

Evaluating the Integration between Stereoscopic Aerial Photogrammetry and Geographic Information Systems (GIS) in 3D Buildings Modelling

Dr. Omar AL KHALIL *

Dr. Fadi Chaaban **

Kotaiba Alshaabi *** 

(Received 21 / 04 / 2025. Accepted 21 / 5 / 2025)

□ ABSTRACT □

This study aims to develop an accurate and efficient 3D urban model by integrating stereo analysis and photogrammetry with Geographic Information Systems (GIS). It emphasizes the necessity of reliable spatial (2D and 3D) and descriptive data to support urban planning and resource management. Interior and exterior orientations were performed on two aerial images, yielding precise results. The root mean square error (RMSE) values were 7 microns for the left image and 5.25 microns for the right image, both within acceptable limits (under 8.25 microns). The total RMSE for ground control points was 0.065 meters, confirming high triangulation accuracy.

3D features were visually digitized using anaglyph glasses within the overlap area, classified into a structured feature database, and compiled to create a 3D spatial and descriptive database. A Python script extracted average elevation values (Z_{ave}) from a Digital Elevation Model (DEM) with 1.5-meter vertical accuracy, thereby enhancing processing speed and efficiency. The final model was constructed in ArcScene after visual quality checks. The study concludes that this methodology produces precise and practical 3D urban models suitable for applications such as urban planning, risk assessment, and infrastructure modeling.

Keywords: 3D modeling, stereo analysis, GIS, Python, ArcScene.

Copyright



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

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

** Associate Professor, Department of Topography Engineering, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria. Email: fadi.chaaban@tishreen.edu.sy

*** Master Student, Department of Topography Engineering, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria. Email: kotaiba.alshaabi@tishreen.edu.sy

تقييم التكامل بين المساحة التصويرية الجوية التجسيمية ونظم المعلومات الجغرافية في النمذجة ثلاثية الأبعاد للأبنية

د. عمر الخليل *

د. فادي شعبان **



قتيبة هشام الشعبي ***

(تاريخ الإيداع 2025 / 04 / 21. قُبل للنشر في 2025 / 5 / 21)

□ ملخص □

تهدف هذه الدراسة إلى بناء نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق وفعال للوسط الحضري عبر دمج تقنيات التحليل المجسم (Stereo Analysis) والمساحة التصويرية (Photogrammetry) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS). تتبع أهمية البحث من الحاجة إلى معلومات مكانية ووصفية ثنائية وثلاثية الأبعاد تدعم تطبيقات التخطيط الحضري وإدارة الموارد. تم إجراء التوجيه الداخلي والخارجي لصورتين جويتين، وحققت العملية نتائج دقيقة، حيث بلغ متوسط الخطأ التريبي للصورة اليسرى 7 ميكرون، وللليمنى 5.25 ميكرون، وهما ضمن الحدود المقبولة (أقل من 8.25 ميكرون). كما بلغ الخطأ التريبي الكلي لنقاط الضبط الأرضية 0.065 متر، ما يدل على دقة عالية في نتائج التثليث الجوي. تمت رقمنة السمات الثلاثية الأبعاد بصرياً ضمن منطقة التداخل باستخدام نظارات الأناغليف، ثم تصنيفها ضمن ملف سمات موصوف، وإنشاء قاعدة بيانات مكانية ووصفية ثلاثية الأبعاد. كما تم استخدام كود برمجي بلغة Python لاستخراج قيم الارتفاعات المتوسطة (Zave) من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) دقته الشاقولية 1.5 متر، مما سرّع العملية وزاد كفاءتها. بُني النموذج النهائي باستخدام ArcScene بعد التحقق البصري من اكتمال النموذج وجودته. خلصت الدراسة إلى أن هذا المنهج يوفر نموذجاً حضرياً دقيقاً قابلاً للتطبيق في مجالات تخطيط المدن وتقييم المخاطر ونمذجة البنية التحتية.

الكلمات المفتاحية: نمذجة ثلاثية الأبعاد، التحليل المجسم، نظم المعلومات الجغرافية، المساحة التصويرية، نموذج الارتفاع الرقمي.

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



04 CC BY-NC-SA

* أستاذ . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة اللاذقية . اللاذقية . سوريا .

بريد الكتروني: omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

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

بريد الكتروني: fadi.chaaban@tishreen.edu.sy

** * طالب ماجستير . قسم الهندسة الطبوغرافية . كلية الهندسة المدنية . جامعة اللاذقية . اللاذقية . سوريا .

بريد الكتروني: kotaiba.alshaabi@tishreen.edu.sy

مقدمه:

إن للحصول على البيانات الجغرافية (المكانية والوصفية) من الصور، أهمية قصوى في إنشاء الخرائط والنماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد. يجب أن تكون هذه البيانات دقيقة وحديثة وذلك لضمان أن تعكس التحليلات القائمة على هذه البيانات الواقع الحقيقي.

يعد النموذج ثلاثي الأبعاد للوسط الحضري (3D Urban Model) الذي يضم الأبنية، الطرقات، الحدائق، ... الخ، من أهم منتجات المساحة التصويرية الجوية ويمكن تعريفه على أنه تعبير رقمي عن عناصر سطح الأرض من أبنية، أرض طبيعية، أشجار، ... الخ [1]. يعد هذا النموذج مدخلاً هاماً جداً في العديد من التطبيقات مثل تخطيط المدن، إدارة الكوارث، التنقل في المدن، السجل العقاري ثلاثي الأبعاد وغيرها من التطبيقات [2]. تتوفر عموماً ثلاث تقنيات لإنتاج هذا النموذج وهي:

1- استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS والمساحة التصويرية ثنائية البعد (التعامل مع صورة واحدة). مدخلات هذه الطريقة هي عن خارطة ذات بيانات متجهية Vector map مع نموذج رقمي للأرض Digital Terrain Model (DTM) وبيانات تتعلق بارتفاعات الأبنية والعناصر الأخرى [3]. وهنا تكون المهمة الأساسية للمساحة التصويرية الجوية هي تأمين البيانات المكانية باستخدام المسح الجوي أو الفضائي أو العمل الميداني، حيث يتم معالجة الصور الفضائية أو الجوية بطريقتين أساسيتين هما:

- التصحيح الهندسي للصور Geometric correction واستخدامها كأساس لرقمنة السمات المختلفة. إن هذا الأسلوب واسع الانتشار حيث يتم اقتطاع البيانات الوصفية خلال أو بعد اقتطاع البيانات المكانية. ولكنه يعاني من الاستهلاك الكبير للوقت ومن الدقة المنخفضة والكلفة العالية. كما يعاني من عدم القدرة على معالجة المشاهد غير المستوية وهو يزودنا ببيانات ثنائية البعد فقط. وهنا، نحتاج عملياً إلى مصدر يؤمن البيانات الارتفاعية للأبنية والعناصر السطحية الأخرى وهي لازمة لتوليد النموذج الرقمي للوسط الحضري بمساعدة نظم المعلومات الجغرافية [4].

- الإرجاع العامودي للصور Orthorectification يعد هذا الأسلوب أدق من الأسلوب السابق وذلك لأنه يمكننا من التخلص من الكثير من التشوهات التي لا يعالجها التصحيح الهندسي وتوليد صورة مكافئة هندسياً للخرائط المستوية. يتطلب تطبيق هذا الأسلوب توفر نموذج رقمي للأرض (DTM) مع معاملات التوجيه الخارجي للصورة (نقاط الضبط الأرضية GCP، ونقاط الربط Tie Points في منطقة التداخل بين الصورتين). وبالتالي، فإن دقة الصورة العمودية Ortho photo الناتج تتبع لدقة الـ DTM. وبالمقابل فإن كلفته العالية، وغير قادر على تزويدنا ببيانات ثلاثية الأبعاد. وهنا أيضاً، نحتاج إلى مصدر يؤمن البيانات الارتفاعية للأبنية والعناصر السطحية الأخرى وهي لازمة لتوليد النموذج الرقمي للوسط الحضري بمساعدة نظم المعلومات الجغرافية [5].

2- استخدام مرئيات فضائية مع بيانات الماسح الليزري الجوي LIDAR أو تطبيق المسح التصويري القائم على اقتطاع البنية من الحركة Structure from Motion (SfM) [6]. إن الناتج الأساسي لهاتين التقنيتين هو عبارة عن غمامة من النقاط ثلاثية الأبعاد تعبر عن النموذج الرقمي للسطح. Digital Terrain Model (DSM) في هذا الحل تستخدم المرئيات الفضائية لتصنيف العناصر المشكّلة لهذا السطح من أبنية وغيرها والتعرف عليها ضمن الغمامة أو يتم تطبيق خوارزميات قائمة على معايير هندسية لاقتطاع الأبنية والعناصر السطحية الأخرى من الغمامة مباشرة وبناء النموذج ثلاثي الأبعاد للوسط الحضري منها، لا تعتبر هذه العمليات سهلة أبداً وهي تحتاج إلى معالجة طويلة وإيجاد المعايير المناسبة للترشيح والتي تضمن نجاح تصنيف الغمامة.

3- من ناحية أخرى، تم تطبيق التحليل المجسم Stereo analysis لمعالجة المرئيات الستيريو سكوبية، حيث يسمح باشتقاق معلومات مكانية ثنائية وثلاثية البعد دقيقة انطلاقاً من الصور التجسيمية Stereoscopic images مع توليد قاعدة بيانات مكانية ووصفية ثلاثية الأبعاد [7]. بمعنى آخر، يقترح التحليل المجسم تكاملاً بين المساحة التصويرية التجسيمية ونظم المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد ضمن نفس البيئة. إن دقة هذا التحليل أكبر من الدقة التي نحصل عليها من التصحيح الهندسي أو العامودي للصور، كما تتصف بكلفتها المنخفضة نسبياً مقارنةً بالمسح الليزري وباختصارها الكبير للوقت. إن مدخلات هذه الطريقة هي عبارة مزدوجات تجسيمية من الصور الجوية مع نموذج رقمي للأرض حيث يتم استقراء ارتفاعات العناصر من الصور ومن ثم إسقاط سقوفها على النموذج الرقمي للأرض وتوليد النماذج ثلاثية الأبعاد لهذه العناصر مع قاعدة بيانات مكانية ووصفية ثلاثية الأبعاد. نسعى في بحثنا إلى اختبار فعالية هذا النوع من الحلول مقارنةً مع الحلول الأخرى وتقييم دقته من خلال دراسة العوامل التي تؤثر في الدقة.

أهمية البحث وأهدافه:

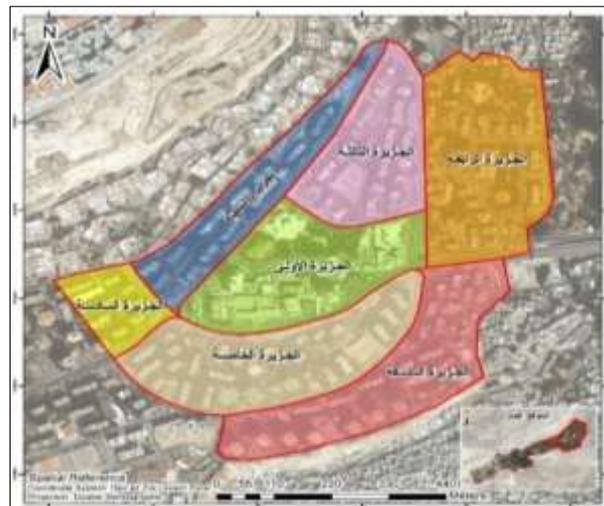
تتلخص أهمية البحث في الحصول على معلومات مكانية ثنائية أو ثلاثية الأبعاد تخص الوسط الحضري، مع توليد قاعدة بيانات مكانية ووصفية ثلاثية الأبعاد، يمكن أن تستخدم ضمن أشكال متعددة من التحليلات والتطبيقات. وبشكل عام، يمكن أن نلخص أهداف البحث فيما يلي:

1. توليد نموذج ثلاثي الأبعاد للوسط الحضري باستخدام التحليل المجسم.
2. تقييم دقة النموذج الرقمي للوسط الحضري لمنطقة الدراسة من خلال مقارنة النتائج مع قياسات حقيقية على أرض الواقع.

طرائق البحث ومواده:

1- منطقة الدراسة

تقع ضاحية الشام الجديدة في الجهة الشمالية الجنوبية لمحافظة دمشق، يحدها شرقاً وادي المشاريع حيث يمر نهر بردى وغرباً توسع دمر بالإضافة إلى ضاحية قدسيا شمالاً والمزة جنوباً. الجزء المدروس في بحثنا هو الجزر الأولى، الثانية، والثالثة، والرابعة، الخامسة، التاسعة وجزء من الجزيرة السادسة الموضحة في الشكل (1).



الشكل (1). منطقة الدراسة.

2- البيانات المتوفرة

تمت عملية النمذجة ضمن نظام إحداثيات محلي، حيث تم تصنيف البيانات المتوفرة كما يلي:

1. الصور الجوية التي تغطي منطقة الدراسة (الشكل (2))، والملتقطة بواسطة آلة التصوير الجوية المعاييرة WILD 30/4 NAT-S lens no:17108.

تم الحصول عليها من محافظة دمشق بموجب كتاب رسمي أصولاً. مقياس الصور التي تم الحصول عليها هو 1/5000 وهي تغطي كامل المنطقة المطلوبة، تم التقاط هذه الصور بآلة تصوير جوية مترية Metric arial camera من النوع (WILD 30/4 NAT-S) RC30 ببعد محرقى Focal length mm 152 ومقاس (212 mm) والتي التقطت عن ارتفاع طيران Flying height 1000 متر عن منطقة الدراسة، وذلك في تاريخ 2003/03/10.



الشكل (2). الصورة الجوية لمنطقة الدراسة. المصدر: محافظة دمشق.

2. معاملات التوجيه الداخلي والتي هي عبارة ملف معايرة آلة التصوير المستخدمة في التقاط الصور الجوية يتضمن إحداثيات النقطة الرئيسية، البعد المحرقى، وعلامات عمق حجيرة التصوير كما هو موضح في الجدول (1). حيث يُعرّف التوجيه الداخلي أنه العملية التي تُعيد وبطريقة رياضية تخليق الهندسية التي كانت موجودة في آلة التصوير لحظة التقاط الصورة. وتعتمد على إحداثيات علامات عمق حجيرة التصوير، حيث يتم تطبيق تحويل هندسي ثنائي البعد (تماثلي Affine)، وذلك لربط الإحداثيات المُقاسة في نظام إحداثيات البكسل مع نظام إحداثيات علامات عمق حجيرة التصوير وكذلك لتصحيح تشوهات الفيلم.

جدول(1). معاملات التوجيه الداخلي لآلة التصوير المعاييرة.

152 mm	البعد المحرقى
$y_0 = -0.008 \text{ mm}$	إحداثيات النقطة الرئيسية
$x_0 = 0.007 \text{ mm}$	إحداثيات علامات عمق حجيرة التصوير في نظام إحداثيات الصورة
Y(mm)	X(mm)
	رقم العلام

-106.002	106.002	1
-106.001	-106.002	2
106.002	-106.002	3
106.004	106.005	4
-109.997	-0.001	5
-0.001	-110.001	6
110.016	0.002	7
0.003	110.003	8

3. معاملات التوجيه الخارجي وهي نقاط الضبط الأرضية Ground control points الواقعة ضمن منطقة تداخل المزدوج التجسيمي (الشكل (3))، حيث يبين الجدول (2) الإحداثيات الثلاثية لنقاط الضبط الأرضية.



الشكل (3). مواقع نقاط الضبط الأرضية.

جدول (2). نموذج عن إحداثيات نقاط الضبط الأرضية.

Elevation (m)	Northing (m)	Eastern (m)	رقم النقطة
765.82	-70189.04	-270898.47	1
751.92	-70230.67	-270768.62	2
742.95	-70267.86	-270682.64	3

4. مخطط طبوغرافي رقمي لمنطقة الدراسة (الشكل (4))، تم من خلاله رقمنة خطوط الكونتور واشتقاق النموذج الرقمي للإرتفاعات DEM. حصلنا على هذا المخطط من محافظة دمشق، يعود لعام 2010.

نشير هنا أنه كان من الممكن الحصول على النموذج الرقمي للإرتفاعات DEM باستخدام الصور الجوية وتحليلها باستخدام Leica Photogrammetry ضمن برنامج Erdas Imagine، لكن بسبب محدودية عدد نقاط الربط الممكن توليدها في منطقة التداخل بين صورتين المزدوج التجسيمي، والاحتمال الكبير لوقوعها على الأبنية والأشجار وغيرها من العناصر الواقعة فوق سطح الأرض، فقد قررنا استخدام خطوط الكونتور الموجودة في المخطط الطبوغرافي ذو المقياس 1:5000 نظراً لوقوعها مسبقاً على الأرض، مما يوفر علينا مشقة ترشيح النقاط (نقاط أرضية نقاط لا أرضية). من ناحية ثانية نوضح أن الهدف من استخدام نموذج الارتفاع الرقمي DEM في بحثنا هو إظهار النموذج ثلاثي الأبعاد وحساب ارتفاعات الأبنية، في هذه الحالة سيؤمن نموذج الارتفاع الرقمي DEM (دقته الشاقولية 1.5 متر وذلك بالرجوع إلى معايير الدقة المكانية لـ ASPRS للبيانات الجغرافية المكانية الرقمية [8-9]) الناتج عن رقمنة خطوط التسوية دقة مقبولة في هذا النوع من الأعمال.

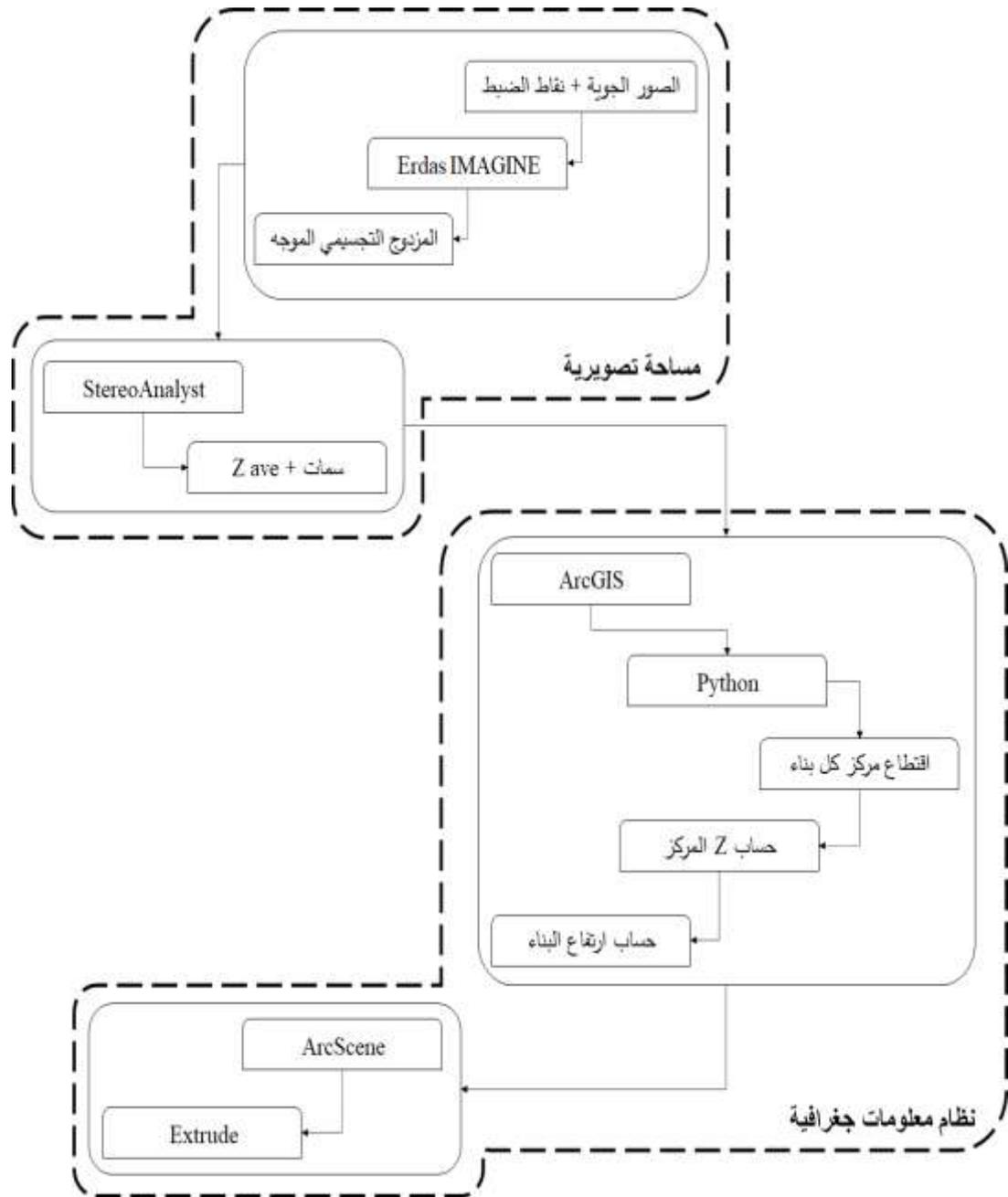


الشكل (4). مخطط طبوغرافي لمنطقة الدراسة.

النتائج والمناقشة:

1- منهجية تحقيق التكامل بين المساحة التصويرية و GIS

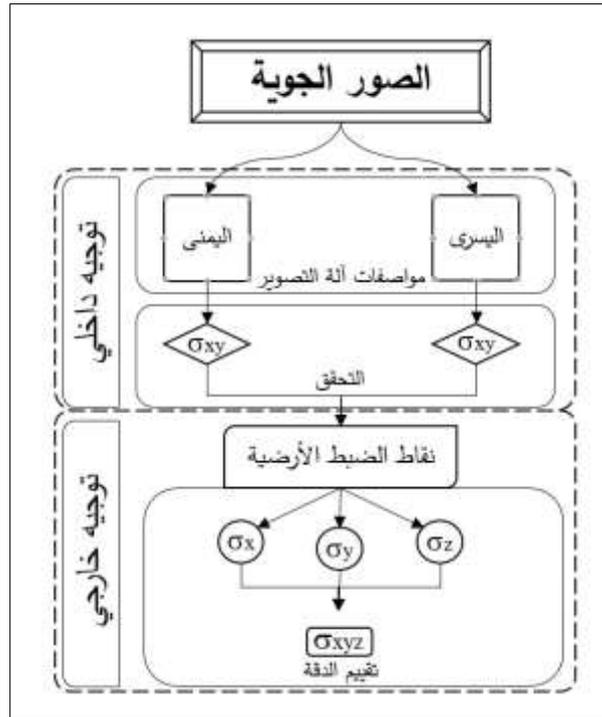
يوضح الشكل (5) منهجية تحقيق التكامل بين المساحة التصويرية ونظم المعلومات الجغرافية من أجل الحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد للوسط الحضري. تتضمن العملية استخدام الصور الجوية ونقاط الضبط لإنشاء النموذج التجسيمي الموجه من الصور بمساعدة برنامج Erdas IMAGINE، ومن ثم رقمنة السمات ثلاثية الأبعاد الموجودة في منطقة تداخل هذا النموذج بمساعدة StereoAnalyst (الملحق بالبرنامج Erdas IMAGINE) ومن ثم حساب متوسط الارتفاع (Z) للسمات، وتحديد مراكزها وارتفاعاتها بشكل مؤتمت بمساعدة كود مكتوب بلغة Python. وأخيراً توليد النموذج ثلاثي الأبعاد للوسط الحضري بمساعدة البرنامج ArcScene الملحق بالبرنامج ArcGIS 10.8.



الشكل (5). منهجية تحقيق التكامل بين المساحة التصويرية و GIS.

1-1- توجيه مزدوج الصور

بعد الحصول على احداثيات نقاط الضبط الواقعة في منطقة تداخل الصورتين الجويتين قمنا باستخدام برنامج ErdasIMAGINE لتوجيه هاتين الصورتين والحصول على النموذج التجسيمي الموجه وتحضيره لاشتقاق البيانات ثلاثية الأبعاد للسمات الموجودة ضمن منطقة التداخل. هذا ويعد البرنامج ErdasIMAGINE واحداً من برامج المساحة التصويرية الذي يسمح بالقيام بعمليات التثليث الجوي والتصحيح العمودي للصور الرقمية الملتقطة بأنواع مختلفة من آلات التصوير سواء كانت آلات التصوير الجوي أو مستشعرات التتابع الصناعية. مرت عملية توجيه مزدوج الصور ضمن بيئة المساحة التصويرية بالخطوات المبينة بالشكل(6).



الشكل (6). توجيه مزدوج الصور.

تم التوجيه الداخلي لكل من صورتى المزدوج وذلك استناداً إلى مواصفات آلة التصوير وهي إحداثيات علامات عمق حجيرة التصوير والبعد المحرقى للعدسة وموقع النقطة الرئيسية (الجدول (1))، بهدف إعادة بناء هندسية الصورة كما كانت عند النقاط الصورة.

بلغت قيمة الخطأ المتوسط التربيع للصورة اليسرى:

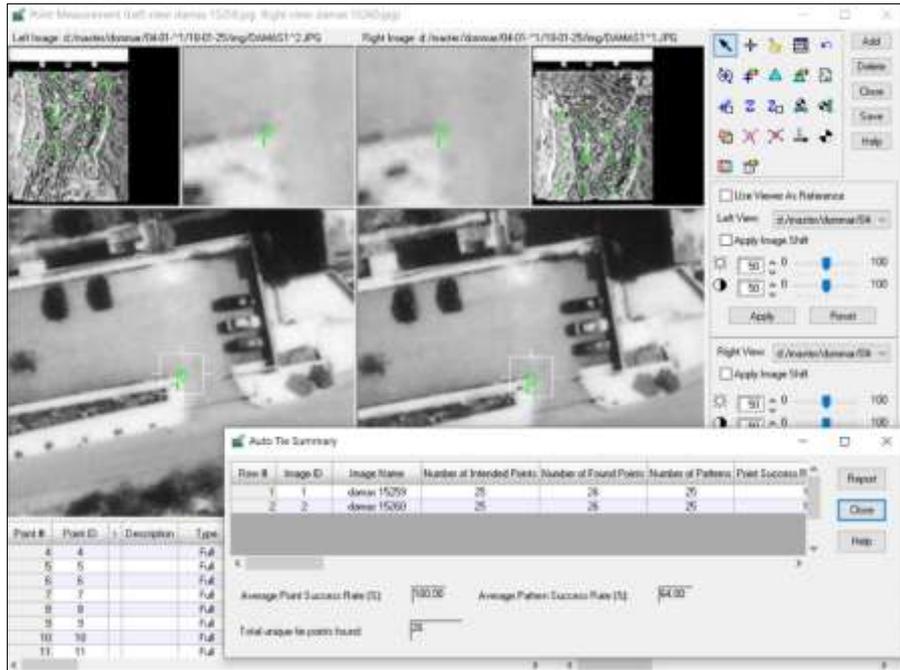
$$TRMSl = 0.28 \times 25 = 7.00 \mu$$

بينما بلغت قيمة الخطأ المتوسط التربيع للصورة اليمنى:

$$TRMSr = 0.21 \times 25 = 5.25 \mu$$

وإذا اعتبرنا أن قيمة الخطأ المتوسط التربيع المسموح $TRMS_{all} \leq 0.33 \times Pixel\ Size$ (بمعنى أنه يجب ألا تتجاوز 0.33 من قيمة طول البكسل المحددة خلال عملية المسح الضوئي للصور والتي تساوي 25 ميكرون)، وبالتالي نجد أن هاتين القيمتين مقبولتين بعد التأكد من أن الخطأ ضمن الحدود المسموح بها لدقة تمييز الصورة.

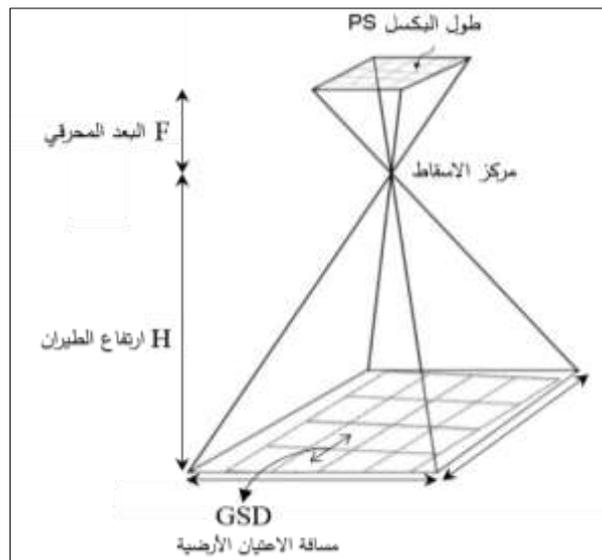
قمنا بعدها بعملية التوجيه الخارجي ويُقصد بها ربط نظام إحداثيات الصورة مع نظام الإحداثيات الأرضي. اعتمدنا على نقاط الضبط المرفوعة حقلياً بدقة 0.05 متر، من أجل القيام بعملية التوجيه الخارجي بتطبيق التثليث الجوي حيث قمنا بقياس نقاط الضبط الأرضية GCP، وتوليد نقاط الربط Tie Points في منطقة التداخل بين الصورتين، عدد نقاط الربط المولدة 26 نقطة (الشكل (7)).



الشكل (7). مفهوم مسافة الاعتيان الأرضية GSD.

في نهاية المعالجة نحصل على النتائج ضمن تقرير يعرف باسم تقرير التثليث ومن أهم البيانات الموجودة في هذا التقرير هو الفروقات بين إحداثيات نقاط الضبط المحسوبة والإحداثيات المقاسة على الصور، والتي يعدها البرنامج نقاط اختبار Checkpoints، ويحسب إحداثياتها ثلاثية الأبعاد باستخدام معاملات التوجيه لكلتا الصورتين، ومن ثمَّ يحسب الفروق بين هذه الإحداثيات والاحداثيات المقاسة.

لتقييم دقة التثليث الجوي استخدمنا مفهوم مسافة الاعتيان الأرضية (GSD) Ground Sampling Distance والتي تعبر عن الطول الأرضي الذي يغطيه البكسل الواحد من الصورة (الشكل (8))، أو هي المسافة بين مركزي بكسلين متجاورين مقاسة على الأرض.



الشكل (8). مفهوم مسافة الاعتيان الأرضية GSD.

نجد من الشكل السابق أن:

$$\frac{F}{H} = \frac{PS}{GSD} \quad [1]$$

$$GSD = \frac{H * PS}{F} \quad [2]$$

حيث: GSD مسافة الاعتيان الأرضية.

H : ارتفاع الطيران (يعطى بالمتر).

PS : هو بعد البكسل في الصورة (يعطى بالميكرون).

F : هو البعد المحرقي لآلة التصوير (يعطى بالمليمتر).

نلاحظ من العلاقة [2] أن قيمة مسافة الاعتيان الأرضية تتناسب طردياً مع ارتفاع الطيران (بُعد آلة التصوير عن العنصر المصور)، وأبعاد البكسل في الصورة، وعكساً مع البعد المحرقي لآلة التصوير، (الشكل (7)).

فيما يخص بحثنا فإننا نعرف أن ارتفاع الطيران هو 1600 m والبعد المحرقي لآلة التصوير هو 152.7 مم وأبعاد البكسل في الصورة هي 25 ميكرون، وبالتالي يعطينا تطبيق العلاقة [2] أن $GSD=0.262$ m.

تمت الإشارة في [10] إلى أن العامل الخبير يمكن ان يحقق دقةً تصل حتى 0.13 من حجم البكسل. ومن ناحية ثانية، أعطى [11] تقديراً متسامحاً أكثر تصل قيمته إلى 0.3 من أبعاد البكسل وهي القيمة المعتمدة أكثر. يشمل هذا الخطأ المسموح مناطق مختلفة التضاريس بما فيها المناطق الجبلية. استناداً إلى ما سبق، يمكننا أن نحدد قيمة الدقة المتوقعة للقياس في حيز العنصر بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{xyz} = 0.3 * GSD \quad [3]$$

حيث σ_{xyz} هي الدقة الأفقية والشاقولية للقياس.

بتطبيق العلاقة [3] وبتعويض قيمة $GSD=0.263$ m نجد أن القيمة المسموحة للخطأ هي $\sigma_{xyz} = 7.9$ cm، وبالعودة إلى الجدول (4-21) نجد أن الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الضبط يساوي:

$$\begin{aligned} RMS_{XYZ} &= \sqrt{(rmsex)^2 + (rmsey)^2 + (rmsez)^2} \\ &= \sqrt{(0.026)^2 + (0.027)^2 + (0.053)^2} \\ &= 0.065 \text{ m} \end{aligned}$$

بمقارنة قيمة الخطأ RMS_{XYZ} مع قيمة الدقة المسموحة σ_{xyz} نجد أنها لم تتجاوز هذه القيمة مما يعني أن نتائج التثليث الجوي مقبولة.

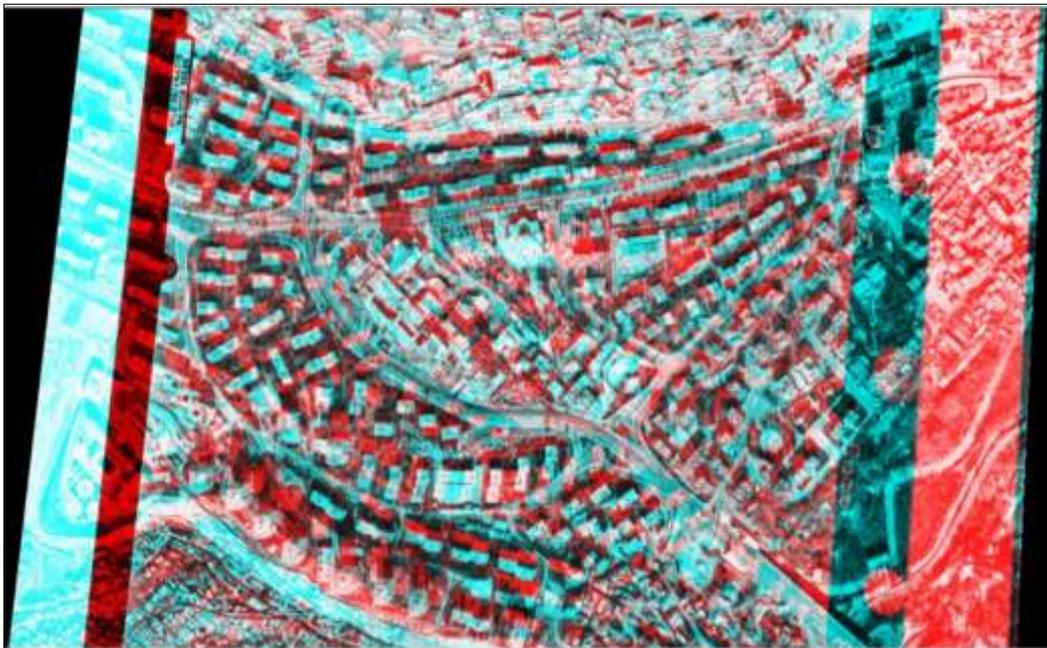
1-2- التحليل المُجسّم

بعد التحقق من دقة التثليث الجوي، بدأنا اشتقاق البيانات ثلاثية الأبعاد للسمات المتوفرة في منطقة تداخل الصور التجسيمية بمساعدة البرنامج StereoAnalyst وذلك على شكل قاعدة بيانات ثلاثية الأبعاد 3D database تستطيع برامج نظم المعلومات الجغرافية التعامل معها. يندرج برنامج StereoAnalyst ضمن أنظمة التحليل المُجسّم والتي تُعرّف بأنها برمجيات تعمل على أنظمة تشغيل Windows وهي نُظم رقمية لإنتاج الخرائط وتملك أدوات من أجل الدقة في الاقتطاع والتفسير والإظهار الرسومي للمعلومات الجغرافية الثلاثية الأبعاد.

قبل البدء بعملية الرقمنة، قمنا بمعاينة المزوج التجسيمي بصرياً (الشكل (9)) بالاستعانة بنظارة الأناغليف، وتمكناً من الرؤية ثلاثية الأبعاد للسمات، وتحديد السمات الواضحة التي سنقوم برقمنتها وتصنيفها.

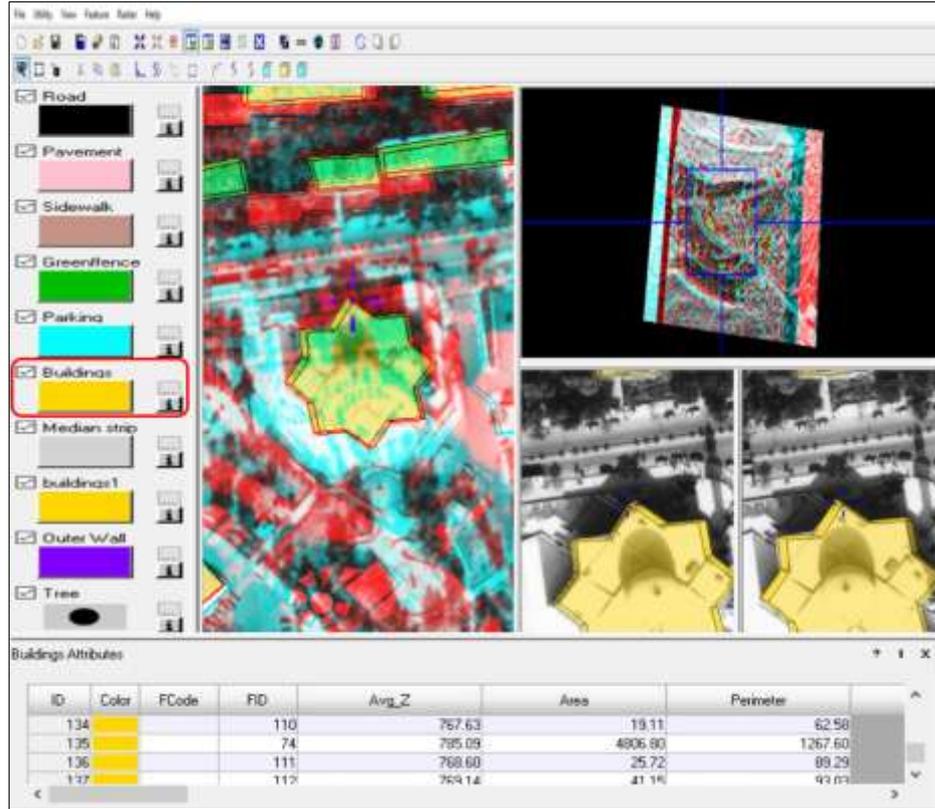
أنشأنا ملفاً لهذه السمات ثلاثية الأبعاد يتضمن:

1. الأبنية.
2. الطرقات.
3. الأرصفة.
4. ممرات المشاة.
5. منتصف الطريق
6. كراجات السيارات.
7. حدائق ومناطق خضراء.
8. السور الخارجي للأبنية.
9. الأشجار.



الشكل (9). معاينة المزدوج التجسيمي.

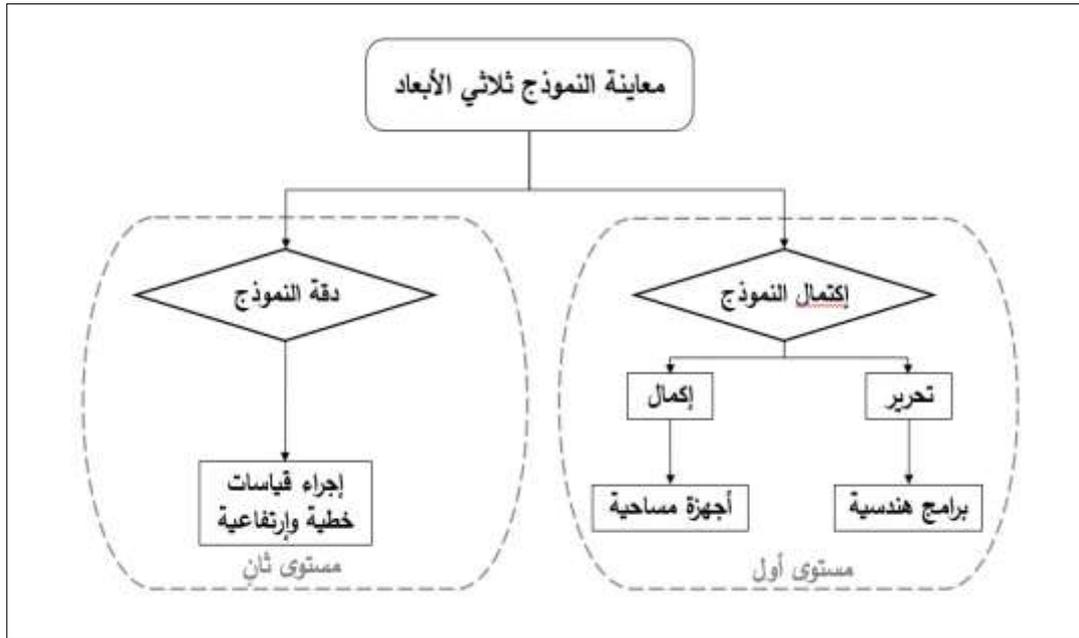
باستخدام أداة القياس 3D الملحقة بالبرنامج قمنا بقياس الخصائص المتوفرة في منطقة تداخل الصور الجوية وتجميع السمات ثلاثية الأبعاد ضمن ملف السمات مع إنشاء قاعدة بيانات وصفية ثلاثية الأبعاد، يبين (الشكل (10)) نموذج لرقمنة سمة الأبنية.



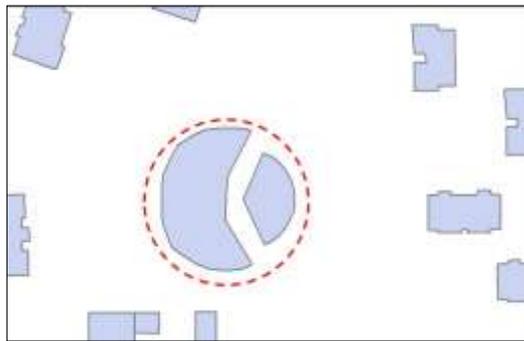
الشكل (10). رقمنا سمة الأبنية.

خلال رقمنا السمات ثلاثية الأبعاد في منطقة تداخل صور المزدوج التجسيمي، قمنا بمعاينة النموذج ثلاثي الأبعاد بصرياً للتحقق من المستوى الأول والتأكد من كماله (الشكل (11)) كانت لدينا بعض العناصر غير الواضحة في هذه المنطقة منها:

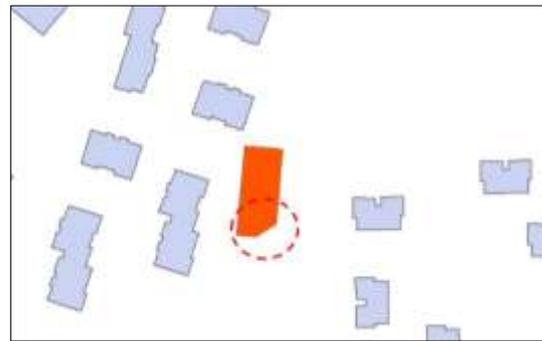
1. زوايا بعض السمات مثل الكراجات أو الأرصفة بسبب الأشجار الكثيفة التي تغطي المنطقة (الشكل (12)).
2. جلسات مدرج دمر الثقافي (الشكل (13)).
3. احتواء بعض الأبنية على أشكال هندسية بارتفاعات متفاوتة (الشكل (14)).
4. عدم اغلاق أو انطباق بعض المضلعات (الشكل (15)).



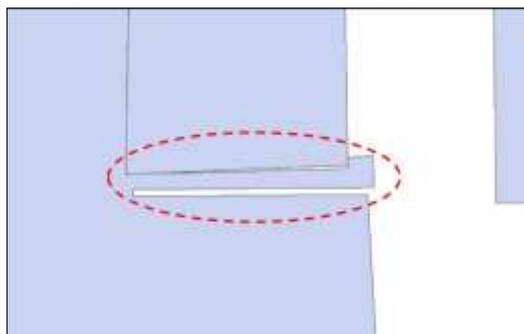
الشكل (11). العوامل المؤثرة على دقة مسافة الاعتيان الأرضية GSD.



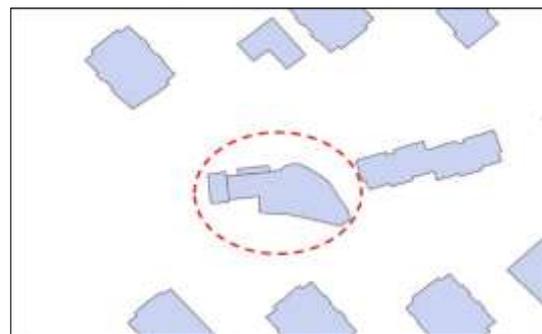
الشكل (13). مشكلة جلسات مدرج دمر الثقافي.



الشكل (12). مشكلة عدم وضوح الزوايا.



الشكل (15). مشكلة عدم اغلاق المضلعات.



الشكل (14). مشكلة الأشكال المعقدة.

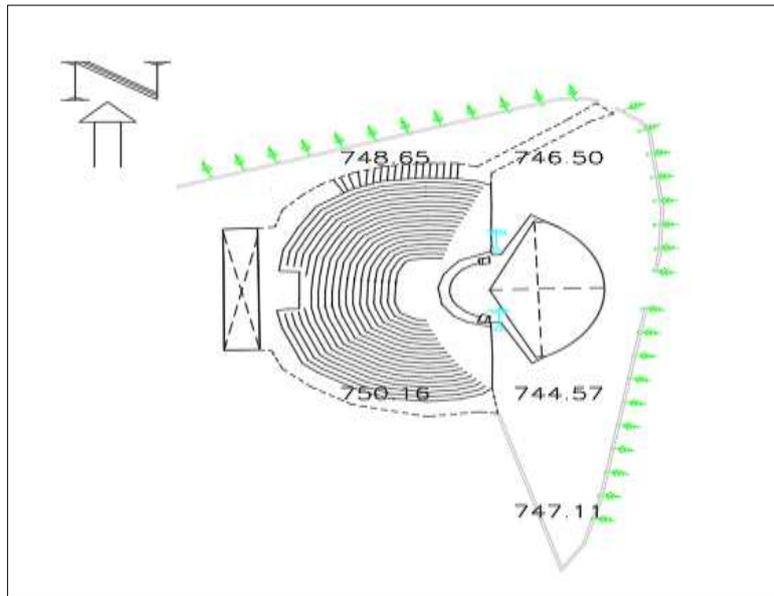
بعض المشاكل تم حلها مكتيباً بعملية التحرير، (بنسبة 4 % من الرقمنة)، حيث قمنا بإدراج السمات الناتجة من عملية الرقمنة إلى برنامج ArcMAP وتعديلها، أما باقي المشاكل فهي تحتاج للإكمال حقلياً بعملية الرفع الطبوغرافي، (بنسبة 2 % من الرقمنة)، لذلك قمنا بأعمال إكمال للرقمنة بالاستعانة بالرفع الطبوغرافي التقليدي، نورد فيما يلي مثالاً لمرحلة الإكمال الحقلية، تتمثل بالرفع الطبوغرافي لمدرج دمر الثقافي باستخدام الأجهزة المساحية (Total Leica 06 Station)، والرسم بواسطة برامج الرسم الهندسية (Civil 3D) (الشكل (16)).

يوضح الجدول (3) دقة قياس الزوايا والمسافات للجهاز المساحي المستخدم.

جدول (3). الفروقات بين القياسات الحقلية الأفقية باستخدام التقنيات المساحية والقياسات المقابلة لها على النموذج.

دقة قياس الزوايا	
	2'
	3 ^{cc}
دقة قياس المسافات	
Prism	3.0 ^{mm} + 2.0 ^{ppm}
Tape	3.0 ^{mm} + 2.0 ^{ppm}
Laser	3.0 ^{mm} + 2.0 ^{ppm}

حيث قمنا برسم جلسات المدرج ومحيطه والحصول على النموذج ثلاثي الأبعاد له بالاستعانة بالمناسب التي حصلنا عليها بعملية الرفع الطبوغرافي.

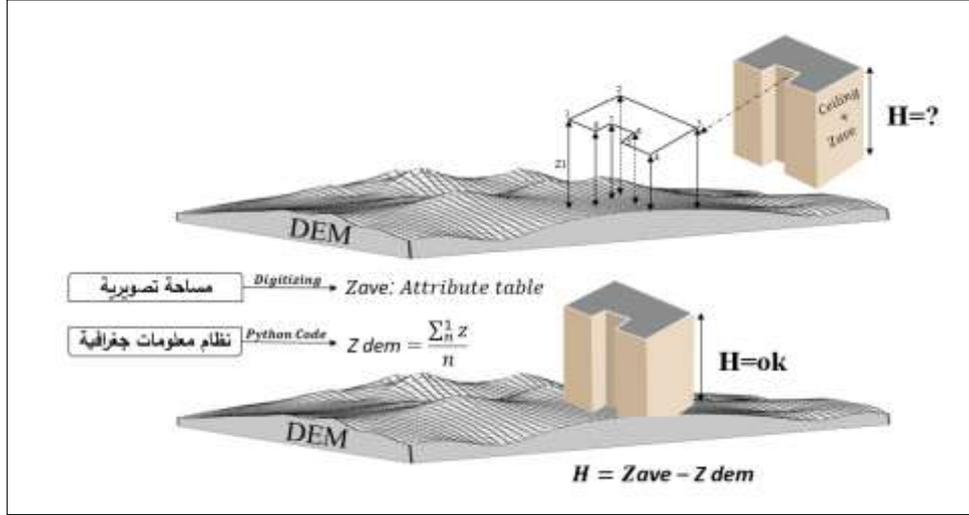


الشكل (16). رسم مدرج دمر الثقافي.

1-3- توليد النموذج ثلاثي الأبعاد

من أجل توليد النموذج ثلاثي الأبعاد للسماوات السابقة لأبد من إرجاعها إلى سطح مرجعي وهو النموذج الرقمي للارتفاعات DEM والحصول على ارتفاعات هذه السماوات Zave بالنسبة لهذا النموذج. إن هذه الارتفاعات بالإضافة إلى نتائج الرقمنة للسماوات هي مدخلات توليد النموذج ثلاثي الأبعاد في برمجيات الإظهار ثلاثي الأبعاد في نظم المعلومات الجغرافية مثل البرنامج ArcScene.

قمنا بحساب ارتفاع كل سمة من السماوات المرقمنة بشكل آلي باستخدام كود برمجي مكتوب بلغة Python ضمن برنامج ArcMAP مهمة هذا الكود هو انجاز الاسقاط العمودي للسماوات ثلاثية الأبعاد المخزنة ضمن قاعدة بيانات StereoAnalyst على نموذج الارتفاع الرقمي DEM وحساب ارتفاعات هذه السماوات ثم اضافتها كحقل جديد في هذه القاعدة، نوضح في (الشكل 17)) نموذج لتطبيق الكود على سمة الأبنية، مع العلم أنه تم تطبيق الكود نفسه لباقي السماوات.



الشكل (17). نموذج لآلية عمل الكود على سمة الأبنية.

فيما يخص التسلسل العام لعمل الكود (الشكل (18))، فهو موضح في الخطوات التالية:



الشكل (18). خوارزمية عمل الكود.

1. تهيئة بيئة العمل أي تحديد المسار الذي يحتوي على البيانات.
2. تحويل الأبنية إلى نقاط داخلية يعني ذلك تحويل طبقة الأبنية إلى نقاط لسهولة استخراج الارتفاعات.
3. استخراج قيم الارتفاع من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) (دقته الشاقولية 1.5 متر) لاستخراج قيم الارتفاع لكل بناء.
4. إضافة حقل جديد لحفظ قيم الارتفاع المستخرجة أي إضافة حقل جديد لتخزين قيم الارتفاع المستخرجة.
5. تحديث الحقل الجديد ليحتوي على قيم الارتفاع.
6. حساب متوسط الارتفاعات داخل كل بناء.
7. التحقق من وجود الحقل الذي يحتوي على المتوسط.
8. إضافة حقل جديد لحفظ ارتفاع المباني في طبقة الأبنية.
9. إضافة حقل جديد لحساب قيمة H (الفرق بين المتوسط المستخرج والارتفاع المستخرج من الـ DEM).
10. إنشاء قاموس لتخزين المتوسطات لكل بناء.
11. تحديث طبقة الأبنية بحساب الارتفاعات.
12. حساب وتحديث قيمة H لكل نقطة بناء.

1-4- إظهار المشهد ثلاثي الأبعاد

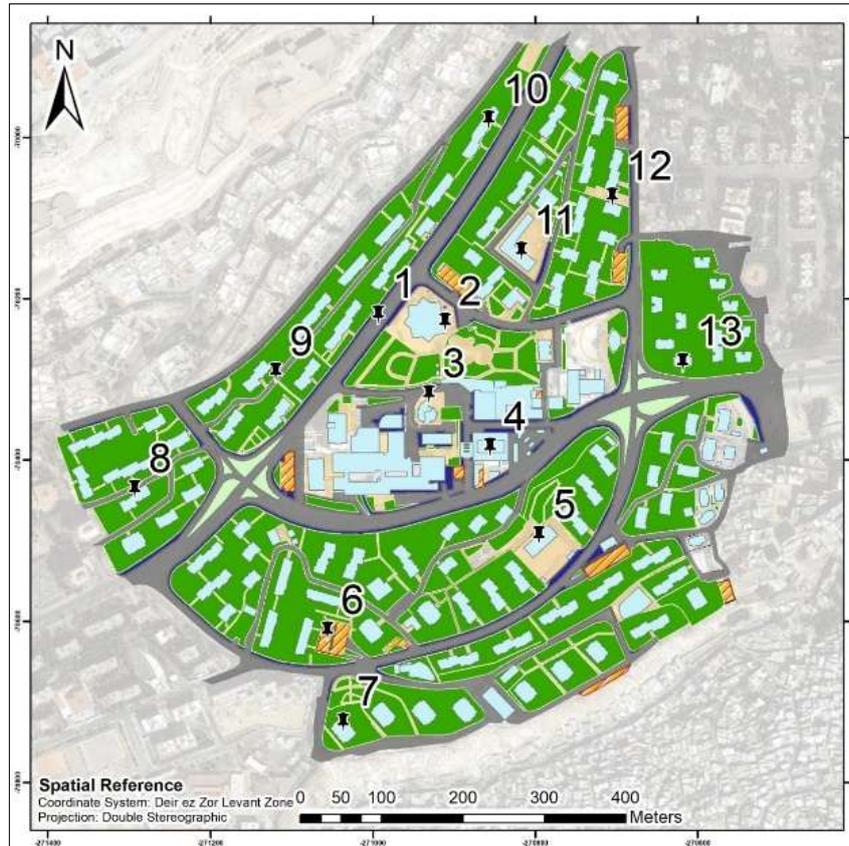
قمنا بتصدير قاعدة البيانات التي تم الحصول عليها سابقاً عن طريق البرنامج StereoAnalyst من بلوك الصور الموجة لمدينة ضاحية الشام الجديدة، وذلك في بيئة ثلاثية الأبعاد عن طريق استخدام برنامج ArcScene وهو إحدى البرمجيات الملحقة بالبرنامج ArcGIS 10.8. والذي يتيح عرض طبقات متعددة من الصيغة المترسية Raster، وطبقات من النوع الشعاعي Vector، من أجل عرضها، تفسيرها، وتقييم النموذج ثلاثي الأبعاد. تم إظهار النموذج بشكل نهائي بواسطة برنامج ArcScene، وذلك بعد التحقق من المستوى الأول، أدرجنا السمات الناتجة من عملية الرقمنة بعد حساب ارتفاعاتها باستخدام الكود البرمجي، حيث تم إسقاط كافة السمات على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة، ومن ثم إعطائها انبثاق Extrude بالاستناد إلى نموذج الارتفاع الرقمي DEM وبيانات الحقل H لكل السمات، بالاستعانة بالبرنامج تم إضافة بعض المظاهر الافتراضية التجميلية مثل الأشجار وأعمدة الإنارة... إلخ)، الشكل (19).



الشكل (19). النموذج ثلاثي الأبعاد.

1-5- تقييم دقة النموذج ثلاثي الأبعاد

المرحلة الأخيرة من دراسة التكامل بين المساحة التصويرية ونظم المعلومات الجغرافية في النمذجة ثلاثية الأبعاد للأبنية هي تقييم دقة النموذج ثلاثي الأبعاد الناتج عن هذا التكامل، تمت عملية تقييم الدقة من خلال إجراء قياسات للأشكال الهندسية في النموذج ثلاثي الأبعاد ومقارنتها مع القياسات الحقيقية حقلياً (الشكل (20)) باستخدام الأجهزة المساحية.



الشكل (20). مواقع قياسات تقييم الدقة.

يبين الجدول (4) الفروقات بين القياسات الحقلية الأفقية باستخدام التقنيات المساحية والقياسات المقابلة لها على النموذج ثلاثي الأبعاد، بينما يوضح الجدول (5) الفروقات بين القياسات الحقلية الشاقولية باستخدام التقنيات المساحية والقياسات المقابلة لها على النموذج ثلاثي الأبعاد.

تم استخدام قانس المسافات الليزري Ingco لقياس الأطوال بدقة ± 2 مم لكل 60 متر، وجهاز Total Station Leica 06 لقياس ارتفاعات الأبنية، الموضح دقته في الجدول (3).

جدول (4). الفروقات بين القياسات الحقلية الأفقية باستخدام التقنيات المساحية والقياسات المقابلة لها على النموذج.

رقم القياس	(m) القياس على النموذج	(m) القياس الحقيقي	(m) الفرق
1	15.87	15.79	-0.08
2	11.62	11.48	-0.14
3	12.22	12.34	0.12
6	14.81	14.75	-0.06
8	6.06	6.02	-0.04
9	6.17	6.11	-0.06
11	35.99	36.21	0.22
12	13.31	13.43	0.12

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X-x_i)^2}{n}} = \mp 0.118 \text{ m}$$

الخطأ المتوسط التربيع في القياسات الأفقية:

جدول (5). الفروقات بين القياسات الحقلية الشاقولية باستخدام التقنيات المساحية والقياسات المقابلة لها على النموذج.

رقم القياس	(m) القياس على النموذج	(m) القياس الحقيقي	(m) الفرق
4	53.95	54.17	0.22
5	10.96	10.58	-0.38
7	45.04	45.21	0.17
10	11.59	11.42	-0.17
13	25.96	25.67	-0.29

$$RMSEz = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X-x_i)^2}{n}} = \mp 0.258 m$$

الخطأ المتوسط التربيع في القياسات الشاقولية:

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. إن تحقق التكامل بين تقنيات المساحة التصويرية و GIS قد أدى إلى بناء نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق للوسط الحضري، ما يعكس إمكانية دمج المعالجة التصويرية مع التحليل المكاني بشكل فعال.
2. نجاح التوجيه الداخلي للصور الجوية، حيث بلغ الخطأ المتوسط التريبي للصورة اليسرى 7 ميكرون، ولليمنى 5.25 ميكرون، وكلاهما أقل من الحد المسموح به البالغ 8.25 ميكرون (0.33 × 25 ميكرون)، مما يدل على جودة المعايرة.
3. الخطأ التريبي الكلي لنقاط الضبط الأرضية بلغ 0.065 متر، وهو أقل من الدقة المسموحة، مما يدل على دقة عالية في نتائج التثليث الجوي واعتماديتها للتحليل المكاني.
4. تم استخدام كود برمجي بلغة Python لحساب قيم الارتفاعات (Zave) أوتوماتيكياً استناداً إلى نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، مما قلل من الزمن اللازم للمعالجة اليدوية ورفع الكفاءة.
5. إنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد متكامل باستخدام ArcScene بعد التحقق منه بصرياً باستخدام نظارات الأناغليف، مع التأكد من وضوح وتمييز السمات، خاصة ضمن منطقة التداخل.
6. تم رقمنة وتصنيف وتجميع السمات ثلاثية الأبعاد بدقة داخل منطقة التداخل، وإنشاء قاعدة بيانات مكانية وصفية، مما يعزز من قابلية استخدام النموذج في تطبيقات التخطيط الحضري.
7. نقطة الضعف الأساسية في تقنية التحليل المجسم أنه يحتاج لكمية كبيرة من الأعمال اليدوية (رقمنة السمات في منطقة تداخل المزدوج التجسمي) وهو الأمر الذي يتم تجاوزه بتطبيق النمذجة المؤتمتة عبر تقنية اقتطاع البنية من الحركة SFM.

التوصيات:

1. تعزيز التكامل بين المساحة التصويرية و GIS في الدراسات الحضرية، لما يوفره من دقة وفعالية في نمذجة الواقع.
2. الاعتماد على الأتمتة باستخدام Python لاستخراج البيانات وتحليلها، لتقليل الجهد اليدوي وزيادة الكفاءة.
3. الاهتمام بدقة التوجيه الداخلي والخارجي ومراقبة مؤشرات الخطأ، لضمان نتائج موثوقة في التثليث الجوي.
4. إنشاء قاعدة بيانات مكانية ثلاثية الأبعاد مرافقة للنموذج لتسهيل التحليل والتوظيف العملي للبيانات.
5. التحقق الميداني ومقارنة النموذج مع القياسات الحقيقية لدعم دقة النموذج واعتماديته.

References:

- [1] P.Shan, W.Sun, Research on 3D urban landscape design and evaluation based on geographic information system. *Environmental Earth Sciences*, 80(17), 597, (2021)
- [2] I.M.Badwi, H.M.Ellaithy, and H.E.Youssef, 3D-GIS parametric modelling for virtual urban simulation using CityEngine. *Annals of GIS*, 28(3), 325-341, (2020).
- [3] M.Zhang, J.WU, Y.Liu, J.Zhang, and G.LI, GIS based procedural modeling in 3D urban design. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(10), 531, (2022).
- [4] H.K.Khayyal, Z.M.Zeidan, and A.A.Beshr, Creation and spatial analysis of 3D city modeling based on GIS data. *Civil Engineering Journal*, 8(1), 105, (2022)
- [5] N.E.Sadiqe, O.Z.Jasim, and M.AL-Bakri, The extraction of buildings height using satellite photogrammetric within 3D-Geodatabase of smart city: Kirkuk city as a case study. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 3219, No. 1). AIP Publishing. (2024, November).
- [6] B.G.Pantoja-Rosero, R.Achanta, M.Kozinski, P.Fua, F.Perez-Cruz, and K.Beyer, Generating LOD3 building models from structure-from-motion and semantic segmentation. *Automation in Construction*, 141, 104430, (2022).
- [7] M.Pepe, D.Costantino, V.S.Alfio, G.Vozza, and E.Cartellino, A novel method based on deep learning, GIS and geomatics software for building a 3D city model from VHR satellite stereo imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(10), 697, (2021).
- [8] D.Smith, & K.Heidemans, New standard for nass era., Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing* 81(3), 173-176, (2015).
- [9] O.Al-Khalil, R.Huwaijeh, A Study of the Effect of the Number of Test Points on the Vertical Accuracy of the Free-Form Digital Elevation Model (SRTM-1). Case Study: Latakia Governorate. *Latakia University Journal for Scientific Research and Studies - Engineering Sciences Series*.45(5), 68-51. **(In Arabic)**, (2023).
- [10] F.Remondino, S.Del Pizzo, T.P.Kersten, and S.Troisi, Low-cost and open-source solutions for automated image orientation-A critical overview. EuroMed 2012: The 4th International Conference on Progress in Cultural Heritage Preservation, in *Euro-Mediterranean Conference* 40–54, (2012).
- [11] H.Afsharnia, A.Azizi, and H.Arefi, Accuracy improvement by the least squares image matching evaluated on the cartosat-1. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40,11. 10.5194/isprsarchives-XL-1-W5-11-2015, (2015).