواسطة البرنامج المجاني SAS.Planet بديلاً جيداً للصور الفضائية المدفوعة في صناعة الخرائط للمناطق الحضرية.
2. تطبيق الاختبارات الإحصائية هو خطوة مهمة عند تقييم دقة المنتجات الكارتوغرافية.
3. لا يتأثر النموذج التجريبي كثير الحدود من الدرجة الأولى ونموذج التحويل الإسقاطي لتصحيح الصور الفضائية بتغير دقة تمييز هذه الصور، فقد وجدنا أن الدقة تراوحت بين 5.793 m

و 5.561 m في حالة تطبيق النموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى عند تغير دقة تمييز الصورة الفضائية من 2.4 m إلى 0.6 m على الترتيب. كما تراوحت بين 2.882 m و 2.618 m في حالة تطبيق نموذج التحويل الإسقاطي عند تغير دقة تمييز الصورة الفضائية من 2.4 m إلى 0.6 m على الترتيب. كنتيجة لهذه النقطة، لا تتأثر مقاييس الخرائط الشعاعية الممكن استنتاجها من الصور المصححة بتغير دقة تمييز الصور عند استخدام هذين النموذجين.

4. يتأثر كثير الحدود من الدرجة الثانية بشكل كبير بتغير دقة تمييز الصور فقد وجدنا أن الدقة تراوحت بين 1.748 m و 0.543 m في حالة تطبيق هذا النموذج عند تغير دقة تمييز الصورة الفضائية من 2.4 m إلى 0.6 m على الترتيب. في الواقع، لاحظنا من خلال النتائج وجود علاقة تضاعف بين هذين المتغيرين. بشكل أدق، لاحظنا أنه عندما تتضاعف قيمة دقة التمييز فإن دقة التصحيح بتطبيق نموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية تتضاعف بدورها.

5. يعتبر النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية هو الأفضل لإنتاج خرائط صورية تفصيلية من بين النماذج المدروسة. وجدنا أن قيم مقاييس الخرائط الشعاعية تراوحت من 1:7500 إلى 1:2500 وهذه مقاييس تفصيلية مناسبة للعديد من التطبيقات.

نوصي بتوسيع الدراسة بحيث ندخل عوامل جديدة تؤثر على نوعية التصحيح الهندسي لتصحيح المرئيات مثل الطبيعة الطبوغرافية للمنطقة والدقة المكانية لنقاط الضبط والاختبار وعددها وتوزعها في منطقة الدراسة وذلك للوصول إلى نتائج أكثر شمولية.

9. المراجع

المراجع باللغة الإنجليزية

1. Finn, M. P., Reed, M. D., & Yamamoto, K. H. (2012). A straight forward guide for processing radiance and reflectance for EO-1 ALI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and ASTER. Unpublished Report from USGS/Center of Excellence for Geospatial Information Science, 8
2. GIS Geography. (2018). SAS.Planet – The Ultimate Tool for Viewing and Managing Geospatial Data. Retrieved from <https://gisgeography.com/sas-planet-download-satellite-imagery-maps/>.
3. Baboo, S., Renuka Devi, M. (2011). Geometric Correction in Resent High Resolution Satellite Imagery: A Case Study in Coimbatore, Tamil Nadu, IJCA. International Journal of Computer Applications, 14 (1), 32-37.



4. Al-Fahdawi, S., & Pradhan, B. (2019). Factors affecting geometric correction of satellite images: A review. *Geocarto International*, 34(1), 1-18.
5. Xie, Y. and Chen, Y. (2013). Effect of image resolution on geometric correction accuracy of high-resolution satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 34(23), 8393-8408.
6. Yastikli, N., & Topan, H. (2013). Accuracies of polynomial and rational function-based models for high-resolution satellite imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073550.
7. Singh, A., & Gupta, P. K. (2014). Comparison of different polynomial models for high-resolution satellite image rectification. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083694.
8. Zhang, H., Li, B., & Zhang, W. (2017). A comparative study of different polynomial models for high-resolution remote sensing image rectification. *IEEE Access*, 5, 12121-12130.
9. Kim, J. H., Kim, M. S., & Kim, T. W. (2018). Comparative analysis of polynomial and rational function-based models for geometric correction of high-resolution satellite imagery. *Geocarto International*, 33(3), 258-266.
10. Bayram, B., & Yilmaz, I. (2019). Comparison of polynomial and rational function models for high-resolution satellite image geometric correction. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(11), 509.
11. Dey, A., & Mandal, S. (2016). A comprehensive evaluation of polynomial and rational function models for high-resolution satellite image rectification. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(4), 046003.
12. Tawfik, M., Elhifnawy, H., Ragab, & A., Hamza, E. (2017). The Effect of Image Resolution on the Geometric Correction of Remote Sensing Satellite Images. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 4 (5), 114,121.
13. Tkacheva, A. Y., Alferina, A. V., & Teslenok, S. A. (2019). Analysis of topographic maps and satellite images navigation software SAS. planet for detecting changes in the hydrographic network on the territory of the city of Insar. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*, (2), 85-95.
14. Duan, L., & Zhang, L. (2018). Mapping land cover and land use change in a coastal wetland using Landsat and SAS.Planet imagery. *Wetlands Ecology and Management*, 26(4), 733-748.
15. Wang, C., Huang, P., & Chen, Y. (2019). Mapping the distribution of tea plantations using Landsat images and SAS.Planet software. *Geocarto International*, 34(9), 1006-1016.



16. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. Guilford Press.
17. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
18. Schowengerdt, R. A. (2012). Remote sensing: models and methods for image processing. Academic Press.
19. Sabins, F. F. (2015). Remote sensing: principles and interpretation. Waveland Press.
20. Dent, B. D., & Torguson, J. S. (2014). Cartography: Thematic map design (6th ed.). McGraw Hill Education
21. ASPRS, 2015. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, November 2014, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(3) 53 p., URL: <http://www.asprs.org/Standards-Activities.html>, (last date accessed: 25/6/2023).
22. SAS. Planet Software. (2023).
23. https://opencpn.org/wiki/dokuwiki/doku.php?id=opencpn:supplementary_software:sas.planet (last date accessed: 25/6/2023).
24. Esri. (2021). ArcGIS 10.8. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/overview>.
25. NCSS 2021 Statistical Software (2021). NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA, ncss.com/software/ncss.
26. Khalaf, A.Z., Alwan, I.A.K., Kadhum, T.A (2018). Accuracy Assessment of World View-2 Satellite Imagery for Planimetric Maps Production. Engineering and Technology Journal, 36 (1), 1-9.
27. Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2013). Introduction to probability and statistics. Cengage Learning.

المراجع باللغة العربية

1. الخليل، عمر.، ديب، فايز.، ديوب، وائل وعلي، أحمد (2017). اقتراح منهجية لاختيار الطريقة التجريبية الأنسب لتصحيح المرئيات الفضائية. سورية- مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الهندسية المجلد (99) العدد (5)، 61, 45.
2. جمال، سليم.، كاظم، دلال (2019). استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتصنيف استعمالات الأراضي الزراعية والغطاء الأرضي في مشروع ري الجزيرة الجنوبي. جامعة بغداد-كلية التربية- مجلة كلية التربية للبنات للعلوم الإنسانية، العدد (25)، 316, 299.
3. عيد، صفية.، الويش لارا (2017). استخدام المرئيات الفضائية في تحديث الخرائط الطبوغرافية (دراسة تطبيقية على ناحية البهلولية). سورية- مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الإنسانية المجلد (39) العدد (5)، 253, 231.
4. أوردونيكا. ل. المنهج الكارتوغرافي "الموسوعة الجغرافية". موسكو، 1989، ص: 126.
5. دويدري، رجاء (البحث العلمي: أساسياته النظرية وممارسته العملية)، دار الفكر، دمشق، سورية، 2002 م، ص، 232
6. الخليل، عمر. (2016)). معايير للتحقق من الدقة الهندسية لتصحيح الهندسي للصور الفضائية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الإنسانية المجلد (38) العدد (2)، 44, 29.



the impact of the resolution of satellite imagery extracted using the free software SAS.Planet and experimental mathematical models on the accuracy of photomaps

By

khadeijah Yahya Faqeih

Assistant Professor of Maps, Department of Geography, college of arts,

Princess Nourah bint Abdulrahman University, Riyadh. Saudi Arabia

Omar Muhammad Al-khalil

Professor of Photogrammetry, Faculty of Civil Engineering –Tishreen

University, Syria

Abstract :

In recent years, there have been numerous high-resolution free sources of satellite imagery, which can be downloaded using open-source software such as SAS.Planet with customizable resolution. Such imagery is an essential source of information for creating photomaps that form the basis for extracting vector maps. The accuracy of the spatial data extracted from these images depends on images resolution and on the control point-based mathematical experimental models applied on geometric correction of images. This research aims primarily to study the effect of the spatial resolution of satellite images and the type of experimental model applied to the geometric correction of these images on the accuracy of the resulting photomap.

In this study, some experimental methods were tested to achieve geometric correction of satellite images with different resolutions covering a part of Riyadh city with a fixed number of control points, 10 points, and a set of 24 check points. The results showed that the first-order polynomial model and the projective transformation model for correcting satellite images were not affected by changes in the resolution of these images, while the second-order polynomial model was significantly affected by this change. In this case, the accuracy ranged from 1.748 m to 0.543 m when the resolution of the satellite image changed from 2.4 m to 0.6 m, respectively.



Additionally, we found that when the resolution doubled, the accuracy of the correction using the second-order polynomial model also doubled. On the other hand, we found that the second-order polynomial model was the best for producing detailed photomaps among the studied models, with radiometric map scales ranging from 1:7500 to 1:2500.

Key words: Free satellite imagery, Geometric correction, Experimental models, Photomaps, Root mean square error.