دقة الطريقة المثلثاتية في رقمنة العقارات الصغيرة: دراسة الانحرافات في المساحة وتأثير مقياس الرسم (1:500 نموذجًا)

حسن الإبراهيم، د. عباس الحاج علي عباس، د.م. رامي بدوي

كلية الهندسة المدنية، جامعة إدلب

الملخص:

في إطار التحول الرقمي وإعادة بناء البنية العقارية في سوريا بعد عام 2025، تسعى هذه الدراسة إلى تقييم دقة طريقة المثلثات في رقمنة العقارات الصغيرة وذلك انطلاقًا من أهمية هذه الفئة من العقارات في توثيق الملكيات وحل النزاعات المجتمعية. اعتمد البحث على دراسة تطبيقية على ثلاثة مخططات مساحية من مناطق عقارية مختلفة من محافظة إدلب ، إذ اختيرت عينة من المخططات الورقية القديمة ورقمنتها بواسطة برنامج AutoCAD Raster Design وطُبقت تقنية الإسناد الجغرافي بواسطة نقاط تحكم أرضية(Ground Control Points (GCPs، و حُسبت مؤشرات الدقة (الخطأ التربيعي المتوسط والانحراف المعياري) لتقدير الانحرافات المساحية بين السجلات الورقية والنتائج الرقمية. أظهرت النتائج أن الانحرافات لم تتجاوز 2% في العقارات الصغيرة، ما يثبت فعالية برنامج AutoCAD Raster بواسطة طريقة المثلثات في معالجة التشوهات الورقية والحفاظ على الشكل الهندسي للأراضي.كما تؤكد هذه النتائج أن اعتماد طريقة المثلثات في رقمنة العقارات الصغيرة يُعد أداة علمية دقيقة يمكن تعميمها على القرى السورية المماثلة، بما يعزز من جودة السجلات العقارية الرقمية.

الكلمات المفتاحية :رقمنة العقارات، طريقة المثلثات، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، دقة المساحات، الانحراف المعياري SD ، RMSE.

The Accuracy of the Triangular Method in Digitizing Small Cadastral Parcels:

A Study of Area Deviations and the Impact of Scale (1:500 as a Case Study)

Eng. Hasan Al-Ibrahim, Dr. Rami Badaw

University of Idlib, Faculty of Civil Engineering

Abstract:

Within the framework of digital transformation and the reconstruction of Syria's cadastral infrastructure after 2025, this study aims to evaluate the accuracy of the Triangulation Method in digitizing small cadastral parcels, in recognition of the importance of this property category in documenting ownership and resolving community disputes. The research is based on an applied study conducted on three cadastral maps from different cadastral areas within Idlib Governorate. A sample of old paper maps was selected and digitized using AutoCAD Raster Design software. The georeferencing process was performed using Ground Control Points (GCPs), and accuracy indicators—including the Root Mean Square Error (RMSE) and Standard Deviation (SD)—were computed to estimate spatial deviations between paper records and digital outputs.

The results indicated that deviations did not exceed 2% in small parcels, confirming the effectiveness of AutoCAD Raster Design, when employing the Triangulation Method, in correcting paper distortions and preserving the geometric integrity of land parcels. These findings affirm that adopting the Triangulation Method for the digitization of small cadastral parcels constitutes a precise and reliable scientific approach that can be generalized to similar Syrian villages, thereby enhancing the overall quality of digital cadastral records.

Keywords: cadastral digitization, Triangulation Method, Geographic Information Systems (GIS), area accuracy, Standard Deviation (SD), Root Mean Square Error (RMSE).

مقدمة:

في ظل التحول الرقمي المتسارع الذي يشهده قطاع إدارة الأراضي، أصبحت رقمنة السجلات العقارية ضرورة لا خياراً، لما لها من دور محوري في تحسين كفاءة التخطيط العمراني، وتسهيل فض النزاعات العقارية، وتعزيز الشفافية في إدارة الملكيات. وعلى الرغم من التقدم الكبير في مجال الرقمنة وبرمجيات التحليل المكاني، لا تزال العديد من السجلات العقارية تعتمد على خرائط ورقية قديمة تعاني من التلف الفيزيائي، وسوء الإسناد، وتراكم الأخطاء الناتجة عن التحديث اليدوي أو نقص المعايير الموحدة. ويمثل هذا الوضع عائقاً جوهرياً أمام تحقيق تكامل البيانات بين الجهات المختلفة، كما يؤدي إلى فجوات مكانية ملحوظة بين البيانات الورقية والواقع الميداني.

تسعى هذه الورقة البحثية إلى تقديم تحليل كمي منهجي للفروقات بين المساحات الورقية والمساحات الناتجة عن الرقمنة، عبر اعتماد مقاربات هندسية دقيقة تعتمد على الإسناد الجغرافي، ومعادلات التحويل الرياضي.

تعتمد هذه الدراسة منهجية طريقة المثلثات في الرقمنة والإسناد، والتي اختيرت لأنها تعمل على الحفاظ على الشكل الهندسي للعقارات الصغيرة، مقارنةً بالطرق الأخرى مثل طريقة كثيرات الحدود(Polynomial Method) ، تُعرف طريقة المثلثات بدقتها في التعامل مع الانزياحات الموضعية الناتجة عن الانكماش أو التمدد في الخرائط الورقية، ما يجعلها مناسبة للرقمنة الدقيقة التي تُراعى فيها التفاصيل المحلية لكل نقطة حدودية.

ولإضفاء الطابع العملي على هذه الدراسة، اختيرت عيّنة من المخططات العقارية ذات مقياس 1:500، إذ رُقمنت يدويًا ببرامج متخصصة، ثم حُسِبَ الخطأ التربيعي المتوسط بين المساحات الأصلية والرقمية، وتحليل التباينات الناتجة وفق مؤشرات إحصائية دقيقة. ومن خلال هذا النهج، تهدف الدراسة إلى تقديم أداة علمية موثوقة يمكن للمهندسين الطبوغرافيين ، وخبراء نظم المعلومات الجغرافية الاعتماد

عليها لتقدير مدى دقة السجلات الرقمية، وتحديد الحالات التي تستوجب مراجعة ميدانية أو إعادة الإسناد.

إن القيمة العلمية لهذا البحث لا تقتصر على دقة الأرقام، بل تتجاوز ذلك إلى دعم اتخاذ القرار في مجالات التخطيط العمراني، والتحول الرقمي للمؤسسات العقارية، وفض النزاعات القانونية على الملكيات. كما يُمثّل العمل دعوة للباحثين والمهندسين في مجالي المساحة ونظم المعلومات الجغرافية إلى التركيز على العقارات الصغيرة كأداة اختبار فعالة لتقييم كفاءة عمليات الرقمنة، ووضع معايير قانونية لجودة البيانات العقارية الرقمية.

الدراسات المرجعية:

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً من الأوساط البحثية حول العالم بموضوع رقمنة السجلات العقارية وتقييم فجوات الدقة الناتجة عن التحول من الوثائق الورقية إلى النظم الرقمية .ويُعزى هذا الاهتمام إلى تصاعد الحاجة إلى قواعد بيانات مكانية موحّدة وموثوقة، يمكن الاعتماد عليها في تخطيط التنمية، فضلاً عن تسوية النزاعات العقارية وتعزيز الحوكمة الشفافة للأراضي.

إن الاعتماد المطلق على الخرائط الورقية التقليدية يؤدي إلى فروقات جوهرية بين المساحات القانونية والمسجلة من جهة، والواقع الجغرافي الميداني من جهة أخرى . وقد شكلت الدراسات السورية إسهاماً مهماً في تطوير تقنيات الرقمنة والإسناد الجغرافي و أجرى (الحلاق، 2018). دراسة في جامعة دمشق حول تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الأراضي وركزت على معالجة التشوهات في الخرائط الورقية القديمة بواسطة تقنيات الإسناد الجغرافي المتقدمة. كما قدمت (الهيئة العامة للمساحة، 2015). في دليلها الفني للأعمال المساحية إطاراً منهجياً معيارياً لعمليات الرقمنة في سوريا وشمل معايير دقة نقاط التحكم الأرضية وطرق معالجة التشوهات الورقية.

في سياق متصل تناولت دراسة(قاسم، 2010). في جامعة تشرين استعمال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الأملاك العقارية، وأكدت على أهمية الدقة

المساحية في الرقمنة خاصةً للعقارات الصغيرة. بينما اهتمت دراسة(العلي، 2015). في جامعة البعث بدقة الرقمنة في التحويل من الخرائط الورقية إلى النظم الرقمية وحللت العوامل المؤثرة في دقة العمليات المساحية بمختلف مقاييس الرسم.

وأوضحت دراسة للباحثين (تونغ، ليو، وونغ، 2001). أن التباينات في المساحة بين النسخ الورقية والرقمية غالباً ما تنشأ نتيجة تراكم الأخطاء في مراحل المسح و الإسناد أو الرقمنة اليدوية، وأوصوا بتطبيق نماذج ضبط هندسي إحصائي للحد من تلك الفروقات وتحسين التماسك بين العلاقات المكانية أو المجاورة بين العناصر أو ما يعرف بطوبولوجيا(Topology) البيانات.

كما قدّمت دراسة(لبونورا، 2009). إطاراً عملياً لرقمنة الخرائط العقارية ذات الأحجام الكبيرة والتاريخية بماسحات عالية الدقة وبرمجيات GIS مفتوحة المصدر، وتمكنت من تقليص فجوة الدقة باستخدام تنسيقات ضوئية محسّنة مثلJPEG 2000 ، وربط النتائج بمنصات WebGIS لإتاحة الوصول العام للبيانات.

وفي السياق ذاته، قامت دراسة أجريت في الهند (كومار وآخرون، 2013). بمقارنة دقيقة بين المساحات القانونية والرقمية باستعمال نقاط تحكم أرضية وصور فضائية، لِتُطَبّقَ لاحقاً أساليب ضبط مثلRubber Sheet Adjustment ، إذ أظهرت النتائج فروقات واضحة في المساحات الصغيرة (تجاوزت 16%) مقارنة بالمساحات الكبيرة (أقل من 2%) ، ما يبرز أهمية دقة الرقمنة في المناطق متناهية الصغر.

على مستوى الحلول التقنية الحديثة، استعملت أبحاث (سابكوتا، بهاتا، 2014) أدوات استشعار ضوئية دقيقة، ونماذج تحليل طوبولوجي تعتمد على برامج GISوCAD ، ما ساعد في تطوير رقمنة موحّد وخفض التناقضات في البيانات. بينما اتجه باحثون مثل (لأشنا وآخرون،2024) إلى إدماج خوارزميات الذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبية التلافيفية CNNs (Convolutional Neural Networks) في عمليات استخراج الحدود والسمات العقارية من الخرائط الورقية، ما مكّن من تحقيق دقة رقمية قابلة للتحديث اللحظي وتقليص التدخل اليدوي.

أما فيما يتعلق بقياس الفروقات الكمية بين الرقمنة والواقع، فقد أظهرت دراسة (تيكافيتش وآخرون، 2023) أن مؤشر الدقة Root Mean Square Error (RMSE) بين الإحداثيات الورقية والميدانية بلغ نحو (48–56) سم في بعض المناطق الأوروبية (تحديدا في سلوفينيا وشمال مقدونيا)، بينما بلغ RMSE للمساحات نحو 0.88 %، وعلى الرغم من أن النسبة المئوية للخطأ تبدو صغيرة (أقل من 2%)، إلا أن الدراسة تؤكد أن هذه الفروق تخلق تحديات عملية وقانونية تستدعي التدخل الإحصائي والهندسي لتحسين الدقة.

هذه الدراسات مجتمعةً تشكل أساساً علمياً محلياً للبحث الحالي، وتؤكد على أهمية توطين التقنيات الرقمية في البيئة السورية، مع مراعاة الخصائص المحلية للخرائط العقارية السورية والبنية التحتية المساحية المتاحة.

وفي هذه المعطيات، يتبيّن أن الرقمنة الدقيقة، عندما تُنفذ وفق أسس هندسية وعلمية صحيحة، تُعدّ أداة فعالة لتقليص الفجوات بين البيانات الورقية والواقع الميداني. إلا أن ذلك لا يُمكن تحقيقه دون معالجة منهجية للعوامل المؤثرة في الدقة مثل جودة الخرائط الأصلية و أدوات الرقمنة و تقنيات الإسناد والتكامل مع البيانات الميدانية. وتأسيسًا على ذلك، تُسهم هذه الورقة في استكمال مسار البحث من خلال تحليل كمي دقيق للفجوات بين السجلات الورقية والواقع ضمن نموذج تطبيقي محلي وتقديم مؤشرات عملية قابلة للقياس لإثبات أثر الرقمنة في توحيد وإصلاح السجلات العقارية.

المشكلة وموضوع البحث:

رغم ما شهده العالم من تطور ملحوظ في تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأدوات التحليل المكاني، لا تزال المخططات العقارية الورقية تمثل المصدر الأساسي للبيانات العقارية في العديد من الدول، لا سيما في سوريا. ومع أن هذه الوثائق تؤدي مهمةً رئيسيةً في حفظ الحقوق العقارية، إلا أنها تعاني من مشكلات جوهرية على المستويين الهندسي والقانوني، خاصةً عندما يتعلق الأمر بالعقارات الصغيرة ذات مقياس الرسم (1:500) والتي تتطلب أعلى درجات الدقة في التمثيل المكاني والمساحي.

تتمثل أبرز المشكلات الفنية في أن المخططات الورقية القديمة غالباً ما تتعرض لتشوهات فيزيائية مع مرور الزمن، مثل التمزق و الانكماش وهذه عوامل تؤدي إلى انحرافات في خطوط الحدود الأصلية الذي يصعّب عملية الرقمنة الدقيقة. يضاف إلى ذلك اعتماد عمليات التحديث السابقة على أساليب قياس يدوية تفتقر إلى الضوابط الموحدة، ما نتج عنه أخطاء تراكمية في تسجيل الأطوال والزوايا والمساحات، خاصةً في المقاسم العقارية ذات الأبعاد الصغيرة التي تتأثر بأبسط الانزياحات.

في هذا السياق، تبرز الحاجة إلى تطوير منهجية علمية دقيقة لرقمنة هذه المخططات، لا تُعالج فقط الشكل الهندسي العام بل تضمن أيضاً التمثيل العددي الدقيق للمساحات وذلك مع تصحيح الأخطاء الناتجة عن التشوه الورقي أو القياس اليدوي. وهنا يأتي موضوع هذا البحث الذي يسعى إلى دراسة فعالية طريقة المثلثات (Triangular Method) في معالجة الانحرافات الموضعية أثناء تحويل الخرائط الورقية إلى نسخ رقمية دقيقة.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم دقة هذه الطريقة في رقمنة العقارات الصغيرة باستخدام مقياس (1:500) وذلك من خلال تطبيقها على مجموعة مختارة من المخططات ومقارنة النتائج الرقمية الناتجة مع السجلات الرسمية المعتمدة. ويتم هذا التقييم بمؤشرات إحصائية موثوقة تعطي صورة كمية واضحة عن مدى اقتراب الرقمنة من الواقع الفعلي.

يُركّز البحث كذلك على تحديد مدى تأثير العوامل الفيزيائية للمخطط (كالتمزق والانكماش) على النتائج الرقمية. كما يستعرض إمكانيات تصحيح هذه الانحرافات ويتيح اعتماد هذه المنهجية إمكانية تعميمها كأداة معيارية لتحديث السجلات العقارية في المناطق التي ما تزال تعتمد النظم الورقية.

منطقة العمل والبحث:

اختيرت مخططات من ثلاث مناطق عقارية هي منطقة إدلب الثالثة والرابعة ومنطقة معرزيتا الواقعة في ريف محافظة إدلب مجالاً تطبيقياً لهذه الدراسة،لاختبار دقة الرقمنة في العقارات الصغيرة، التي تتأثر بشكل ملحوظ بالتشوّهات الورقية والانحرافات، ما يعزّز من قابلية تعميم نتائج الدراسة لاحقًا على نطاق أوسع.

الأدوات والمواد المستخدمة:

لتحقيق أهداف هذا البحث وتنفيذ عملية الرقمنة بدقة عالية، استُعمِلت مجموعة متكاملة من الأدوات التقنية والهندسية التي تُمكّن من معالجة المخططات الورقية وتحويلها إلى صيغ رقمية قابلة للتحليل المكاني. اختيرت هذه الأدوات بعناية لتوفير توازن بين الكفاءة والدقة، مع ضمان توافقها مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

الماسح الضوئي Epson Expression 12000XL:

اعتُمد على ماسح ضوئي احترافي من طراز Epson Expression 12000XL، والذي يُعد من الأجهزة المخصصة لمسح الوثائق كبيرة الحجم والخرائط بدقة عالية. وضُبِطَ الجهاز للعمل بدقة 600 نقطة في البوصة(dpi) ، وهي دقة تضمن الحفاظ على أدق التفاصيل الهندسية في المخططات الورقية، مثل رؤوس الزوايا، والحدود، والكتابات الصغيرة. تسمح هذه الدقة باستخراج صور نقطية واضحة يمكن استعمالها لاحقاً في الرقمنة والتحليل دون فقدان المعلومات البصرية أو التعرّض لانحرافات بصرية ناتجة عن انخفاض جودة الصورة. وتُعد هذه المرحلة ضرورية لتقليل نسبة الانحرافات الناتجة عن المسح الرقمي، وهي تمهيد أساسي لنجاح خطوات الإسناد الجغرافي اللاحقة.

برنامج AutoCAD Raster Design 2016

بعد الانتهاء من المسح الضوئي، تُستورد الصور النقطية للمخططات الورقية إلى بيئة AutoCAD Raster Design 2016، الذي يوفر إمكانيات متقدمة في التعامل مع الخرائط النقطية ضمن واجهة أوتوكاد الهندسية. ويتيح هذا البرنامج أدوات دقيقة لتتبع الحدود يدويًا، وتحويل الخطوط النقطية إلى عناصر خطية(Vector) ، مع إمكانية تطبيق التحويلات الهندسية اللازمة لتقويم الانحرافات في الصور.

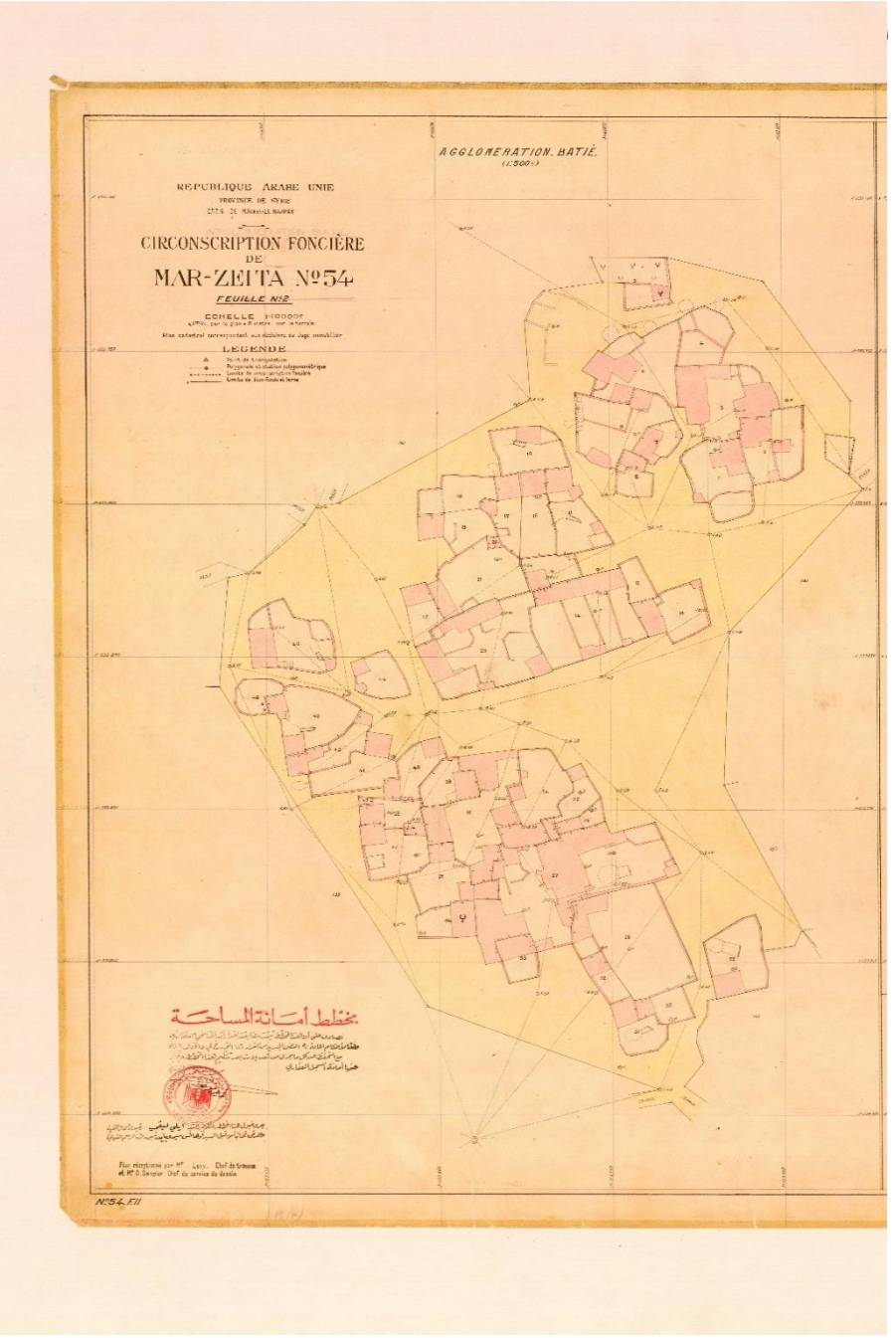
المخططات الورقية ذات مقياس رسم 1:500

تمثل المادة الأساسية للدراسة ثلاثة مخططات مساحية حالتها الفيزيائية مختلفة إذ اختير مخطط بحالة سيئة وتعرض لتآكل في بعض أجزائه كما في المخطط رقم (1) من المنطقة العقارية إدلب الرابعة كما يبين الشكل (1)

و اختير مخطط تعرَّض لبعض التشوهات نتيجة سوء الحفظ وهو المخطط رقم (2) من المنطقة العقارية إدلب الثالثة كما يظهر في الشكل (2) و اختير مخطط بحالة فيزيائية جيدة وهو المخطط رقم (2) من المنطقة العقارية معرزيتا الشكل (3) وهذه المخططات جميعها مرسومة بمقياس (1:500)، وهو المقياس المعتمد في توثيق العقارات الصغيرة و اختير هذا المقياس تحديداً نظراً لكون الانحرافات التي قد تمر دون ملاحظة في المقاييس الأكبر (مثل 1:2000) تصبح ملموسة ومؤثرة في هذا النوع من المخططات. يتطلّب هذا المقياس دقة عالية في التمثيل، ومن ثم فإنَّ بيئة اختبار مثالية لتقنيات الرقمنة الدقيقة .

VILLE de HUE N°31
ORDONCEPTION IV

الشكل (2) المخطط رقم 2 من المنطقة العقارية إدلب الثالثة رقم 30



الشكل (3) المخطط رقم 2 منطقة عقارية معرزيتا رقم 54

طريقة البحث:

تبدأ عملية الرقمنة بمسح المخطط بدقة لا تقل عن 600 dpi وبصيغة متوافقة مع AutoCAD مثل TIFF أو JPEG بعد ذلك تُدرج الصورة في بيئة AutoCAD Rasterعبر الأمر (INSERT → Raster Image Reference) ويتم ضبط الواحدات المستعملة وهي (Meter, Grad) وضبط طريقة إدخال الإحداثيات (Cartesian Format) ثم تُنقل الصورة بالامر Match إلى مكانها على شبكة الإحداثيات السورية ويُعد هذا النقل مرحلة أولية قبل الإسناد الجغرافي الدقيق.

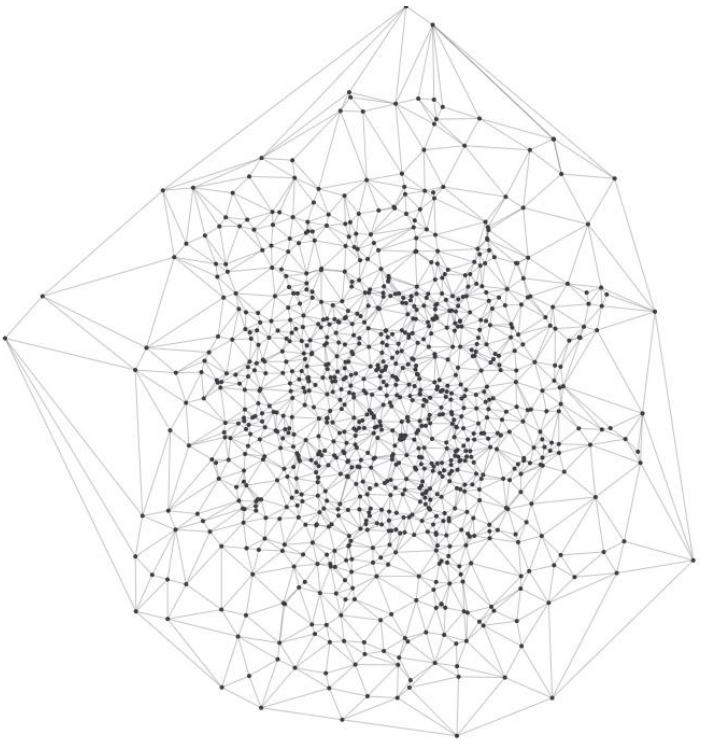
في الخطوة التالية، تُنفَّذ عملية تحديد نقاط التحكم الأرضية داخل الصورة وهي عبارة عن مراصد مساحية معلومة الإحداثيات والمسجلة في دفاتر الأرصاد في دائرة المساحة و يُراعى عند اختيار نقاط التحكم أن تكون موزعة بشكل متوازن حول العقارات المدروسة لتقليل التشوه الهندسي الناتج عن عمليات التحويل. بعد اختيار النقاط تُدخل إحداثياتها الحقيقية بأداة Rubbersheet ضمن قائمة Raster Tools → Georeference.

ضمن خيارات مربع الحوار Rubbersheet يوجد طريقتان لمعالجة الصورة وهما (Triangular, Polynomial) .

ستُعتمد طريقة المثلثات (Triangular Method) إذ تُقَسّم الصورة إلى شبكة من المثلثات الصغيرة المستندة إلى نقاط التحكم، ما يقلل من التشوهات المحلية ويوفر دقة أعلى في المناطق غير المتجانسة هندسياً.

و تستند هذه الطريقة إلى مبدأ مثلثات ديلوني (Delaunay Triangulation) فبعد تحديد مجموعة من نقاط التحكم المشتركة بين الصورة الممسوحة والإحداثيات الحقيقية، تُنشأ شبكة مثلثات تربط بين هذه النقاط. كل مثلث يُعد وحدة مستقلة يجري عليها تحويل هندسي محلي لتصحيح موقع النقاط الداخلية ضمن المثلث وعندما تُطبَّق هذه التحويلات على كامل الصورة، نحصل على

نتيجة دقيقة تسمح بتصحيح التشوهات الموضعية الصغيرة ويبين الشكل (4) شبكة مثلثات Delaunay.



الشكل (4) شبكة مثلثات Delaunay تقع نقاط التحكم عند رؤوس المثلثات.

ويمكن استعمال نوعين من نقاط التحكم داخل بيئة AutoCAD Raster

Grid Points :وهي نقاط تقاطع شبكة الإحداثيات المطبوعة على المخطط الورقي، وتستعمل عندما تكون الشبكة واضحة وغير مشوهة.

Add Points :وهي نقاط مراصد مساحية معلومة الإحداثيات مسجلة في دائرة المساحة و تُضاف يدوياً عند غياب أو تشوه شبكة الإحداثيات الأصلية بسبب تقادم أو سوء حفظ المخطط.

يُختار النوع الأنسب بحسب الحالة الفيزيائية للمخطط الورقي، إذ إنه في بعض الحالات تكون شبكة الإحداثيات واضحة ومكتملة ما يسمح بالاعتماد على

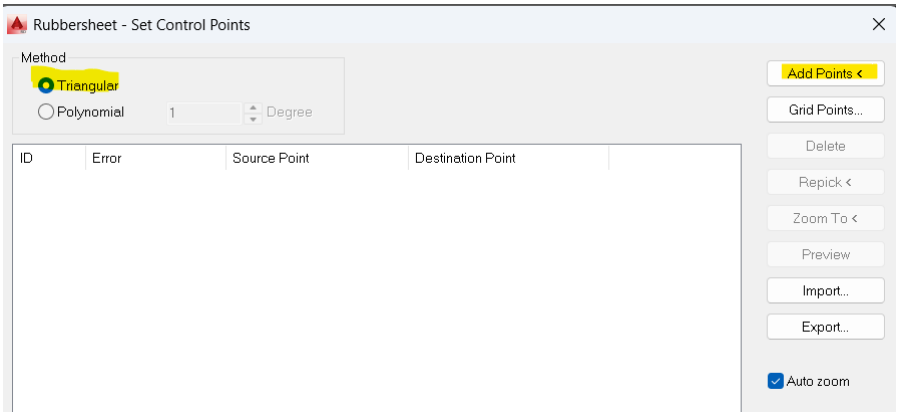
Grid Points، بينما في حالات أخرى تكون الشبكة قد تضررت جزئياً أو كلياً ليستعمل Add Points لتحقيق الإسناد المكاني الصحيح.

دراسة المخطط رقم (1) من المنطقة العقارية إدلب الرابعة رقم 31 :

بعد مسح المخطط الشكل رقم (2) بدقة لا تقل عن 600 dpi يُدرج الصورة في بيئة AutoCAD Raster عبر الأمر (INSERT → Raster Image) ونقوم بنقل الصورة بشكل مبدئي باستخدام الأمر Match إلى مكانها على شبكة الإحداثيات ثم تُحدّد نقاط التحكم الأرضية وهي مراصد مساحية معلومة الإحداثيات مسجلة في دفاتر الأرصاد في دائرة المساحة كما يبين في الشكل (5) توزع نقاط التحكم بشكل متوازن حول المنطقة المدروسة.

الشكل (5) توزع نقاط التحكم على مخطط رقم 1 المنطقة العقارية إدلب الرابعة

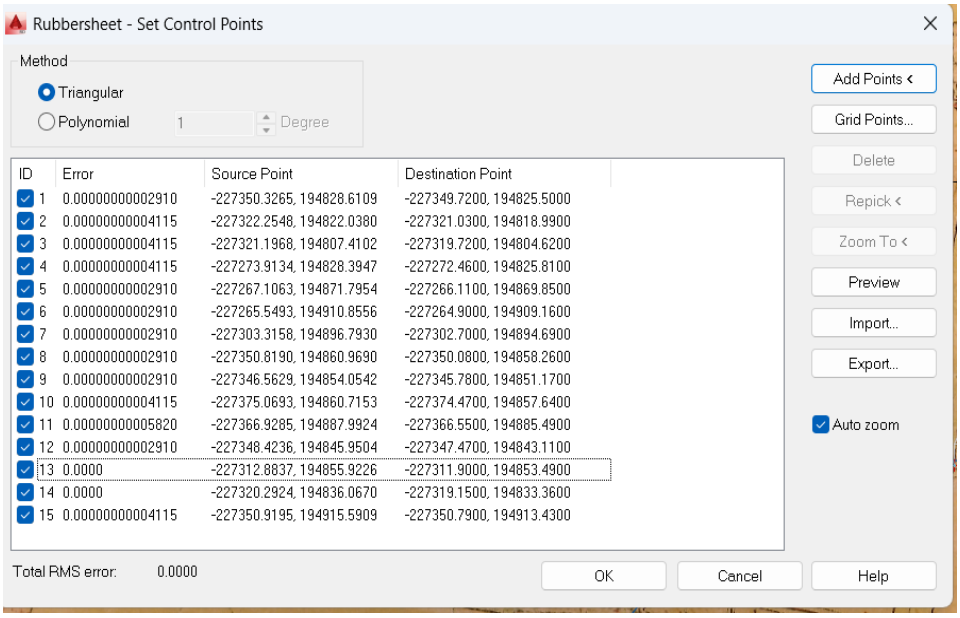
ضمن خيارات مربع الحوار Rubbersheet المبينة في الشكل (6) نختار الطريقة Triangular .



الشكل (6) خيارات مربع الحوار Rubbersheet

ونضغط على Add Points لتحديد نقاط التحكم على نقاط المراصد المبينة في الشكل (5) وتم الاعتماد على نقاط المراصد لأن الحالة الفيزيائية للمخطط المدروس سيئة وقد تشوهت أجزاء منه وتمددت كما هو مبين سابقا في الشكل (1) و كانت شبكة الإحداثيات غير واضحة.

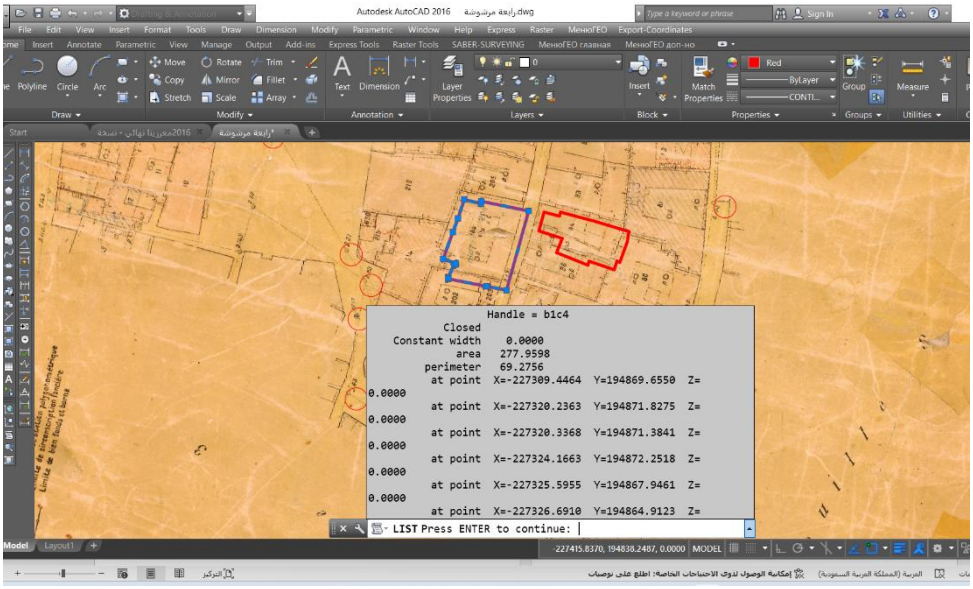
بعد تحديد نقاط التحكم يظهر مربع الحوار المبين في الشكل (7) ويبين إحداثيات النقاط قبل وبعد التعديل كما يبين الخطأ الذي يعبر عن دقة التحويل الرياضي و مدى نجاح النموذج الرياضي في مطابقة النقاط وتصحيح المخطط.



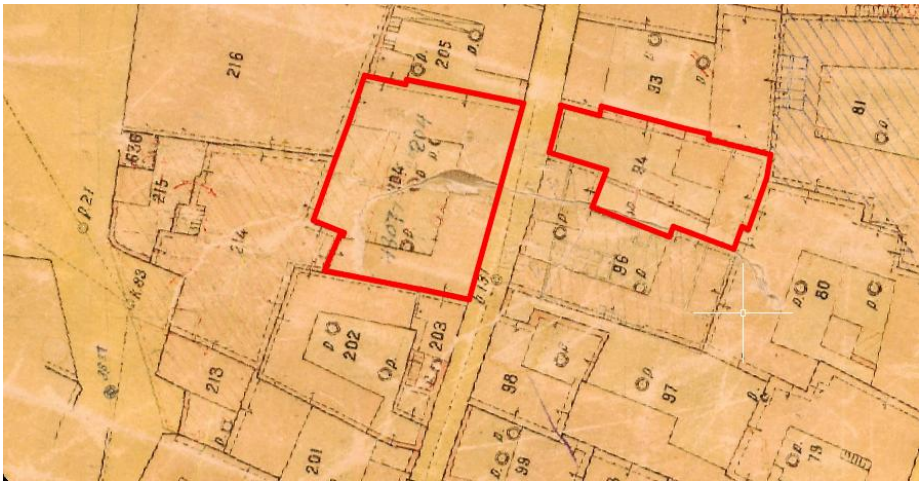
الشكل (7) مربع حوار قيم الأخطاء لمخطط رقم 1 المنطقة العقارية إدلب الرابعة

بعد معالجة المخطط تمت رقمنة العقارات المدروسة و رسم خطوط على حدود العقارات والمقاسم كما يظهر في الشكل (8) وحُسِبت مساحة هذه العقارات كما يبين الشكل (9) مساحة العقار رقم 204 منطقة عقارية إدلب رابعة.

الشكل (8) حدود العقارات (94-204) منطقة عقارية إدلب رابعة بعد الرقمنة

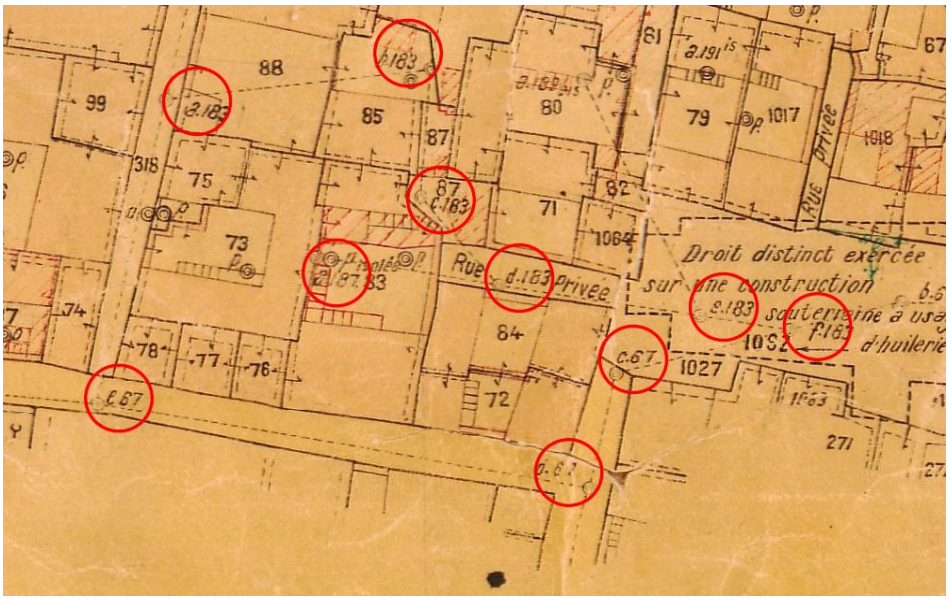


الشكل (9) مساحة العقار رقم 204 منطقة عقارية إدلب رابعة بعد الرقمنة

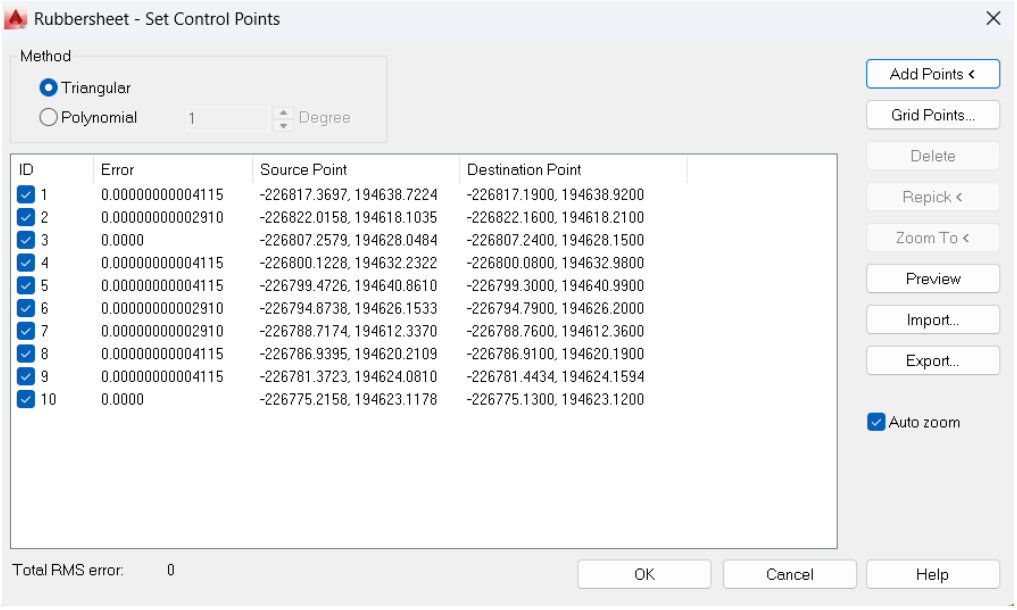


دراسة المخطط رقم 2 من المنطقة العقارية إدلب الثالثة رقم 30:

بعد مسح المخطط المبين في الشكل رقم (2) و إدراجه في بيئة AutoCAD Raster تُحدد نقاط التحكم الأرضية داخل الصورة وهي كذلك مراصد مساحية معلومة الإحداثيات مسجلة في دفاتر الأرصاد في دائرة المساحة بسبب عدم وضوح شبكة الإحداثيات .

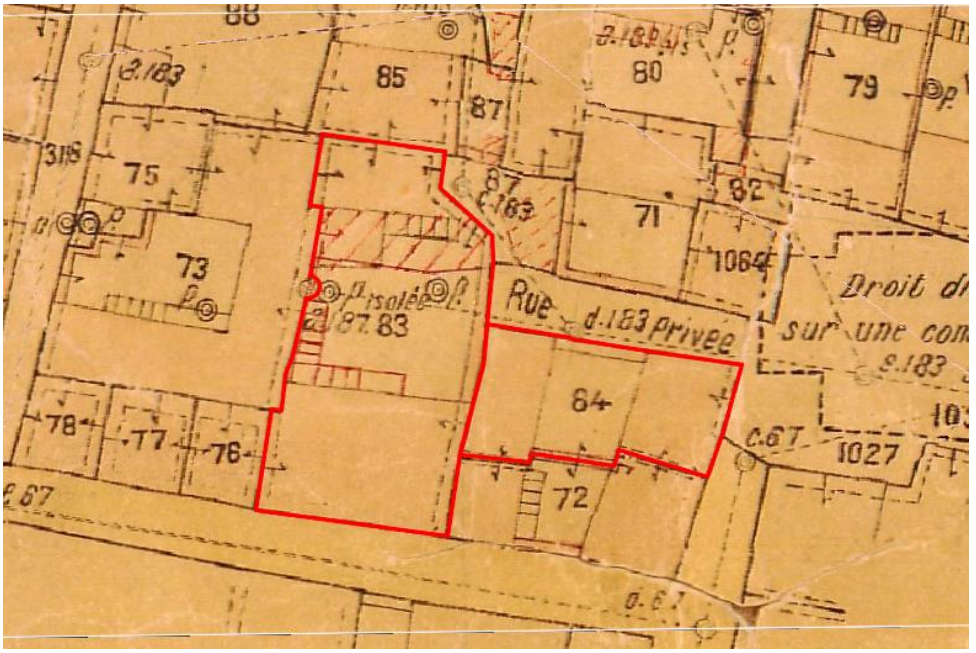


الشكل (10) توزع نقاط التحكم على مخطط رقم 2 المنطقة العقارية إدلب ثالثة



الشكل (11) مربع حوار لقيم الأخطاء لمخطط

بعد معالجة المخطط تتم رقمنة و رسم خطوط على حدود العقارات كما يظهر في الشكل (12) ثم تُحسب مساحة هذا العقارات بعد عملية الرقمنة.



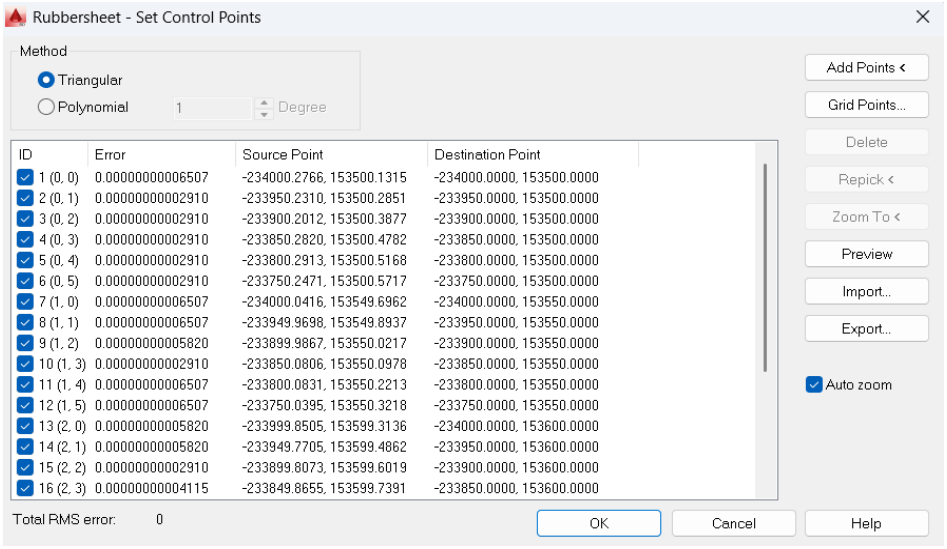
الشكل (12) حدود العقارات (83–84) منطقة عقارية إدلب ثالثة بعد الرقمنة

دراسة المخطط رقم 2 منطقة عقارية معرزيتا رقم 54:

نقوم بالخطوات السابقة وفي حالة هذا المخطط سنستعمل نقاط تقاطع شبكة الإحداثيات كنقاط تحكم وذلك بسبب أن الحالة الفيزيائية للمخطط جيدة وواضحة كما هو مبين في الشكل (13).

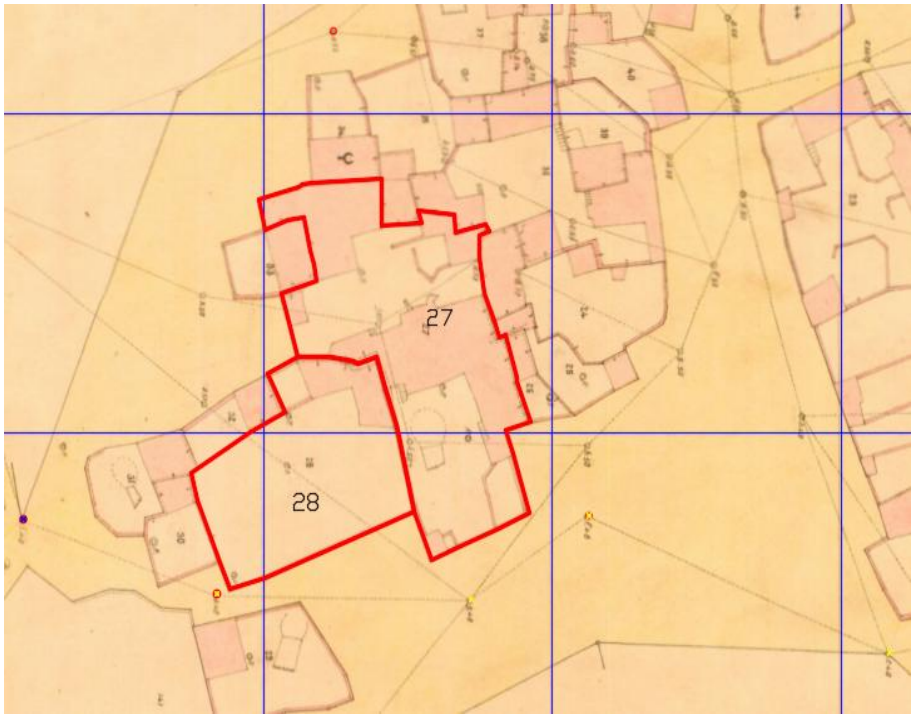
الشكل (13) توزع نقاط التحكم على مخطط رقم 2 المنطقة العقارية معرزيتا

بعد تحديد نقاط التحكم يظهر مربع الحوار المبين في الشكل (14) ويبين إحداثيات النقاط قبل وبعد التعديل



الشكل (14) مربع حوار لقيم الأخطاء لمخطط رقم2 منطقة معرزيتا

بعد معالجة المخطط رُقمنت و رُسمت خطوط على حدود العقارات كما يظهر في الشكل (15) وحُسبت مساحة العقارات بعد عملية الرقمنة .



الشكل (15) حدود العقارات (27–28) منطقة عقارية معرزيتا بعد الرقمنة

ويبين الجدول (1) نتائج مساحات العقارات بعد عملية الرقمنة والمساحات المسجلة لدى السجل العقاري.

الجدول (1) :مساحات العقارات حسب السجل العقاري وبعد الرقمنة

رقم العقار	مساحة العقار في السجل العقاري (m^2)	مساحة العقار بعد الرقمنة (m^2)
94 رابعة	159	161
204 رابعة	278	274
83 ثالثة	141	145
84 ثالثة	65	64
27 معرزيتا	1414	1414
28 معرزيتا	883	882

المعادلات الإحصائية المستخدمة في التحليل:

1. الإزاحة Displacement:

$$Desp = \sqrt{(\triangle x)^2 + (\triangle y)^2}$$ معادلة (1)

2. المتوسط الحسابي للإزاحة $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{\sum Desp}{n}$$ معادلة (2)

3. الانحراف المعياري σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$ معادلة (3)

4. الخطأ التربيعي المتوسط RMSE

$$RSME = \sqrt{\frac{(\sum Desp)^2}{n}}$$ معادلة (4)

5. معامل التباين CV

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$ معادلة (5)

المعاملات الإحصائية لنتائج رقمنة المخطط رقم (1) إدلب الرابعة

الجدول (2) :يبين قيم الإزاحة لنقاط التحكم قبل وبعد التعديل

PointID	Source_X	Source_Y	Dest_X	Dest_Y	Displacement(m)
1	-227319.9574	194804.9164	-227319.7877	194804.6526	0.295
2	-227321.2798	194818.8933	-227321.03	194819.0195	0.259
3	-227349.9011	194825.381	-227349.6675	194825.5597	0.261
4	-227345.6787	194851.0252	-227345.7532	194851.2083	0.186
5	-227347.8319	194843.4291	-227347.5641	194843.2725	0.276
6	-227311.9355	194853.7137	-227311.9	194853.49	0.224
7	-227319.3367	194833.5828	-227319.15	194833.36	0.241
8	-227272.8006	194825.739	-227272.5217	194825.8466	0.281
9	-227374.2523	194857.6396	-227374.47	194857.64	0.218
10	-227366.348	194885.1909	-227366.552	194885.45	0.274

نحسب أولاً المتوسط العام للإزاحة من المعادلة (2) نجد:

$$\bar{x} = \frac{2.515}{10} = 0.252 \text{ m}$$

2 .الانحراف المعياري من المعادلة (3) نجد:

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.011}{10}} = \sqrt{0.0011} = 0.033 \text{ m}$$

3 .الخطأ التربيعي المتوسط(RMSE) من المعادلة (4) نجد:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{0.644}{10}} = \sqrt{0.0644} = 0.254 \text{ m}$$

4.معامل التباين من المعادلة (5) نجد:

$$CV = \frac{0.033}{0.252} \times 100 = 13.10\%$$

المعاملات الإحصائية لنتائج رقمنة المخطط رقم (2) إدلب ثالثة

جدول (3) يبين قيم الإزاحة لنقاط التحكم قبل وبعد التعديل

PointID	Source_X	Source_Y	Dest_X	Dest_Y	Displacement(m)
1	-226817.3697	194638.7224	-226817.19	194638.92	0.226
2	-226822.0158	194618.1035	-226822.16	194618.21	0.153
3	-226807.2579	194628.0484	-226807.24	194628.15	0.102
5	-226799.4726	194640.861	-226799.3	194640.99	0.191
6	-226794.8738	194626.1533	-226794.79	194626.2	0.085
7	-226798.7174	194612.337	-226798.76	194612.36	0.044
8	-226786.9395	194620.2109	-226786.91	194620.19	0.032
9	-226781.3723	194624.081	-226781.4434	194624.1594	0.082
10	-226775.2158	194623.1178	-226775.13	194623.12	0.086

1. المتوسط الحسابي(Mean) :

$$\bar{x} = \frac{1.001}{9} = 0.111 \text{ m}$$

2. الانحراف المعياري(Standard Deviation) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.027}{9}} = \sqrt{0.003} = 0.055 \text{ m}$$

3.الخطأ التربيعي المتوسط(RMSE) :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{0.128}{9}} = \sqrt{0.0142} = 0.119 \text{ m}$$

4.معامل التباين(Coefficient of Variation) :

$$\text{CV} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 = \frac{0.055}{0.111} \times 100\% = 49.55\%$$

المعاملات الإحصائية لنتائج رقمنة المخطط رقم (2) معرزيتا

الجدول (4) :يبين قيم الإزاحة لنقاط التحكم قبل وبعد التعديل

PointID	Source_X	Source_Y	Dest_X	Dest_Y	Displacement(m)
1	-234000.2766	153500.1315	-234000	153500	0.306
2	-234000.0416	153549.6962	-234000	153550	0.307
3	-233949.9698	153549.8937	-233950	153550	0.11
4	-233899.9867	153550.0217	-233900	153550	0.025
5	-233850.0806	153550.0978	-233850	153550	0.127
6	-233800.0831	153550.2213	-233800	153550	0.236
7	-233750.0395	153550.3218	-233750	153550	0.324
8	-233849.8655	153599.7391	-233850	153600	0.293

1.المتوسط الحسابي للإزاحة:

$$\bar{x} = \frac{1.728}{8} = 0.216 \text{ m}$$

2.الانحراف المعياري:

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.080}{8}} = \sqrt{0.0100} = 0.100 \text{ m}$$

3.الخطأ التربيعي المتوسط(RMSE) :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{0.488}{8}} = \sqrt{0.0610} = 0.247 \text{ m}$$

4.معامل التباين:

$$\text{CV} = \frac{0.100}{0.216} \times 100 = 46.30\%$$

لتحليل دقة الرقمنة الناتجة وتحديد مدى انحرافها عن القيم المرجعية، اعتُمِدت معادلة الانحراف المعياري (Standard Deviation) لحساب تشتت المساحات الرقمية حول المتوسط، كما يأتي:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2} \qquad \text{معادلة (6)}$$

حيث:

A_i = المساحة الرقمية للعقار رقم i

$\bar{A}$ = المتوسط الحسابي للمساحات الورقية الأصلية

n = عدد العقارات التي شملها التحليل

σ = الانحراف المعياري

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2} = \sqrt{6.166} = 2.48 \text{ m}^2$$

كما حُسبت الانحراف النسبي (Relative Deviation) لكل عقار من خلال المعادلة التالية:

معادلة (7) $$\text{الانحراف}(\%) = \frac{\text{المساحة الرقمية} - \text{المساحة في السجل}}{\text{المساحة في السجل}} \times 100$$

ويبين الجدول (5) نتائج وقيم الانحراف النسبي لكل عقار .

الجدول (5): مقارنة بين المساحة المسجلة في السجل العقاري والمساحة بعد الرقمنة

رقم العقار	المساحة في السجل العقاري (م^2)	المساحة بعد الرقمنة(م^2)	الانحراف(%)
رابعة 94	159	161	1.89%
رابعة 204	278	274	1.44%
ثالثة 83	141	145	1.42%
ثالثة 84	65	64	1.54 %
معرزيتا 27	1414	1414	0%
معرزيتا 28	883	882	0.11%

أما الجدول (6) يبين الانحراف الاقصى المسجل للعقارات.

الجدول (6) :الانحراف الاقصى المسجل ومعيار التوافق

العقار	المساحة ($م^2$)	الانحراف الأقصى المسجل	متوافق مع المعيار؟
رابعة 94	161	1.89%	نعم
أكبر انحراف بين باقي العقارات	-	1.54%	نعم

التقييم والنتائج:

بعد الانتهاء من مراحل الرقمنة والإسناد الجغرافي للمخططات العقارية الصغيرة بطريقة المثلثات، حُلّلت النتائج الناتجة ومقارنتها بالسجلات الورقية الرسمية، بغية تحديد مدى دقة المطابقة بين النسخ الرقمية والبيانات الأصلية. وقد أظهرت النتائج نسب الخطأ النسبي بين 0% (العقار 27 معرزيتا) و 1.89% (العقار 94 رابعة)، إذ لم يتجاوز الانحراف الأقصى لأي عقار من العقارات حاجز الـ2%، وهو المعيار المقبول في التطبيقات العقارية والدولية.

وبلغ متوسط الانحراف النسبي في المساحات الرقمية حوالي 1.07%، هذا يعني أن المساحات الرقمية بقيت قريبة جداً من المساحات المسجلة في السجل العقاري وضمن الحد المقبول ، خاصة عند التعامل مع مخططات بمقياس(1:500). ما يعكس مستوى عالٍ من الاستقرار في النتائج وفعالية الطريقة المتبعة في الحفاظ على التناسق الجغرافي للمساحات العقارية.

كما تشير القيم الإحصائية المحسوبة (المتوسط الحسابي للإزاحة، الانحراف المعياري، RMSE، ومعامل التباين) إلى أن عملية الرقمنة بطريقة المثلثات قد حافظت على المواقع الجغرافية التقريبية للعقارات الممسوحة. فصغر قيم RMSE والانحراف المعياري يعكس استقرار مواقع النقاط وعدم حدوث أي إزاحة مكانية ذات دلالة إحصائية. كما أن انخفاض معامل التباين يؤكد أن الانحرافات كانت متجانسة عبر كامل المخططات المدروسة، ما يثبت أن الرقمنة لم تُحدث انتقالًا مكانياً للعقارات،

بل حافظت على مواقعها الأصلية ضمن حدود دقة الإسناد الجغرافي المسموح بها عند مقياس 1:500.

تُعزى هذه النتائج الإيجابية إلى عوامل عدّة، أبرزها استعمال أدوات رقمية دقيقة، وتطبيق منهجية رقمنة منضبطة تضمن تتبع الحدود بدقة، ومعالجة التشوهات الورقية بالإسناد الجغرافي المعتمد على نقاط تحكّم مرجعية. إلا أنه من المهم ذكر وجود بعض مصادر الخطأ، التي على الرغم من محدوديتها، فإنها تمثل جزءاً من التحديات التقنية في أي عملية رقمنة خرائطية.

مصادر الخطأ المحتملة:

1. أخطاء بشرية في تتبع الحدود : بالرغم من اعتماد الرقمنة اليدوية على أدوات دقيقةCAD ، إلا أن بعض الإنزياحات الطفيفة قد تحدث أثناء تتبع زوايا العقارات أو الزوايا المنحنية، خاصة عند تقاطع خطوط متعددة أو تداخل الرموز مع الحدود.
2. تشوهات ورقية موضعية : نتيجة لتقادم الوثائق الورقية، فقد تظهر بعض علامات التمدد أو الانكماش غير المتجانس في أجزاء معينة من المخطط، ما يؤدي إلى تغيرات موضعية يصعب كشفها مباشرة خلال المسح الضوئي أو الإسناد.
3. دقة الإسناد الجغرافي المحدودة في بعض الحالات :رغم استعمال نقاط تحكم عالية الجودة، إلا أن وجود انحرافات صغيرة جداً في توزيع هذه النقاط قد ينعكس على دقة الإسناد في الزوايا القصوى للمخطط.

ومع ذلك، فإن أثر هذه العوامل على النتائج النهائية بقي محدوداً، ولم يؤثر جوهرياً على الصورة العامة للدقة التي تحققها طريقة المثلثات. ويُعزى ذلك إلى قوة النموذج الرياضي المستعمل، الذي يعمل على تقليل أثر الانحرافات الموضعية من خلال توزيع الخطأ على مساحة العقار الكلية.

في هذه النتائج، يمكن القول إن الرقمنة الدقيقة بطريقة المثلثات تمثل خيارًا موثوقًا وفعالًا عند التعامل مع العقارات الصغيرة، وخاصة في حال توفر خرائط بمقياس 1:500، وبيئة عمل تُمكّن من ضبط التشوهات بطريقة علمية. كما أن الانحرافات الناتجة عن هذه الطريقة بقيت ضمن المستوى المقبول قانونيًا وهندسياً، ما يؤهل هذه المنهجية لأن تُستعمل على نطاق أوسع في تحديث السجلات العقارية وتحسين جودة قواعد البيانات الجغرافية .

التوصيات:

بناءً على نتائج الدراسة وتحليل الانحرافات المساحية بين النسخ الورقية والرقمية للعقارات الصغيرة، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات العلمية والمنهجية التي من شأنها تحسين دقة الرقمنة وتوسيع نطاق الاستفادة من المنهجية المعتمدة، وذلك على النحو التالي:

1. زيادة عدد نقاط التحكم الجغرافي :(GCPs) يُوصى في الدراسات اللاحقة بعدد أكبر من نقاط التحكم لتوزيع الخطأ بتوازن أكثر، خصوصًا في المخططات التي تحتوي على مساحات غير منتظمة أو ممتدة أفقياً. وقد يكون توزيع النقاط بطريقة تغطي زوايا المنتصف مفيدًا في تقليل التشوهات.
2. استعمال تقنية المساحة التصويرية بالطائرات دون طيار(الدرونات) : فيمكن دمج الصور الجوية في عمليات الرقمنة والمقارنة، ما يوفر مرجعية ميدانية دقيقة ويعزز من مستوى الثقة في نتائج التحليل.
3. تكرار الدراسة على مقاييس رسم مختلفة بمخططات عدة : من المفيد اختبار فعالية طريقة المثلثات على مقاييس أكبر (1:1000، 1:2000).

المراجع:

1. الحلاق، خالد .(2018) . "تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الأراضي". مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية.
2. الهيئة العامة للمساحة .(2015) " الدليل الفني للأعمال المساحية في سوريا". دمشق.
3. قاسم، محمد .(2010) ."استخدام تقنيات GIS في إدارة الأملاك العقارية". مجلة جامعة تشرين.
4. العلي، أنس .(2015) . "دقة الرقمنة في التحويل من الخرائط الورقية إلى النظم الرقمية". مجلة جامعة البعث.
5. Tong, X., Liu, D., & Peng, M. (2001). The Principle and Methodology to Process Digital Cadastral Areas in GIS. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 26(2), 105–107.
6. Buonora, P. (2009). Digitization, online utilization and preservation of cadastral very large format cartography. e-Perimetron,
7. Kumar, V. V. G., Reddy, K. V., & Pratap, D. (2013). Updation of Cadastral Maps Using High Resolution Remotely Sensed Data. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 2(4), 50–54.
8. Sapkota, R. K., & Bhatta, G. P. (2014). Technical Aspects of Digitization of Cadastral Maps. Nepalese Journal on Geoinformatics, *13*, 42–50.
9. Fetai, B., Tekavec, J., Fras, M. K., & Lisec, A. (2023). Inconsistencies in Cadastral Boundary Data—Digitisation and Maintenance. Land, *11*(12), 2318.
10. AL-Hamedawi, A., Mohammed, S. J., & Thamer, I. (2017). Updating Cadastral Maps Using GIS Techniques. Engineering and Technology Journal, 35(3), 246–253.