

Evaluate the Impact of Empirical Geometric Correction Models of Satellite Images on the Land Cover Classification Accuracy

Dr. Omar Al Khalil*

Dr. Iyad Fahsa**

Fatima Nowira***

(Received 26 / 6 / 2023. Accepted 30 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

Land cover classification is one of the important topics in the field of remote sensing. Satellite images suffer from geometric distortions that affect the geometric quality of the spatial data extracted from them. Thus, they must be corrected by applying geometric correction.

This research aims to evaluate the effects of the type of geometric correction models and resampling algorithms on the quality of the Maximum Likelihood-based land cover classification. 12 ground control points distributed uniformly were used for geometric correction.

The research results showed that the nearest neighbor algorithm with the second-order polynomial model are the most suitable for the issue of land cover classification. In fact, overall accuracy of the classification reached 88.75% with a kappa coefficient of 0.85. On the other hand, the results showed that although the accuracy of the geometric correction using rubber-sheeting model ($\pm 7.065\text{m}$) was the best, the classification results were not. In this case, total accuracy value ranged between 59.493% and 60.7% and a kappa coefficient ranges from 0.46 to 0.47, meaning that a more accurate geometric correction does not correspond to a more accurate classification result.

Keywords: Geometric correction, Resampling, Land cover classification, Satellite images.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

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

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

تقييم تأثير النماذج التجريبية للتصحيح الهندسي للمرتبات الفضائية على دقة تصنيف الغطاء الأرضي

د. عمر الخليل *

د. إياد فحصة **

فاطمة نويرة ***

(تاريخ الإيداع 26 / 6 / 2023. قُبِلَ للنشر في 30 / 7 / 2023)

□ ملخّص □

يعد تصنيف الغطاء الأرضي من المواضيع الهامة في مجال الاستشعار عن بعد، وبما أنّ المرتبات الفضائية تتعرّض لتشوّهات هندسية تؤثر على النوعية الهندسية للبيانات المكانية المقطّعة منها، فلا بد من تصحيحها قبل ذلك بعملية تسمى التصحيح الهندسي.

يهدف هذا البحث إلى تقييم تأثيرات تغيير نماذج التصحيح الهندسي وخوارزميات إعادة الاعتيان المتّبعة في التصحيح على دقة تصنيف الغطاء الأرضي، مع اعتماد خوارزمية الاحتمالية العظمى في التصنيف. تم الاستعانة بـ 12 نقطة ضبط أرضية موزعة توزيع منتظم للقيام بالتصحيح الهندسي.

أظهرت نتائج البحث أنّ خوارزمية الجار الأقرب مع النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية هي الأنسب لمسألة تصنيف الغطاء الأرضي، حيث بلغت الدقة الكلية للتصنيف 88.75% مع معامل كبا قيمته 0.85. بينت النتائج أنه على الرغم من أن دقة التصحيح الهندسي باستخدام نموذج الشد المرن ($\pm 7.065m$) كانت هي الأفضل مقارنة مع نماذج التصحيح كثير الحدود والإسقاطي، لم تكن نتائج التصنيف هي الأفضل، حيث تراوحت قيمة الدقة الكلية بين (59.493% و 60.7%) ومعامل كبا بين (0.46 و 0.47) مما يعني أن التصحيح الهندسي الأدق لا يتوافق مع النتائج الأدق للتصنيف.

الكلمات المفتاحية: التصحيح الهندسي، إعادة الاعتيان، تصنيف الغطاء الأرضي، المرتبات الفضائية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

** أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

مقدمة:

يعتبر تصنيف الغطاء الأرضي Landcover classification من أهم التطبيقات المستخدمة في مجال الاستشعار عن بعد، كما تعد الدراسة التفصيلية لتغيرات الغطاء الأرضي مدخلاً مهماً للعديد من أنظمة المراقبة البيئية مثل التوسع العمراني، وانجراف التربة وغيرها [1].

تعتبر المريثات الفضائية Satellite images الملتقطة من قبل مستشعرات التوابع الصناعية مصدراً أساسياً للمعطيات المكانية Spatial data، لكن هذه المريثات تعاني من تشوهات هندسية ناتجة عن الشروط الجوية، زوايا تسجيل بيانات المريثة، وكذلك طبوغرافية المشهد المصور، مما سيؤثر على العمليات اللاحقة التي ستستخدم فيها هذه المريثات كغرض تصنيف الغطاء الأرضي. ومن هذا المنطلق، يجب قبل استخدام هذه المريثات المرور بمرحلة تصحيح هندسي Geometric correction، وهي عملية تهدف بشكل رئيسي للتخلص من التشوهات التي تؤثر على دقة المعطيات الهندسية المقتطعة من هذه المريثات [2].

بسبب عدم توفر معلومات حول مدار التابع الصناعي فسيكون من الصعب القيام بتعريف دقيق للنماذج الرياضية Mathematical models لمستشعرات التوابع الصناعية لذلك يتم تطبيق طرائق تجريبية قائمة على استخدام نقاط الضبط Control Points في التصحيح الهندسي للمريثات وذلك من أجل تحضيرها للعمليات اللاحقة التي ستستخدم فيها [3]. يجب التركيز على نوعية التصحيح الهندسي المستخدم مع أخذ العوامل المؤثرة على دقته الهندسية كعدد نقاط الضبط المتوافرة ونمط توزيع نقاط الضبط المستخدمة وبشكل عام، يمكن القول إن توافر عدد كاف من نقاط الضبط مع توزع جيد لها، سيضمن دقة هندسية لحساب العلاقة بين المريثة والمشهد ويمكن تقييم الدقة باستخدام الخطأ المتوسط التربيع الكلي لنقاط الضبط Total Root Mean Square (RMST) على نتائج التصحيح الهندسي [4]. في نهاية الخطوة الأولى من عملية التصحيح، نحصل على مريثة بخلايا جديدة (X,Y) ضمن نظام الإحداثيات الأرضي. لإنهاء التصحيح، نقوم بتطبيق خوارزميات إعادة الاعتيان Resampling التي يتم بموجبها حساب القيمة الجديدة للخلايا انطلاقاً من قيمتها الأصلية في المريثة غير المصححة، وذلك يعني تحديد المقدار الرقمي Digital number الواجب وضعه في الموقع الجديد للخلايا الناتجة عن التصحيح، والذي يعبر عن قيمة للمعان في المنطقة الموافقة للخلايا المدروسة [5].

للقيام بعملية تصنيف للمريثة المصححة يجب تحديد طريقة التصنيف المتبعة حيث تتوفر طريقتان أساسيتان هما التصنيف المراقب Supervised classification والتصنيف غير المراقب Unsupervised classification. يعتبر التصنيف المراقب هو الأدق لتصنيف الغطاء الأرضي. هذا، ويمكن إنجاز التصنيف المراقب باستخدام العديد من خوارزميات التصنيف، حيث تم اعتبار خوارزمية الاحتمالية العظمى Maximum Likelihood الطريقة الفعالة والأدق لغرض تصنيف الغطاء الأرضي [6].

عند تطبيق التصنيف المراقب، يتم تقييم نتائج التصنيف من خلال استخدام مرجع للمقارنة يعتمد على القياسات المشتقة من مصفوفة الخطأ Error Matrix وتشمل معامل كبا Kappa، والدقة الكلية Overall accuracy [7]. بالإضافة إلى الخطأ المتوسط التربيع الكلي الناتج عن عملية التصحيح الهندسي [8].

نجد في الدراسات السابقة مقارنة بين طرائق التصنيف المختلفة والعوامل المؤثرة، ففي [2] نجد تقييم تأثير تحويل كثير الحدود Polynomials من الدرجة (1,2,3) وتأثير خوارزميات إعادة الاعتيان على دقة التصنيف.

أما في [3] فنجد أنّ كثيرات الحدود من الدرجتين الثانية والثالثة هي الأنسب لمسألة التصحيح الهندسي للصور الفضائية التي تغطي مشاهد محدودة الاتساع، في حين أن التحويل الإسقاطي Projective يكون فعالاً في حالة المشاهد المستوية والشد المرن Rubber Sheeting يكون أكثر الطرق فعاليةً في حال توافر عدد كبير من نقاط الضبط التي تغطي كامل المشهد المصور. من ناحية أخرى، تم في [4] التوصل إلى أنّ نمط توزيع نقاط الضبط هو عامل رئيسي للحصول على نتائج دقيقة في تصحيح المرئية التي ستستخدم في العمليات اللاحقة حيث وجد البحث أنّ نمط التوزيع الموحد Uniform distribution لنقاط الضبط من أفضل الأنماط من حيث قدرته على التخلص من التشوهات في المرئية.

فيما يخص خوارزميات إعادة الاعتيان وتأثيرها على دقة التصنيف فقد تمت مقارنتها في البحث [5]، حيث أعطت خوارزمية الجار الأقرب Nearest neighbor نتائج أكثر دقة من خوارزميتي الالتفاف التكعيبي Cubic convolution والاستكمال الثنائي Bilinear interpolation. أما فيما يخص البحث [6] فقد وجد الباحث أنّ خوارزمية الاحتمالية العظمى تعتبر من أكثر الطرائق دقة لغرض تصنيف الغطاء الأرضي.

سنقوم في هذا البحث بدراسة وتقييم تأثير نماذج التصحيح الهندسي وخوارزميات إعادة الاعتيان المتبعة في التصحيح على دقة تصنيف الغطاء الأرضي مع الاستعانة بنقاط ضبط ذات نمط توزيع موحد واعتماد خوارزمية الاحتمالية العظمى في التصنيف، حيث سيتم تقييم نتائج التصنيف من خلال الدقة الكلية، معامل كابتا، والخطأ المتوسط التربيع الكلي لنقاط الضبط.

أهمية البحث وأهدافه:

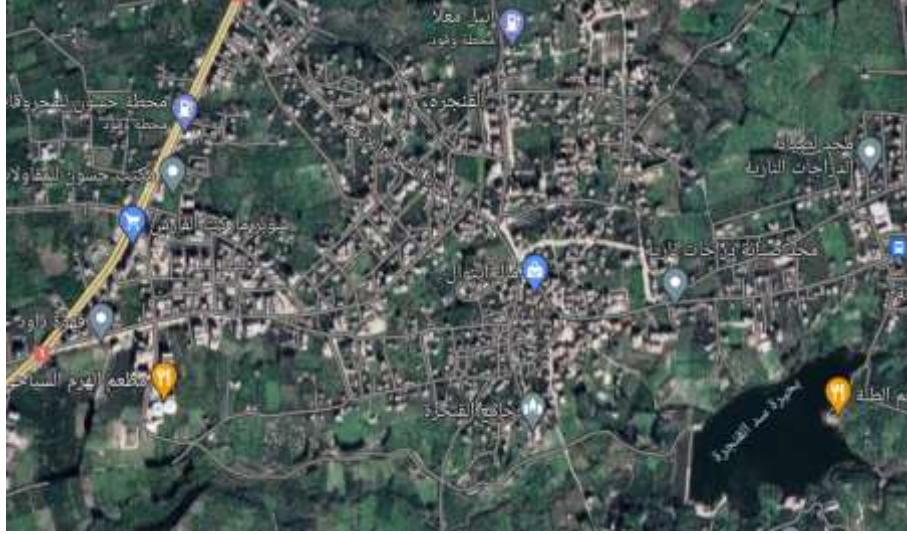
بما أنّ المرئيات الفضائية تشكل مصدراً أساسياً للمعطيات التي تفيدنا في كثير من التطبيقات كتصنيف الغطاء الأرضي، بالإضافة إلى أنّ تصحيح المرئية من التشوهات هي الخطوة الأولى، فمن المهم تطبيق أفضل أسلوب تصحيح وبالتالي الحصول على أفضل دقة للتصنيف. نسعى من خلال هذا البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

1. تقييم تأثيرات تغيير نماذج التصحيح الهندسي على دقة تصنيف الغطاء الأرضي.
2. تقييم تأثيرات تغيير خوارزمية إعادة الاعتيان المتبعة في التصحيح الهندسي على دقة تصنيف الغطاء الأرضي.

طرائق البحث ومواده:

1-منطقة الدراسة

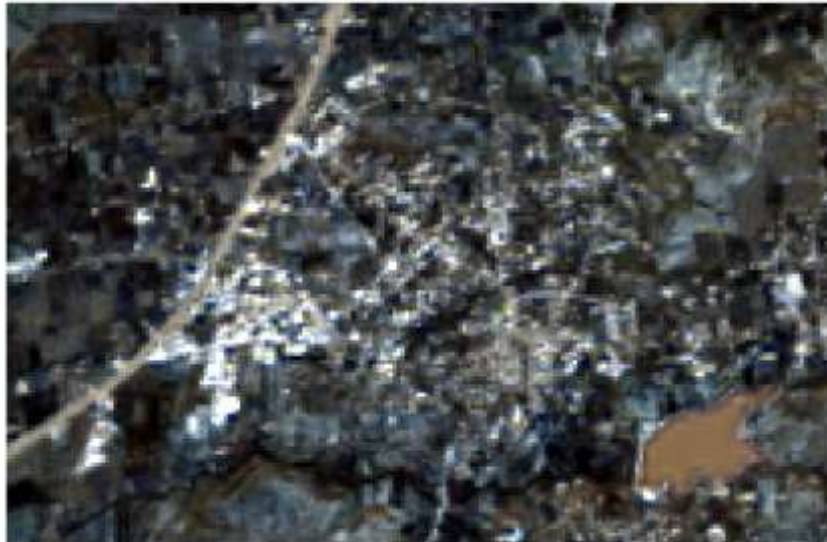
تشمل منطقة الدراسة قرية القنجرة التابعة لمحافظة اللاذقية، من الجمهورية العربية السورية، وهي تقع شمال مدينة اللاذقية على ارتفاع 89 m عن سطح البحر. تتميز بطبيعتها الخضراء ووفرة الماء بالإضافة إلى قربها من شاطئ البحر المتوسط. هي منطقة محدودة الاتساع وشبه مستوية حيث تبلغ أبعادها التقريبية (2×3) km. يوضح الشكل (1) صورة فضائية لمنطقة الدراسة.



الشكل (1). صورة فضائية لمنطقة الدراسة.

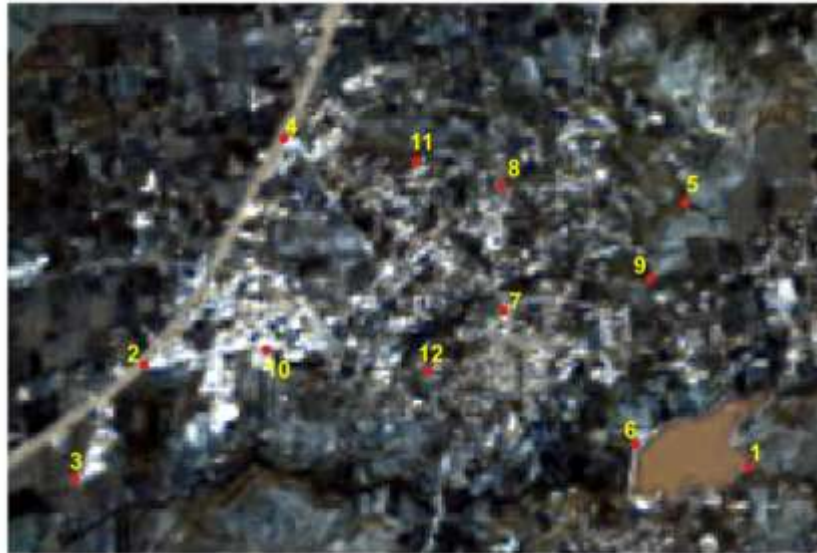
2-البيانات المستخدمة

تم استخدام مرئية فضائية متعددة الطيف مُلتقطة باستخدام القمر الصناعي (Landsat-8)، بتاريخ 1/10/2022 وهي تقع في جملة UTM_Zone_37 مع دقة تمييز مكانية Spatial resolution تساوي 30 m. تمتد هذه المرئية بحيث تشمل منطقة الدراسة إضافة إلى بعض المناطق المجاورة. حيث تم الحصول على هذه المرئية من موقع Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) التابع لوكالة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS. من أجل الحصول على مرئية ذات دقة تمييز مكانية وطيفية Spectral resolution عالية، قمنا بعملية دمج الحزمة ذات دقة تمييز بانكرومترية لا مكانية مرتفعة (15 m) وطيفية منخفضة (Band8)، مع الحزم ذات دقة تمييز طيفية مرتفعة ومكانية منخفضة للمجالات (1,2,3,4,5,7,9) التابعة للمستشعر Operational Land Image (OLI) وذلك باستخدام برنامج Erdas Imagin. يبين الشكل (2) المرئية الفضائية الناتجة.



الشكل (2). المرئية الفضائية الناتجة.

فيما يخص نقاط الضبط Control Points، تم الحصول عليها بمساعدة البرنامج Google Earth، وتم حفظ إحداثياتها الجغرافية ضمن النظام UTM. تم اختيار هذه النقاط بحيث تكون موزعة توزيع هندسي منتظم. أما من حيث العدد، فقد حرصنا على أن يكون العدد كافياً بحيث يمكن لنا أن نجرب مختلف أنواع التحويلات الهندسية، ولهذا اقتنعنا 12 نقطة ضبط واضحة ومميزة على المرئية مثل تقاطعات الطرق. يبين الشكل (3) المرئية الفضائية لمنطقة الدراسة مع توزيع نقاط الضبط، كما يوضح الجدول (1) إحداثيات نقاط الضبط في الجملة UTM_Zone_37.



الشكل (3). المرئية الفضائية لمنطقة الدراسة مع توزيع نقاط الضبط.

الجدول (1). إحداثيات نقاط الضبط في الجملة UTM_Zone_37.

رقم النقطة	X (m)	Y (m)
1	756161	3940602
2	753875	3940804
3	753664	3940396
4	754317	3941643
5	755847	3941506
6	755696	3940643
7	755201	3941087
8	755149	3941522
9	755742	3941223
10	754330	3940907
11	754845	3941605
12	754928	3940863

وأخيراً، قمنا باستخدام مرئية فضائية ذات دقة تمييز مكانية 30 cm كمرجع للمقارنة مع نتائج التصنيف. تم الحصول على هذه المرئية من المؤسسة العامة للاستشعار عن بعد.

3- النماذج التجريبية لتصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية

يتوافر العديد من نماذج التجريبية لتصحيح الهندسي للمرئيات الفضائية نذكر منها:

A. نموذج كثيرات الحدود [10] Polynomials

تستخدم نماذج كثيرات الحدود من اجل ربط إحداثيات نقاط المرئية مع مقابلاتها في نظام إحداثيات مرجعي. ولهذه النماذج شكل معادلات من درجات متعددة. تبين المعادلة (1) الشكل العام لهذه المعادلات:

$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=0}^t \sum_{j=0}^i a_k . X^{i-j} . Y^j \\ y &= \sum_{i=0}^t \sum_{j=0}^i b_k . X^{i-j} . Y^j \end{aligned} \quad (1)$$

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):

$$M = (t + 1) . (t + 2) \quad (2)$$

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

$$N = \frac{(t + 1) . (t + 2)}{2} \quad (3)$$

B. النموذج الإسقاطي [10] Projective

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):

$$\begin{aligned} x &= \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3}{L_7 X + L_8 Y + 1} \\ x &= \frac{L_4 X + L_5 Y + L_6}{L_7 X + L_8 Y + 1} \end{aligned} \quad (4)$$

إنّ النموذجين السابقين لا يأخذان تغيرات المناسيب في المشهد المصور بعين الاعتبار وبالتالي عدم قدرتهما على التخلص من التشوهات بشكل كامل ولذلك فهما نموذجان تجريبيان.

C. الشد المرن Rubber Sheeting [3]

يعتبر التحليل باستخدام العناصر المنتهية Finite elements أداة قوية لحل المسائل الحسابية المعقدة، والتي يمكن توصيفها بواسطة أجزاء صغيرة وبسيطة، 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 المثلاث 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 المثلثات. وفي هذه الحالة، نسمي التحليل بالعناصر المنتهية بالشد المرن، كما يمكن أن يسمى أيضاً بالتصحيح على أساس مثلثاتي وذلك لأن التحويل وإعادة التشكيل يتمان بتطبيق قاعدة تحويل مثلث تلو الآخر.

إن 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.

4- خوارزميات إعادة الاعتيان

يتوافر لدينا العديد من خوارزميات إعادة الاعتيان نذكر منها:

A. طريقة الجار الأقرب [9] Nearest neighbor

تستخدم هذه الطريقة القيمة الرقمية لبكسل المرئية الأصلية الأقرب للموقع الجديد للبكسل في المرئية المصححة. لا تخرب هذه الطريقة القيمة الأصلية للبكسل ولكن يمكن أن تولد تضاعف البكسلات أو فقداً لعدة قيم، بالإضافة لإمكانية توليد مرئية مشوشة.

B. طريقة الاستكمال الخطي الثنائي [9] Bilinear interpolation

تحسب هذه الطريقة المتوسطة الموزونة باستخدام المسافة للبكسلات الأربع الأقرب في المرئية الأصلية من البكسل الجديد. هذه الطريقة تغير القيمة الأصلية للبكسلات، ولكن تولد مرئية ذات مظهر أكثر هدوء.

C. طريقة الالتفاف التكعيبي [5] Cubic convolution

تحسب هذه الطريقة المتوسطة الموزونة باستخدام بلوك من البكسلات حاوٍ على 16 بكسل من المرئية الأصلية وتحيط الموقع الجديد للبكسل الناتج. تولد هذه الطريقة قيمة جديدة للبكسل، ولكن تولد مرئية ذات مظهر أكثر هدوء.

النتائج والمناقشة

من أجل تحقيق أهداف البحث مرّت عملية المعالجة بالخطوات التالية:

1. قياس نقاط الضبط على المرئية Landsat-8 والقيام بالتصحيح الهندسي للمرئية بتطبيق الطرائق ثنائية البعد التجريبية التالية:

(a) طريقة كثيرات الحدود.

(b) طريقة التحويل الإسقاطي.

(c) طريقة الشد المرن.

2. تطبيق خوارزميات إعادة الاعتيان على المرئية المصححة، وتشمل

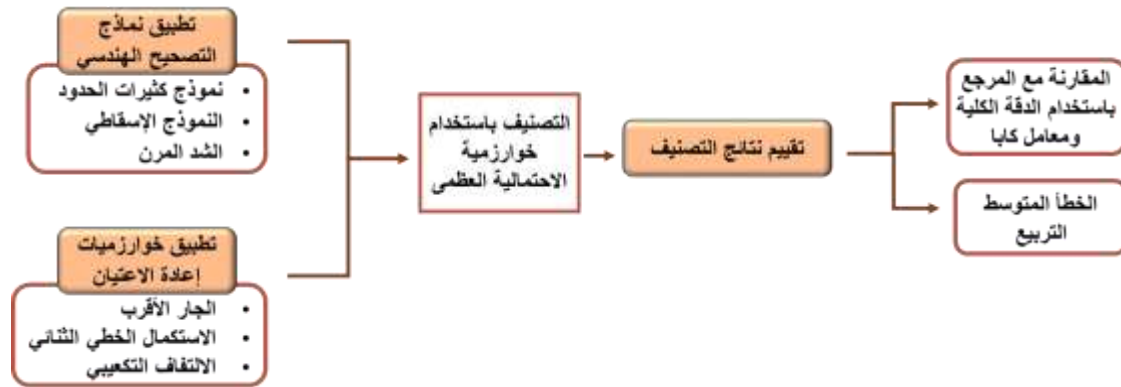
(a) طريقة الجار الأقرب.

(b) طريقة الاستكمال الخطي الثنائي.

(c) طريقة الالتفاف التكعيبي.

3. القيام بعملية التصنيف للمرئيات الناتجة من الخطوة السابقة والبالغ (عددها 15)، مع اعتماد خوارزمية الاحتمالية العظمى في التصنيف.

4. تقييم تأثير كل من نماذج التصحيح الهندسي وخوارزميات إعادة الاعتيان على دقة التصنيف، من خلال الخطأ المتوسط التربيع الكلي Total Root Mean Square، واستخدام مرجع للمقارنة يعتمد على القياسات المشتقة من مصفوفة الخطأ Error Matrix وتشمل معامل كبا Kappa، والدقة الكلية Overall accuracy. نوضح في الشكل (4) منهجية العمل المتبعة. ونشير هنا إلى البرامج المستخدمة في المنهجية وهما برنامج Arc GIS 10.5 بالإضافة لبرنامج Google Earth.



الشكل (4). منهجية العمل المتبعة.

أولاً: تطبيق نماذج التصحيح الهندسي

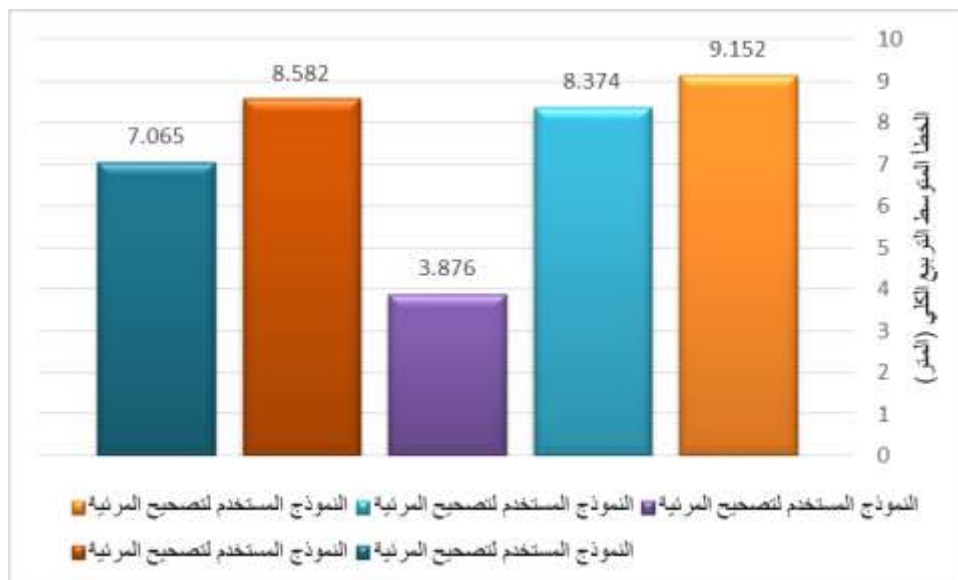
تم قياس نقاط الضبط كلها في مواقعها الصحيحة على المرئية الفضائية ومن ثم تم تنفيذ عملية التصحيح الهندسي لهذه المرئية بالاستعانة بالبرنامج ArcGIS 10.5.

الجدول (2). المرئيات المرجعة وقيم الخطأ المتوسط التربيع الكلي لكل طريقة.

الخطأ المتوسط التربيع الكلي (المتر)	المرئية المرجعة	النموذج المستخدم لعملية التصحيح
9.152		نموذج كثير الحدود من الدرجة الأولى
8.374		نموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية

3.876		نموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة
8.582		النموذج الإسقاطي
7.065		نموذج الشد المرن

كما يبين الشكل (5) مخططاً بيانياً يربط بين نوع التصحيح المستخدم وقيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي.



الشكل (5). الخطأ المتوسط التربيع الكلي لنماذج التصحيح الهندسي.

من خلال دراسة الخطأ المتوسط التربيع الكلي لنماذج التصحيح، نلاحظ مايلي:

1. إنّ النموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة أعطى أقل قيمة للخطأ المتوسط التربيع الذي بلغ $RMS_{Total} = \pm 3.876m$ لكنه في المقابل ولد مرئية مشوهة، ويعود السبب لقلة عدد نقاط الضبط، بالتالي لا يمكن العمل عليها أو إجراء عملية التصنيف. كما أعطى النموذج الإسقاطي ونموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية قيم متقاربة.
2. إنّ طريقة الشد المرن أعطت أفضل دقة بقيمة خطأ متوسط تربيع كلي $RMS_{Total} = \pm 7.065m$ وهي أفضل من نتائج التصحيح بكثير حدود من الدرجة الأولى والثانية ومن التحويل الإسقاطي. لكن يبقى التساؤل المطروح هل يتوافق التصحيح الهندسي الأدق مع نتائج أدق للتصنيف؟ هذا ما سنجيب عليه في القسم التالي.

ثانياً: تصنيف المرئية الفضائية باعتماد نماذج التصحيح وخوارزميات إعادة الاعتيان

اعتمدنا أسلوب التصنيف المراقب الذي يحتاج لتحديد عينات تدريب ممثلة لنمط معروف من غطاء الأرض، كما قمنا بتثبيت عدد ومواقع عينات التدريب ولذلك لضمان عدم إدخال أي عامل مؤثر آخر. تم أخذ مجموعة من عينات التدريب لأربع أصناف وتشمل (الأبنية، الطريق، المياه، والمناطق الزراعية)، مع تحديد طريقة الاحتمالية العظمى في التصنيف.

ثالثاً: تقييم نتائج التصنيف

لتقييم نتائج التصنيف وتقييم تأثير كل من النماذج التجريبية للتصحيح وخوارزميات إعادة الاعتيان قمنا بالمقارنة مع مرجع ذي دقة تمييز مكانية أعلى حيث استخدمنا مرئية فضائية بدقة تمييز 30 cm، ثم قمنا بتحديد نقاط مرجعية معروفة لكل صنف، حيث بلغ عدد النقاط 80 نقطة (20 نقطة لكل صنف). يبين الشكل (23) توزع النقاط في المرئية الفضائية.



الشكل (6). توزع النقاط في المرئية الفضائية.

بعد تحديد النقاط، تتم عملية التقييم من خلال مصفوفة الخطأ Error Matrix التي يتم من خلالها حساب قياسات مختلفة للدقة وتشمل الدقة الكلية Overall accuracy ومعامل كابا Kappa.

جدول (2). قيم الدقة الكلية لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.

التصحيح الهندسي	الدقة الكلية %		
	خوارزمية إعادة الاعتيان		
	الجار الأقرب	الاستكمال الثنائي	الالتفاف التكعيبي
كثير حدود من الدرجة الأولى	86.25	87.5	85
كثير حدود من الدرجة الثانية	88.75	85	83.75
النموذج الإسقاطي	82.5	85	78.75
نموذج الشد المرن	60.7	59.493	59.493

كما يبين الشكل (7) مخططاً بيانياً لقيم الدقة الكلية لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.



الشكل (7). مخطط بياني لقيم الدقة الكلية لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.

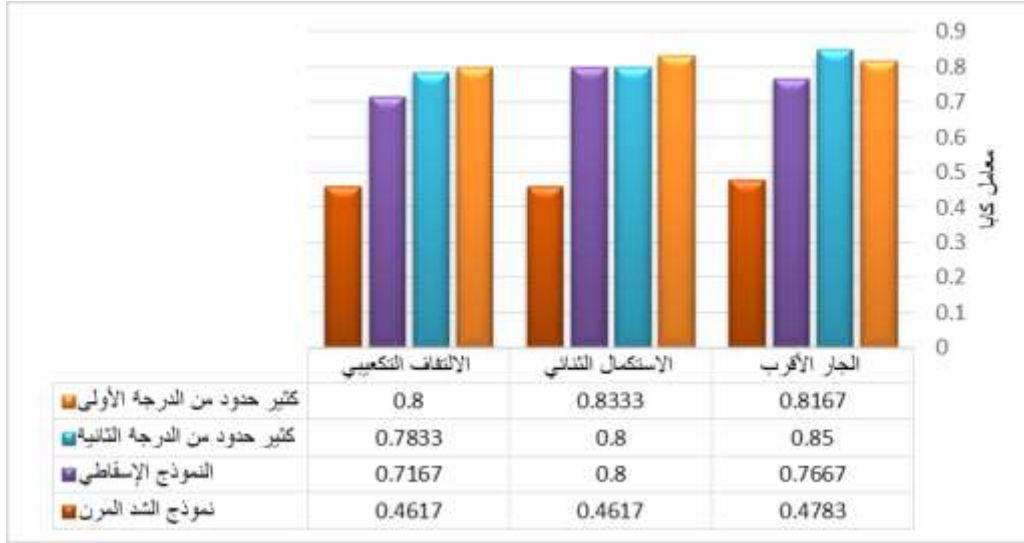
بتحليل النتائج الموضحة في الشكل (7) والجدول (2)، نجد أنّ خوارزمية الجار الأقرب مع النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية أعطى أعلى دقة حيث بلغت الدقة العامة %88.75، تليه خوارزمية الاستكمال الثنائي مع النموذج كثير حدود من الدرجة الأولى بدقة عامة %87.5.

كما أعطت خوارزمية الانزفغ التكعيبي مع النموذج الإسقاطي قيمة مشابهة لخوارزمية الاستكمال الثنائي مع النموذج الإسقاطي وكثير الحدود من الدرجة الثانية، حيث بلغت الدقة العامة %85. وعلى الرغم من أنّ طريقة الشد المرن أعطت أعلى دقة من حيث الخطأ المتوسط التربيع الذي بلغ قيمة $(RMS_T = \pm 7.065m)$ لكنها لم تعط نتائج تصنيف جيدة، حيث تراوحت قيمة الدقة العامة بين %59.493 و %60.7 وهي أقل دقة مقارنة بباقي الطرائق.

الجدول (3). قيم معامل كايا لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.

التصحيح الهندسي	معامل كايا		
	خوارزمية إعادة الاعتيان		
	الجار الأقرب	الاستكمال الثنائي	الانزفغ التكعيبي
كثير حدود من الدرجة الأولى	0.8167	0.8333	0.8
كثير حدود من الدرجة الثانية	0.85	0.8	0.7833
النموذج الإسقاطي	0.7667	0.8	0.7167
نموذج الشد المرن	0.4783	0.4617	0.4617

ويبين الشكل (8) مخططاً بيانياً لقيم الدقة الكلية لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.



الشكل (8). مخططاً بيانياً لقيم معامل كبا لكل خوارزمية مستخدمة مع نموذج التصحيح في عملية التصنيف.

باتباع نفس منهجية التحليل السابقة للنتائج الموضحة في الشكل (8) والجدول (3)، نجد أنّ معامل كبا لخوارزمية الجار الأقرب مع النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية بلغت قيمته 0.85، في حين بلغت قيمته لخوارزمية الاستكمال الثنائي مع النموذج كثير حدود من الدرجة الأولى 0.833. كما أعطت خوارزمية الالتفاف التكعيبي مع النموذج الإسقاطي قيمة مشابهة لخوارزمية الاستكمال الثنائي مع النموذج الإسقاطي وكثير الحدود من الدرجة الثانية، حيث بلغ معامل كبا 0.8.

الاستنتاجات والتوصيات

1. انطلاقاً من الدراسة السابقة، يمكن القول إنه من أجل القيام بعملية تصنيف للمرتبة الفضائية، يجب وضع منهجية معينة تشمل جميع المعايير التي يجب أخذها بعين الاعتبار بدءاً من نوعية البيانات، والنموذج الهندسي وخوارزميات إعادة الاعتيان المستخدمة، بالإضافة لأسلوب التصنيف المعتمد، وذلك لضمان الحصول على أفضل نتائج للتصنيف.
 2. أظهرت النتائج أنّ خوارزمية الجار الأقرب مع النموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية أعطى أعلى دقة حيث بلغت الدقة الكلية 88.75% ومعامل كبا قدره 0.85، بالتالي يمكن القول إنّ خوارزمية الجار الأقرب هي أفضل من خوارزميتي الاستكمال الثنائي والالتفاف التكعيبي.
 3. على الرغم من أن دقة التصحيح الهندسي باستخدام نموذج الشد المرن ($RMS_T = \pm 7.065m$) كانت هي الأفضل مقارنة مع نماذج التصحيح كثير الحدود والإسقاطي، لم تكن نتائج التصنيف هي الأفضل، حيث تراوحت قيمة الدقة الكلية بين (59.493% و 60.7%) ومعامل كبا بين (0.46 و 0.47) مما يعني أن التصحيح الهندسي الأدق لا يتوافق مع النتائج الأدق للتصنيف.
- نوصي في نهاية البحث بما يلي:

1. يجب تأمين عدد كاف من نقاط الضبط موزعة بشكل موحد على كامل المشهد وذلك لضمان الحصول على نتائج أدق عند تطبيق نماذج التصحيح كنموذج كثير الحدود من الدرجة الثالثة ونموذج الشد المرن وبالتالي الحصول على نتائج تصنيف أدق.
2. يمكن اعتماد خوارزمية الجار الأقرب كحل جيد لمسألة تصنيف الغطاء الأرضي مقارنة بخوارزمتي الاستكمال الثنائي والانتفاف التكعيبي.

References:

- [1] TAHA, L. G. El-Deen - *Classifier ensemble for improving land cover classification*-. International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, Vol 10, 2016.
- [2] AFWANI, M. Z., DANOEDORO, P- *The effects of polynomial interpolation and resampling methods in geometric correction on the land-cover classification accuracy of Landsat-8 OLI imagery: A case study of KulonProgo area, Yogyakarta*-. In Sixth Geoinformation Science Symposium, Vol 11311, 2019, pp. 232-240.
- [3] AL KHALIL, O., DEEB, F., DAYOUB, W., ALI, A- *Proposition of a methodology to choice the appropriate empirical for geometric correction of satellite images*-. Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series, Vol 39, No 5, 2017. (Arabic).
- [4] AL KHALIL, O., ALI, A., KHOULOD, A- *Evaluation of the effect of control points pattern on the geometric deformations correction in satellite images*-. Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series, Vol 39, No 6, 2017. (Arabic).
- [5] BABOO, D. S. S., DEVI, M. R- *An analysis of different resampling methods in Coimbatore, District*-. Global Journal of Computer Science and Technology, Vol 10, 2010, PP. 61–66.
- [6] AKGUN, A., ERONAT, A., TÜRK, N- *Comparing Different Satellite Image Classification Methods: An Application in Ayvalik District, Western Turkey*-. ISPRS Archives, Vol XXXV, No 2, 2004, pp.1091-1097.
- [7] CAVUR, M., DUZGUN, H.S., KEMEC, S., DEMIRKAN, D.C- *Land use and land cover classification of sentinel 2-a: St Petersburg case study*-. ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens, Vol XLII-1/W2, 2019, PP. 13-16.
- [8] TAWFEIK, M., ELHIFNAW, H., HAMZA. E., SHAWKY, A- *Determination of suitable requirements for geometric correction of remote sensing satellite images when using ground control points*-. International Research Journal of Engineering and Technology, Vol 3, 2017, pp.54-62.
- [9] DAVE, C. P., JOSHI, R., SRIVASTAVA, S. S- *A survey on geometric correction of satellite imagery*-. International Journal of Computer Applications, Vol 116, No 12, 2015.
- [10] Bannari, A., Morin, D., Bénié, G. B., Bonn, F. J- *A theoretical review of different mathematical models of geometric corrections applied to remote sensing images*-. Remote sensing reviews, Vol 13, 1995, pp.27-47.