



جامعة النجاح الوطنية
كلية الدراسات العليا

تطوير آلية عمل استخدام طائرات رباعية المراوح في الأعمال المساحية

إعداد

سماهر عبدالله إبراهيم أعرج

إشراف

د. أحمد طه

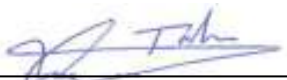
قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في الجغرافيا،
من كلية الدراسات العليا، في جامعة النجاح الوطنية، نابلس - فلسطين.

تطوير آلية عمل استخدام طائرات رباعية المراوح
في الأعمال المساحية

إعداد

سماهر عبدالله إبراهيم أعرج

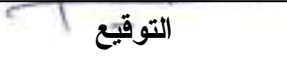
نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2024/11/21م، وأجيزت:



التوقيع



التوقيع



التوقيع

د. أحمد طه

المشرف الرئيسي

د. غادي يونس

الممتحن الخارجي

د. علي عبد الحميد

الممتحن الداخلي

الإهداء

واخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله ما تم جهد ولا ختم سعي الا بفضلله، وما تخطى العبد من عقوبات وصعوبات الا بتوفيقه ومعونته.

فإلى كل من أحب أهدي إليكم كلماتي وأحرفي التي جمعتها وهنأ على وهن، بين طيات محنتي التي استهلكت مني هشاشة الروح، ودفء الفراش أياماً؛ حتى أثمر وأينع.

إلى من تعلمت منهما كيف أحمل قلبي، وأخط حرفي، وأقلب صفحاتي شغفاً؛ حتى كتبت صغيراً على جدار دفتري (أمي وأبي)، ليس هذا الإهداء إلا تشريفاً لي إن قبلاه، ورفعاً لشأني إن رفعاه، وقبولاً لجهدني إن رضياه، فجزاكم الله عني خير الجزاء، ورحم رويكما وفؤاديكما، وتقبلكما في عليين.

ورب أخ لك كان غريباً فاقترب برحمه الله، إلى أخي وشقيق روحي، وتوأم نفسي، وملاك قلبي، أخي الحبيب (زاهر، كاظم) وإلى زوجاتهم، فأنتم ممن أسندتم من خذله الجميع، وتقربتم ممن ابتعد عنه الجميع، ودعمتم روحي، وثبتم قلبي، وشددتم أزري، فلکم جميل الثناء والحب.

وإلى تلك الجميلة، بهية الدعاء، رائعة العطاء، فخمة النداء، ولها من اسمها عظيم لثناء؛ إذ إن اسمها الجميل (سناء)، فأليك أختاه، يا هدوء روحي، ومتنفس همي، وسكينة نفسي، إليك ثمرة جهدي هذه، وجزاك الله خيرًا.

وإلى باقي إخوتي وأخواتي، وأبنائهم جميعاً، وإلى كل من مد لي يد العون، في هذه المسيرة الشاقة، التي ما كان لها أن تكتمل لولا وجودهم المشرق، ودعمهم الساطع، فما عزفوه لي من أنغام المآزرة الشادية، سيبقى أثره حياً في ذاكرتي ما حييت.

إلى شلال الدماء المتدفق، إلى كل شهيد وأسير وثكلى ویتيم وجريح ومقاوم، إلى كل باكٍ وجائع ومتألم ونازح، إلى (روح الروح) و(معلش)، إلى كبار الأكابر، إلى من علمتم الأمة ما لم تعلم، إليكم يا ملوك الثبات، وسلاطين العزة في غزة، إلى بحرها وأرضها وسمائها وبياراتها وحراراتها، إليكم أهدي رسالتي هذه.

الشكر والتقدير

انطلاقاً من التربية النبوية بحفظ الفضل لأهل الفضل ولمن أسدي معروفاً لقوله صلى الله عليه وسلم: "لا يشكر الله من لا يشكر الناس"، وكذلك لقوله تعالى "ومن يشكر فإنما يشكر لنفسه"، فاني أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتتان والعرفان

لدكتور الفاضل أحمد طه الذي تفضل بالموافقة على الاشراف على هذه الرسالة والذي كان لملاحظاته النيرة عظيم الأثر في اخراج هذه الرسالة الى حيز النور. فله مني الشكر الخالص على كل ما قدم.

كما وأتقدم كذلك بالشكر لكل أعضاء الهيئة التدريسية في قسم الجغرافيا.

وكذلك للأستاذين الفاضلين، الدكتور غادي يونس والدكتور علي عبد الحميد اللذين تكرما بالموافقة على المشاركة في مناقشة هذه الرسالة.

الإقرار

أنا الموقعة أدناه مقدمة الرسالة التي تحمل عنوان:

تطوير آلية عمل استخدام طائرات رباعية المراوح في الأعمال المساحية

أقر بأن ما اشتملت عليه هذه الرسالة هي نتاج جهدي الخاص، باستثناء ما تمت الإشارة إليه
حيثما ورد، وأن هذه الرسالة ككل أو أي جزء منها لم يقدم من قبل لنيل أية درجة أو لقب علمي
أو بحثي لدى أية مؤسسة تعليمية أو بحثية أخرى.

اسم الطالبة: ساره عبدالله إبراهيم العرج

التوقيع: 

التاريخ: 21-11-2024

فهرس المحتويات

ج	الإهداء	.....
د	الشكر والتقدير	.....
هـ	الإقرار	.....
و	فهرس المحتويات	.....
ك	فهرس الجداول	.....
ل	فهرس الأشكال	.....
ن	فهرس الخرائط	.....
س	فهرس الملاحق	.....
ع	الملخص	.....
1	الفصل الأول: مقدمة الدراسة ومنهجيتها	.....
1	1.1 مقدمة الدراسة	.....
2	1.2 مشكلة الدراسة	.....
3	1.3 أهمية الدراسة	.....
3	1.4 أهداف الدراسة	.....
4	1.5 أسئلة الدراسة	.....
4	1.6 خطة ومنهجية الدراسة	.....
5	1.7 خطوات الدراسة	.....
5	1.8 منطقة الدراسة	.....
7	1.9 الدراسات السابقة	.....
7	1.9.1 الدراسات العربية	.....
8	1.9.2 الدراسات الأجنبية	.....
14	الفصل الثاني: أساسيات المساحة الجوي	.....
14	2.1 المساحة الجوية	.....

16	2.2 أساليب المسح التصويري وتطبيقاتها المتنوعة
19	2.3 الدقة المكانية ودقة السطوح
20	2.4 أجهزة تحديد المواقع العالمية (GNSS)
22	2.5 أجهزة القصور الذاتي (IMU)
23	2.6 بناء النموذج أثناء الحركة: Structure From Motion
25	2.7 أساسيات إعادة بناء النماذج Scene Reconstrction
26	2.8 التعريف بالطائرات رباعية المراوح (الدرونز)، وأنواعها ومجالات استخدامها
26	2.8.1 ماهية الطائرات رباعية المراوح
28	2.8.2 أنواع طائرات الدرونز
29	2.8.2.1 الطائرات المسيرة دون طيار ذات الأجنحة الثابتة (Fixed Wing Drone)
29	2.8.2.2 الطائرات دون طيار متعددة المروحيات (Multi Rotor Drone)
30	2.8.2.3 طائرات أحادية المروحية (Single Rotor Drone)
30	2.8.2.4 طائرات هجينة ثابتة الجناحين (Fixed Wing Hybrid VTOL)
31	2.8.3 آلية عمل طائرة الدرونز
33	2.8.4 مجالات استخدام طائرات الدرونز
34	2.8.4.1 التخطيط الحضري
34	2.8.4.2 مسح الأراضي
35	2.8.4.3 الأعمال الهندسية
36	2.8.4.4 التنقيب
36	2.8.4.5 قياس حجم المخزون
36	2.8.4.6 التدخل السريع وقت الكوارث
37	2.8.4.7 القطاع الصحي
38	2.8.4.8 المجال الإعلامي
38	2.9 استخدام برنامج Agisoft Metashape في معالجة وتحليل الصور الجوية

42	الفصل الثالث: معايير واعدادات استخدام الطائرات رباعية المراوح في الأعمال المساحية
42	3.1 الدقة المكانية (Spatial Resolution)
48	3.2 اعدادات خطة الطيران
48	3.2.1 اختيار ارتفاع الطيران المناسب
49	3.2.2 اختيار الوقت المناسب للتصوير
50	3.2.3 اختيار نسبة التداخل في الصور الجوية (Photo Overlap)
50	3.2.4 أنواع خطه الطيران
53	3.3 معايرة الكاميرا المستخدمة في الطائرة رباعية المراوح Phantom 4 pro
55	3.4 اعدادات الكاميرا المستخدمة في طائرة Phantom 4 pro
61	3.5 معايرة البوصلة في الطائرة رباعية المراوح (Phantom 4 pro) Calibrating the Compass
63	3.6 العودة الى النقطة الرئيسية (RTH)
65	الفصل الرابع: فتح مشروع تصوير جوي وتحليل النتائج
65	4.1 المشروع الأول: مسح منطقة محدودة المساحة نسبيا
65	4.1.1 مرحلة جمع البيانات Data Collection
65	4.1.1.1 جمع المعلومات عن المنطقة المراد مسحها جويا و التقاط الصور الجوية لها
66	4.1.1.2 توزيع نقاط الضبط الأرضي على منطقة الدراسة وأخذ قياساتها باستخدام جهاز GPS
66	4.1.1.3 تخطيط رحلة تصوير جوي
67	4.1.2 فتح مشروع تصوير جوي (مرحلة معالجة البيانات)
67	4.1.2.1 اعداد البرنامج
68	4.1.2.2 اضافة الصور Add Photos
68	4.1.2.3 تحويل الاحداثيات الى احداثيات فلسطينية Convert
68	4.1.2.4 ربط الصور Align Photos لتكوين نقاط ربط Tie Points
69	4.1.2.5 قياس نقاط الربط الارضي Ground Control Points

69	Optimization of Camera Alignment	تحسين معايرة الكاميرا
70	Build Dense Cloud	انشاء سحابة نقطية كثيفة
70	Build Mish	انشاء نموذج شبكي
70	Build Texture	عمل نموذج ثلاثي الابعاد بالوان طبيعية
71	Build DEM	انشاء DSM وDTM باستخدام أداة
71	Export	اخراج نموذج الارتفاعات والصورة العمودية
72		مرحلة تحليل النتائج
72		معايرة الكاميرا المستخدمة في التصوير الجوي
74		تحليل دقة التصوير الجوي لقطعة أرض محدودة المساحة نسبيا
81		المشروع الثاني: مشروع الطرق
81		مرحلة جمع البيانات للمشروع الثاني
81		التعريف بمنطقة الدراسة
82		توزيع نقاط الضبط الأرضية (GCPs)
83		اعداد خطة الطيران لمشروع الطرق
84		معالجة البيانات ونتائج تحليلها
84		Survey Data
85		Camera Calibration
88		Camera Locations
88		تحليل نقاط الضبط الأرضية
92		مخرجات معالجة الصور الجوية
92		Digital Elevation Model (DEM)
93		حساب درجة الانحدار (Slope Distance)
95		Build Ortho mosaic
97		ملخص النتائج وآلية التصوير الجوي باستخدام طائرات الدرونز

102	..... النتائج والتوصيات
102	..... النتائج
103	..... التوصيات
105	..... المراجع العلمية
110	..... الملاحق
b	..... Abstract

فهرس الجداول

- جدول (1): الدقة المكانية حسب ارتفاع الطيران 45
- جدول (2): توزيع الاهداف على ارتفاعات مختلفة 110
- جدول (3): دقة وضوح الأهداف أثناء حركة الطائرة على ارتفاعات مختلفة وبمعاملات العناصر الأساسية للتصوير الجوي 113
- جدول (4): توزيع 9 نقاط ضبط أرضية (GCPs) في منطقة الدراسة (قرية سريس) 116
- جدول (5): تشوه العدسات ونتائج K3,K2,K1 73
- جدول (6): البعد البؤري (F) ونقطة الأساس (P) 74
- جدول (7): ضبط النموذج بالاعتماد على 3 نقاط ضبط أرضي 75
- جدول (8): تحليل دقة النموذج بالاعتماد على 6 نقاط تحقق ((check points) 76
- جدول (9): ضبط النموذج بالاعتماد على 5 نقاط ضبط أرضي 77
- جدول (10): تحليل دقة النموذج بالاعتماد على 4 نقاط تحقق 77
- جدول (11): ضبط النموذج بالاعتماد على 8 نقاط ضبط أرضي 78
- جدول (12): تحليل دقة النموذج بالاعتماد على نقطة تحقق واحدة 79
- جدول (13): ضبط النموذج بالاعتماد على 20 نقطة تحقق (Check Points) 80
- جدول (14): فرق الاحداثيات بين نقاط التحكم الأرضية لمشروع الطرق 117
- جدول (15): مقارنة شكل نقاط الضبط الأرضي ووضوحهم بالنسبة للاختلاف في الارتفاع لمشروع الطرق 118
- جدول (16): نتائج معاملات المعايرة ومصفوفة الارتباط والأخطاء 120
- جدول (17): تحليل نتائج نقاط الضبط الأرضي (GCPs) لمشروع الطرق 121
- جدول (18): تحليل نقاط التحقق (check points) لمشروع الطرق 121
- جدول (19): ضبط النموذج بالاعتماد على 20 نقطة تحقق (Check Points) في المشروع الثاني (مشروع الطريق) 122

فهرس الأشكال

- شكل (1): مواقع الدراسة الثلاث ملعب في الحرم الجامعي القديم لجامعة النجاح وقطعة أرض في قرية سيريس وطريق في نابلس الجديدة (عراق بورين)..... 6
- شكل (2): طائرة رباعية المراوح من نوع Phantom 4 Pro 28
- شكل (3): أنواع طائرات الدرونز 31
- شكل (4): الية عمل الطائرة رباعية المراوح 33
- شكل (5): مسح الأراضي 35
- شكل (6): نقل حقيبة الإسعاف الأولية بالطائرة رباعية المراوح 38
- شكل (7): الدقة المكانية لتوزيع الأهداف 43
- شكل (8): الشكل الأمثل للأهداف المستخدمه كنقاط ضبط ارضي 46
- شكل (9): أنواع خطط الطيران في برنامج pix4D 53
- شكل (10): معايرة كاميرا الدرونز أثناء الطيران 123
- شكل (11): ركائز اعدادات الكاميرا 124
- شكل (12): حساسية المجس للضوء (ISO) 125
- شكل (13): منطقة الدراسة (قطعة أرض في قرية سيريس)، وتوزيع نقاط الضبط الأرضي عليها 126
- شكل (14): اضافة الصور الى برنامج Agisoft Metashape 126
- شكل (15): تحويل الاحداثيات إلى احداثيات فلسطينية 127
- شكل (16): ربط الصور Align Photos 128
- شكل (17): قياس نقاط الربط الارضي Ground Control Points 129
- شكل (18): تحسين معايرة الكاميرا Optimization of Camera Alignment 130
- شكل (19): انشاء سحابة نقطية كثيفة Build Dense Cloud 131
- شكل (20): انشاء نموذج شبكي build mish 131
- شكل (21): نموذج ثلاثي الابعاد بالوان طبيعية Build Texture 132

- شكل (22): Build DEM 132
- شكل (23): اخراج نموذج الارتفاعات والصورة العمودية Export 133
- شكل (24): تشوه العدسات 133
- شكل (25): توزيع نقاط الضبط الأرضي في منطقة الدراسة (سيريس) 134
- شكل (26): توزيع 20 نقطة اختبار (Gcheck Points) على منطة الدراسة (منطقة صغيرة المساحة نسبيًا في قرية سريس) 134
- شكل (27): منطقة الدراسة: طريق في قرية عراق بورين 135
- شكل (28): قياس طول الطريق في (المشروع الثاني) بالاعتماد على أمر (Ruler) 136
- شكل (29): توزيع نقاط الضبط الأرضية على منطقة الدراسة (طريق في قرية عراق بورين) 137
- شكل (30): Camera Location and Image Overlap 137
- شكل (31): Camera Calibration 138
- شكل (32): Camera Locations 138
- شكل (33): موقع نقاط الضبط الأرضي (GCPs) وتقديرات الخطأ فيه 139
- شكل (34): توزيع 20 نقطة تحقق على منطقة الدراسة (طريق في قرية عراق بورين) 139
- شكل (35): منهجية والية استخدام الطائرات رباعية المراوح في المشاريع المساحية 99

فهرس الخرائط

93	Build DEM and Contours : (1) خريطة
95	Slope Distance: (2) خريطة
96	Orhomosaic: (3) خريطة

فهرس الملاحق

110	..... ملحق (أ): الجداول
123	..... ملحق (ب): الأشكال

تطوير آلية عمل استخدام طائرات رباعية المراوح في الأعمال المساحية

إعداد

سماهر عبدالله إبراهيم أعرج

إشراف

د. أحمد طه

الملخص

لقد شهدت طرق المسح تغييرات كبيرة بسبب التكنولوجيا الحديثة التي تلبي متطلبات السوق الحالية للحلول المحددة والاقتصادية بكفاءة عالية. تقدم تقنية المسح المنهجي نتائج صحيحة ولكنها تتطلب جهداً بشرياً كبيراً إلى جانب التكاليف الباهظة والمدد الطويلة قبل إنتاج النتائج في المناطق الجبلية والمستنقعات. لقد أصبح التصوير الجوي مُثبتاً كطريقة لجمع البيانات توفر بيانات دقيقة مع القضاء على الحاجة إلى العمل البشري المكثف وتقليل العقبات في تقييم التضاريس التي لا يمكن الوصول إليها. تقدم الدراسة المعروضة أساساً علمياً كاملاً لاستخدام الطائرات بدون طيار في أنشطة المسح. تستهدف البحث ثلاثة مواقع تفتيش متميزة تظهر خصائص وأبعاد متنوعة. خدمت منطقة ملعب الرياضي أغراض تجريبية أساساً حيث لم يعتبرها المهندسون كتصميم هندسي رئيسي. أجرى المهندسون المحترفون مسوحات دقيقة بالطائرات بدون طيار على الأقاليم الثانية والثالثة. قام المشروع الهندسي الأول بتحليل منطقة أرض صغيرة من خلال مزج ثلاث نقاط تحكم أرضية وست نقاط تحقق والتي أنتجت نتائج دقيقة بمقدار 0.18 سم و4.3 سم. أظهر التحليل أن نقاط التحكم الأرضية وصلت إلى دقة 1.26 سم ودقة النقطة التحقق بلغت 2.08 سم. خلال مسح الطرق، استخدم المشروع ثلاث نقاط تحكم أرضية مع سبع نقاط تحقق أنتجت معدلات خطأ 0.51 سم و3.9 سم، على التوالي. أظهرت الاختبارات الإضافية باستخدام تسع نقاط تحكم أرضية ونقطة تحقق واحدة خطأ بمقدار 1.3 سم في المجموعة الأولى من البيانات وخطأ 1.6 سم في الثانية. اعتمدت النتائج الدقيقة للمسح على اختيار نقاط التحكم يدوياً في كلا المشروعين. أنتجت النتائج من تحليلات ثلاث نقاط التحكم دقة عالية ولكنها قدمت ثقة

ضعيفة في البيانات المكتسبة. تحسنت موثوقية البيانات من خلال تقليل عدد نقاط التحقق المستخدمة كنقاط تحكم أرضية. تم تأكيد ملاءمة نموذج المسح لعمليات المسح الدقيقة بإضافة عشرين نقطة تحكم أرضية مع نقطة تحقق واحدة في كلا المشروعين. تظهر هذه البحوث أن تقنية الطائرات بدون طيار يمكن أن تعظم عمليات المسح لأنها تؤدي جمع فعال ونقل النفقات مع إنتاج نتائج عالية الدقة. يجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على حل مشكلات تشغيل الطائرات بدون طيار في المناطق المقيدة مع توسيع هذه المسوحات إلى إعدادات ميدانية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الطائرات رباعية المراوح، نظام التوقيع الكوني، الصورة العمودية

الفصل الأول

مقدمة الدراسة ومنهجيتها

1.1 مقدمة الدراسة

أدى التقدم التكنولوجي الكبير الذي نعاصره، وحاجة السوق الملحة إلى إنجاز المشاريع بدقة عالية، وسرعة كبيرة، وتكلفة منخفضة، إلى تطور علم المساحة بشكل كبير، مما جعلنا قادرين على مواكبة عصر السرعة، وإنجاز المهام بأقصر وقت ممكن؛ حيث انتقل علم المساحة نقلة نوعية من المساحة الأرضية التي كانت تستخدم أدوات بسيطة كالجنزير والشريط، ثم أجهزة أكثر تطوراً كجهاز المحطة الشاملة وجهاز تحديد المواقع العالمي GPS، إلى المساحة التصويرية، وبالرغم من أن أجهزة المساحة الأرضية تضمن دقة عالية في تحديد المواقع، إلا أن العمل في أجهزة القياس هذه يتطلب القياس المباشر للمعالم، والذي يحتاج إلى أيدي عاملة كثيرة من ذوي الاختصاص، ويجب ألا ننسى العوائق التي تمنع الوصول إلى الأهداف المطلوب قياسها مثل المناطق الجبلية والوعرة والمستنقعات، فضلاً عن التكلفة المادية الباهظة والوقت الكبير الذي يتطلبه إنجاز العمل (علي، 2011).

وهنا تأتي الحاجة إلى طرق غير تقليدية لقياس الأهداف غير المباشرة، التي تتم من خلال طرق التصوير الجوي، وهذه الطرق تمكن من الحصول على معلومات متزنة وتفسيرية للمعالم النقطية، والخطية، والمساحية، حيث إنه باستخدام هذه التقنية، أصبح لا يوجد هناك مناطق لا يمكن الوصول إليها، إضافةً إلى أنها لا تحتاج إلى عدد كبير من الأيدي العاملة والمزيد من الخبراء المهرة (علوانة، 2017).

لذلك توجب علينا الإشارة إلى أن الكاميرات كبيرة الحجم بقيت المصدر المهم والوحيد للتصوير الجوي للعديد من السنوات، لكن ارتفاع تكلفة التصوير بمثل هذه الكاميرات وحاجتها إلى طائرات كبيرة لحملها، وضرورة وجود مجموعة من الخبراء وطواقم خاصة للتصوير والتي تحتاج إلى تصاريح

تمكنها من تنفيذ خطة الطيران، الأمر الذي أعطى الفرصة للاهتمام باستخدام طائرات الدرونز ذات الكاميرات الرقمية صغيرة الحجم لتكون بديلاً عن طرق التصوير التقليدي.

تتمتع طائرة الدرونز بأهمية كبيرة؛ نظراً لتزايد مجالات استخدامها وتحقيقها للعديد من الأهداف، ومن المتوقع زيادة مجالات الاستخدام في المستقبل، خاصة في ظل تنامي الاهتمام بها من جانب الدول والشركات والأفراد والمنظمات على حد سواء، وحتى وقت قريب كانت هذه الطائرة تقتصر على المجال العسكري، لكن في الوقت الحاضر أصبحت تستخدم في المجال المدني، كاستخدامها في دراسة التغيرات البيئية والعمليات الزراعية وتقلبات الطقس والمراقبة والترفيه وغيرها، واستخدمت هذه الطائرات في دولة الإمارات للقيام بعمليات المسح والأعمال الجوية، وتعتبر مناسبة جداً لهذا الغرض؛ نظراً لأسعارها الزهيدة وصغر حجمها وطبيعتها التي لا تطلب تدخلاً بشرياً، والأمر المثير للاهتمام حول التصوير في هذه الطائرة أنه يمكن التحليق بها في مساحات ضيقة للغاية، وعادةً ما تكون أكثر مرونة، ويعد هذا أمراً حيوياً للتصوير خاصة في المناطق الداخلية والخطرة، لكن الوضع السياسي القائم في فلسطين شكل عائقاً كبيراً أمام استخدام هذه الطائرة، فاقترنت استخدامها على تصوير الحفلات والمهرجانات، وهناك محاولات بسيطة لاستخدامها في مجال المساحة التصويرية التفصيلية (مؤمن، 2016).

1.2 مشكلة الدراسة

تتمحور مشكلة الدراسة الرئيسية حول تطوير منهج علمي متكامل لتوظيف تقنيات الطائرات رباعية المراوح في المشاريع المساحية، مع التركيز على تحديد الإجراءات والمعايير اللازمة لتعزيز الدقة المكانية التي يمكن الحصول عليها من هذه الطائرات، يشمل ذلك تحليل العوامل المؤثرة في جودة البيانات المساحية المستنتجة، واستكشاف الطرق الأمثل لضبط إعدادات الطائرة وأدواتها، بما يضمن الحصول على معلومات دقيقة وموثوقة.

1.3 أهمية الدراسة

تبرز أهمية الدراسة في ظل الحاجة المتزايدة لتطبيق تقنيات جديدة وفعالة في المجال المساحي، وخاصة في ظل محدودية التقنيات المساحية المتوفرة في فلسطين التي تخضع لسياسات الاحتلال الاسرائيلي؛ حيث تقدم الطائرات رباعية المراوح امكانيات واعدة لاجراء المسح الأرضي بكفاءة ودقة عالية.

تساعد هذه الدراسة في توضيح الية الاستفادة من هذه التقنية بشكل أمثل؛ من خلال تحديد المعايير والاجراءات الضرورية لضمان الحصول على بيانات مساحية دقيقة وموثوقة؛ تشمل على فحص أدق التفاصيل مثل اعدادات الكاميرا، معايير معايرتها، واعداد خطة طيران، وتوزيع ورصد نقاط الضبط الأرضي.

علاوة على ذلك، يمكن لهذه الدراسة أن توفر قاعدة بيانات علمية تساهم في تطوير المهجيات والتقنيات المستخدمة في المسح الهندسي، كما تعزز من فهم كيفية الاستفادة الفعالة من الطائرات رباعية المراوح في هذا المجال.

1.4 أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى وضع منهجية علمية شاملة لتحقيق استخدام فعال للطائرات رباعية المروح في الأعمال المساحية، بما يتوافق مع الحاجة الى تحسين الدقة المكانية للبيانات المساحية، لتحقيق هذا الهدف العام، تتضمن الدراسة الأهداف الفرعية التالية:

1. إجراء مراجعة أدبية واسعة لفهم الإمكانيات والتحديات المرتبطة باستخدام الطائرات بدون طيار في مجالات المسح، مع التركيز بشكل خاص على كيفية تعزيز دقة البيانات.
2. تحديد وتقييم العوامل الرئيسية المؤثرة على دقة البيانات المساحية الملتقطة بواسطة الطائرات رباعية المراوح، مع التركيز على دراسة تأثير نقاط الضبط الأرضي على جودة النتائج المساحية.

3. تحديد الإعدادات الأمثل لكاميرات الطائرات رباعية المراوح، بما يشمل الخصائص الفنية كمعايرة الكاميرا، وإعدادات الكاميرا المتمثلة بحساسية الضوء (ISO)، وفتحة العدسة وسرعة الغالق للحصول على صور جوية عالية الدقة.
4. صياغة وتنفيذ خطة طيران استراتيجية تشمل تحديد الارتفاعات المثالية للطيران ومعاملات تداخل الصور، وتحديد عدد خطوط الطيران وغيرها؛ بما يضمن تغطية شاملة لمنطقة الدراسة وامكانية الحصول على بيانات دقيقة.
5. تطبيق وتقييم كفاءة برنامج Agisoft Metashape في معالجة وتحليل الصور الجوية واستتباط المخرجات المختلفة منها، السحابة النقطية، الصور العمودية، والنماذج الرقمية للارتفاعات، وغيرها.

1.5 أسئلة الدراسة

1. كيف يمكن تحديد وتوزيع نقاط الضبط الأرضي بطريقة تعظم من دقة البيانات المساحية المحصلة من الطائرات رباعية المراوح، وما هي العلاقة بين ارتفاع الطيران وأبعاد هذه النقاط؟
2. ما هي الإعدادات الضرورية لكاميرا الدرون وكيف تؤثر هذه الإعدادات في جودة ودقة الصور الجوية، خصوصاً في مجال الأعمال المساحية؟
3. ما هي آلية استخدام الطائرات رباعية المراوح في فتح مشاريع هندسية، بما يضمن الحصول على بيانات دقيقة وموثوقة يمكن الاعتماد عليها في المشاريع المساحية؟

1.6 خطة ومنهجية الدراسة

تتبع هذه الدراسة المنهج الوصفي، المتمثلة بتوضيح المبادئ الأساسية للتصوير الجوي وتطبيقاتها المتنوعة، والتعرف على الطائرات رباعية المراوح والية عملها ومجالات استخدامها. مع الاستعانة بالمنهج التحليلي، حيث تم تحليل البيانات باستخدام برنامج التصوير الجوي (Agisoft Metashape)

لمعالجة الصور الجوية الملتقطة باستخدام الطائرات رباعية المراوح، واخراج الخرائط الكنتورية و DEM باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

1.7 خطوات الدراسة

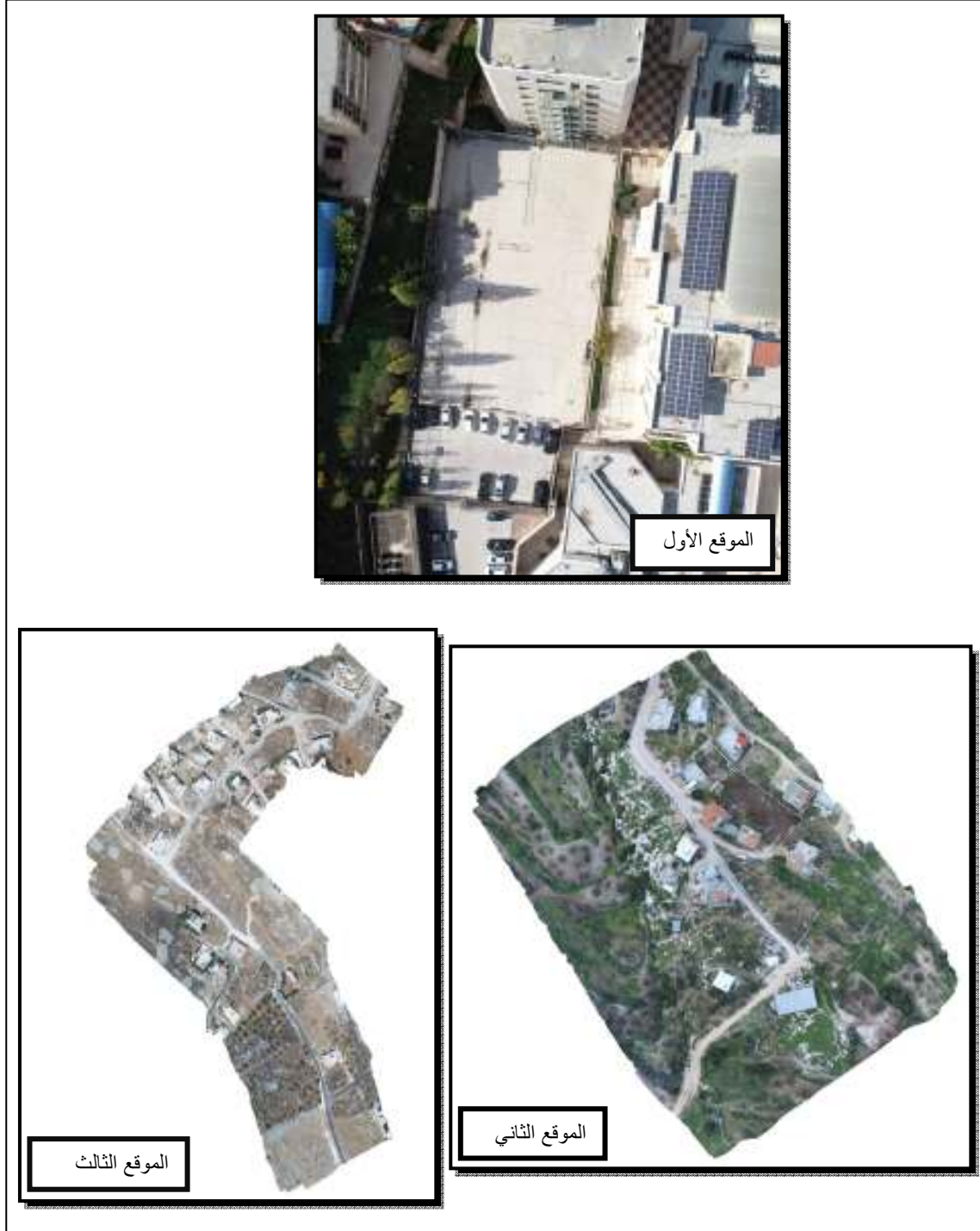
1. مراجعة الأدبيات المتعلقة بموضوع الدراسة وتشمل الكتب ورسائل الماجستير (المنشورة وغير المنشورة) والأبحاث العلمية والتقارير والمقالات.
2. جمع البيانات: سيتم الاعتماد على بيانات مكانية ممثلة بالصور الجوية الملتقطة بواسطة طائرات الدرونز وبيانات وصفية من خلال الزيارات الميدانية للمواقع الدراسة والتعرف على تضاريسها وتوزيع نقاط الضبط الأرضي (GCPs)
3. استخدام برنامج التصوير الجوي Agisoft Metashape لتحليل ومعالجة الصور الجوية التي تم التقاطها ودراسة الدقة التي تم الحصول عليها، واستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية لإخراج الخرائط الكنتورية والانحدار.

1.8 منطقة الدراسة

اختارت الباحثة ثلاثة مواقع (مناطق للدراسة) لتتمكن من تحقيق الهدف من هذه الدراسة، الموقع الأول كان ملعب الحرم الجامعي القديم لجامعة النجاح؛ وذلك لتقييم دقة الأهداف على ارتفاعات مختلفة، وكذلك دراسة مدى تأثير عناصر اعدادات الكاميرا على دقة وجودة الصور الجوية الملتقطة، الموقع الثاني هو عبارة عن قطعة أرض صغيرة المساحة نسبيا في قرية سيريس؛ وذلك لتقييم استخدام طائرة الدرونز في المشاريع المساحية لقطع الأراضي محدودة المساحة، أما الموقع الثالث هو عبارة عن طريق يبلغ طوله 627 م في منطقة نابلس الجديدة (عراق بورين)، وذلك لتقييم دقة طائرة الدرونز في المشاريع الطولية (الطرق).

شكل (1)

مواقع الدراسة الثلاث ملعب في الحرم الجامعي القديم لجامعة النجاح وقطعة أرض في قرية سيريس وطريق في نابلس الجديدة (عراق بورين)



1.9 الدراسات السابقة

1.9.1 الدراسات العربية

دراسة الأسمرى (2019) هدفت الدراسة إلى التعرف على أعمال المساحة التصويرية الرقمية الجوية والتقنيات المتعلقة بها، وكذلك دراسة التباين في المصطلحات و المسميات المتعددة لنماذج الارتفاعات الرقمية، ومن ثم العمل على بناء هيكل مبسط يوضح طرق الإنشاء المتعددة، كما هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيقات المساحة التصويرية الرقمية الجوية، وقد خلصت الدراسة بمجموعة من النتائج، منها: وجود تباين واختلاف في مسميات نماذج الارتفاعات الرقمية وأنواعها، وبعضها ذات دلالة محددة مثل (DSM). وتعتمد دقة نموذج الارتفاعات الرقمية المنتج على كل من: وضوح بيانات الصور ونوعها، وتوزيع وعدد نقاط الإحكام الأرضية، ونوع البرمجيات و التقنيات المستخدمة؛ و إيضاح طرائق الإنشاء المختلفة. وقد خلصت الدراسة بعدد من التوصيات، أهمها: ضرورة أن يتوفر لدى الباحثين والمختصين معرفة جيدة بعلم المساحة التصويرية الرقمية الجوية، و أن يكون لديهم خبرة في العمل الميداني، إلى جانب العمل المكتبي.

دراسة الخليل وفحصه (2019): سعت هذه الدراسة إلى بناء خارطة صورية على شكل موزاييك رقمي لجزء من مدينة اللاذقية، تمت معالجة البيانات وهي عبارة عن مرئيات متداخلة ونقاط ضبط مقطعة من المتصفح المجاني (Google Earth) بطريقتين: الطريقة التقليدية وتقوم على إرجاع كل صورة لوحدها بشكل منفصل عن غيرها باستخدام نقاط الضبط، والطريقة الحديثة التي تعتمد على توجيه الصور باستخدام أنظمة تستخدم مبدأ تحديد البنية انطلاقاً من الحركة (SFM) وتمت مقارنة الخارطتين الصورتين الناتجتين من ناحية الدقة الهندسية، وأثبتت الدراسة أن النوعية الهندسية للخارطة الصورية عند تطبيق طريقة (SFM) كانت بشكل أفضل ودقة عالية.

دراسة مؤمن (2017): تناولت الدراسة التنظيم القانوني للطائرات دون طيار (درونز) بحسب القانون الفرنسي الصادر في العام 2015، المتعلق بتصميم طائرات دون طيار والانتفاع بها في الجو الفرنسي، واتبعت الدراسة المنهج التحليلي الاستقرائي، من خلال استقراء المواد القانونية في القانون الفرنسي التي تنظم استخدام طائرات درونز وتحليلها، إلى جانب تسليط الضوء على القوانين التنظيمية الخاصة باستخدام طائرات درونز في كل من الولايات المتحدة الأمريكية والإمارات، وتوصلت الدراسة إلى عدد من النتائج، أهمها: أهمية طائرات درونز في الكثير من القطاعات، بشكل يوفر الوقت والجهد والتكلفة، ويراعي تقليل المخاطر. ووجود شروط وقوانين لاستخدام طائرات درونز في الدول قيد الدراسة، وضرورة الالتزام بالضوابط التي تراعي الأمان والخصوصية والأمن. وثمة مسؤولية تقع على المشغل أو المستأجر لطائرات درونز في تحمل الأضرار المحتملة الناتجة عنها، وتشمل تلك المسؤولية التعويض، والمنع، والمسؤولية الجنائية في حالة وقوع جرائم، والمسؤولية الإدارية كوقف الترخيص وسحب المزايا. وخلصت الدراسة بعدد من التوصيات، أهمها: ضرورة الاهتمام بتصنيع طائرات درونز في الدول العربية لأهميتها في مجالات الحياة المختلفة، وضرورة الالتزام بقانون تشغيل طائرات درونز واستخدامها، ووضع قواعد لاستخدام طائرات درونز بشكل يحقق الفائدة المرجوة منها، ويحافظ على أمن الدولة وسلامة المواطنين، وخصوصية الأماكن.

1.9.2 الدراسات الأجنبية

دراسة **Haris et al. (2023)**: في العمل ذي الصلة، اقترح المؤلفون إطار عمل للحوسبة الطرفية بمساعدة الطائرات بدون طيار (UAVs)، مجهزة بمنصات مضمنة ومستشعرات كاميرا، مما يسهل الوصول إلى المناطق التي يصعب الوصول إليها ويدعم قدرات اتخاذ القرار الذاتي والاستشعار عن بعد في تطبيقات إدارة واستعادة الكوارث. يتم إعطاء الأفضلية للحسابات على متن الطائرة نظراً لمشاكل الاتصال، والخصوصية، والتأخير. لكن، تطبيق هذه التقنيات على الحافة يواجه تحديات بسبب محدودية موارد الأجهزة المتاحة على متن الطائرة من حيث المساحة، الطاقة، والتخزين. في هذه الدراسة، يتم

اقتراح إطار عمل يدعم الحوسبة الطرفية بمساعدة UAV الذي يعمل على ضغط نماذج شبكة العصبونات التلافيفية (CNN) لتشغيلها على وحدة معالجة الرسومات المضمنة على متن الطائرة (GPU) لتصنيف السيناريوهات الكارثية في الوقت الفعلي. استُخدم مجموعة بيانات غير متوازنة تسمى "قاعدة بيانات الصور الجوية للاستجابة الطائرة" (AIDER) لمحاكاة سيناريوهات الكوارث الواقعية. أظهرت النتائج التجريبية أن النموذج المضغوط المُحسن حقق زيادة في الإنتاجية بنسبة 99%، وهو ما يعادل سرعة أعلى تصل إلى 92 ضعفًا مقارنةً بالنموذج الأصلي. علاوة على ذلك، أدت عملية تقليل حجم النموذج التي تمكنت الإطار المقترح من تحقيقها إلى نسبة 84% دون التأثير على الدقة، مما جعله مناسبًا لوحدة معالجة الرسومات على الحافة.

دراسة **Waleed et al. (2020)**: تقدم تكامل تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) مع الطائرات بدون طيار (UAVs) إمكانيات كبيرة لتحسين أداء أنظمة إدارة الكوارث. يمكن للطائرات بدون طيار جمع بيانات متنوعة وواسعة النطاق من المناطق المتأثرة بالكوارث باستخدام شبكات الجيل الخامس (5G) أو ما بعدها، وتحليل هذه البيانات لاستخراج المعلومات الضرورية للمستجيبين الأوائل، مثل تحديد حدود المنطقة المتأثرة، تعريف البنية التحتية المدمرة والطرق المغلقة، وحالة صحة السكان في تلك المنطقة. يستعرض هذا البحث منصات مختلفة (مبنية على UAVs، مبنية على IoT، وتوظيف IoT مع UAVs) لإدارة الكوارث. نقترح نظامًا فعالًا من حيث الطاقة لجدولة المهام المتعلقة بجمع البيانات بواسطة UAVs من شبكة IoT الأرضية. التركيز ينصب على تحسين المسار الذي تسلكه الطائرات بدون طيار لتقليل استهلاك الطاقة. كما نقوم بتحليل بيانات العلامات الحيوية التي جمعتها UAVs للأشخاص في المناطق المتضررة من الكوارث وتطبيق خوارزمية تصنيف شجرة القرار لتحديد حالتهم الصحية المخاطرة. سيتمكن تحديد حالة المخاطر هذه المستجيبين الأوائل من تحديد المناطق التي تحتاج إلى مساعدة عاجلة. تقارن النتائج التحليلية فعالية نظام الجدولة المقترح لدينا مع النهج التقليدي المستخدم

لجمع البيانات. بالإضافة إلى ذلك، نعرض نتائج حالة المخاطر المتوقعة لدينا مقارنة بحالة المخاطر التي تم حسابها من خلال طريقة التحذير المبكر الوطنية 2 (NEWS2).

دراسة **Bowen et al. (2020)**: في هذه الورقة، نتناول شبكات الإغاثة في حالات الكوارث بمساعدة الطائرات بدون طيار (UAV)، حيث يمكن للطائرات بدون طيار نشر معلومات الطوارئ للمستخدمين الأرضيين بطريقة متعددة الإرسال. بسبب تحديات محدودة موارد الطيف، يجب على عدة طائرات بدون طيار استخدام نفس القناة، مع ضرورة إدارة التداخل في نفس القناة. يمكن تمثيل الهيكل التوبولوجي الديناميكي الناشئ من الحركة على شكل رسم بياني ديناميكي، حيث إن وجود حافة (علاقة التداخل) بين رأسين (مجموعات متعددة الإرسال) يتغير بشكل ديناميكي. وبذلك، يمكن تحويل مشكلة اختيار القناة إلى مشكلة تلوين الرسم البياني الديناميكي، حيث يتطور بنية الرسم البياني في فترات زمنية متواصلة وتصبح استراتيجية التلوين السابقة صالحة. في هذا الإطار، نقترح خوارزمية تعتمد على التعلم الاحتمالي الذي يمكنها من التقارب بسرعة. تظهر نتائج المحاكاة أن الطريقة المقترحة لدينا سريعة في الاستجابة للتقلبات في البيئات الديناميكية.

دراسة **سونيا كالوسو وآخرون (2023)**: تسلط هذه الدراسة الضوء على استخدام أنظمة الطائرات بدون طيار (UAVs) في المساحات نظراً لكفاءتها وسهولة الوصول إليها. يستخدم هذا البحث، بالتعاون مع خوارزميات الرؤية الحاسوبية، الطائرات بدون طيار لإعادة بناء نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة، مما يحول جمع البيانات. على الرغم من شيوع استخدامها في عمليات الفحص والرصد والتحكم، فإن استخدامها في قياسات البنية التحتية لا يزال محدوداً. تعالج هذه الدراسة هذه الفجوة بالتركيز على تقييم الدقة. يتطلب تقييم الدقة النظر في المعايير خلال مراحل المسح والمعالجة على حد سواء. يهدف هذا البحث إلى التنبؤ بدقة إعادة البناء ثلاثي الأبعاد من استطلاعات UAV باستخدام برنامج تجاري (Agisoft Metashape) من خلال تحليل المعايير الرئيسية، نقيم علاقة التنبؤ بدقة الاستطلاع استناداً

إلى الاختيارات المحددة مسبقاً. تعمل هذه الدراسة على تقديم دقة قياس البنية التحتية باستخدام UAV ،
وتقدم رؤى لاتخاذ قرارات أفضل ودقة في الميدان.

دراسة رامي تميمي وتشارلز توث (2024): تقدم هذه الدراسة من جامعة ولاية أوهايو مقارنة جديدة
للمسح الدقيق للمناطق المشجرة، التي تشكل تحديات كبيرة بسبب العوائق التي تحجب الرؤية وتؤثر
على دقة القياسات. يستخدم البحث جهاز استشعار LiDAR من نوع DJI Zenmuse L2، المثبت
على طائرة Matrice 350 RTK، والذي يتميز بقدرته على النقاط بيانات تضاريس مفصلة تحت
الغطاء النباتي الكثيف، بقدره جمع 1.2 مليون نقطة في الثانية وتقديم خمسة استجابات لكل نبضة ليزر.
في دراسة حالة أجريت بالقرب من جدول ماء مغطى بشكل كثيف بالأشجار، وُجد أن تقنيات التصوير
الجوي التقليدية غير كافية لالتقاط معالم طبوغرافية حرجة، مثل ضفاف الجدول. باستخدام تقنية
LiDAR، تهدف الدراسة إلى رسم هذه المعالم المخفية بفعالية. تُعالج البيانات المجمعة باستخدام برنامج
DJI Terra، الذي يدعم تحليل وإسقاط بيانات LiDAR بدقة. للتحقق من دقة البيانات المجمعة
باستخدام الجهاز، يتم نشر طرق مسح تقليدية لتوثيق البيانات وتقييم دقتها. يتم إنشاء نقاط تحكم أرضية
باستخدام جهاز استقبال GNSS لتوفير الإحداثيات الجيوديسية، والتي بدورها تساعد في إعداد محطة
شاملة. تقيس هذه المحطة الزوايا الرأسية والأفقية، فضلاً عن المسافة المائلة من الجهاز إلى المواقع
تحت الغطاء الشجري على الأرض. تُستخدم هذه القياسات كنقاط فحص للتحقق من دقة بيانات
LiDAR، مما يضمن موثوقية الاستطلاع. يناقش البحث إمكانية دمج بيانات LiDAR مع بيانات
المسح التقليدية، مما من المتوقع أن يعزز قدرة المساحين على رسم المعالم البيئية بكفاءة ودقة في
التضاريس المعقدة والمشجرة. من خلال الوصف التفصيلي للإجراءات والنتائج المتوقعة، تهدف
الدراسة إلى تقديم رؤى قيمة حول التطبيق الاستراتيجي للتقنيات الجيوفضائية للتغلب على التحديات
الشائعة في المسح.

دراسة فرانسيسكو خافيير غونزاليس-كاستانو وآخرون (2024): تسلط هذه الدراسة الضوء على استخدام الطائرات بدون طيار لتطبيقات التحكم النوعي في المرافق الصناعية، حيث يمكن إعادة نشرها بشكل ديناميكي وتعديلها لتناسب مع خطط الإنتاج. ينطلق البحث من سيناريو عملي محدد، وهو النقاط الصور بواسطة الطائرات بدون طيار في مصنع تصنيع سيارات، حيث يتطلب دقة تموضع الطائرات بمقدار 5 سم. خلال عمليات التصنيع المتكررة، يُفترض أن الطائرات المستخدمة في التصوير للتحكم النوعي ستتبع مسارات دورية محددة بدقة، تتوقف في نقاط محددة مسبقاً لالتقاط الصور وإرسالها إلى خوادم التعرف على الصور. لذا، من خلال الاعتماد على المعرفة المسبقة بجداول سلاسل الإنتاج، يُمكن تحسين تقنيات تموضع الطائرات للبقاء ضمن حدود خطط طيرانها، التي تتألف من نقاط توقف والمسارات الفاصلة بينها. تتناول هذه الدراسة تخفيف مشاكل مثل الحجب المؤقت لخط الرؤية بين الطائرة وأي مرسلات راديوية موجودة؛ وضوء بيانات المستشعر؛ وفقدان المراجع البصرية. نقدم حلاً تصحيحياً ذاتياً لهذا الغرض. يقوم بتصحيح قراءات عداد المسافات البصري استناداً إلى بيانات Ultra-Wide Band (UWB) المفلترة والمجمعة، كبديل للدمج المباشر بواسطة فلتر كالمان. يجمع النهج بين مزايا هذه التقنيات عندما تعمل واحدة منها على الأقل بشكل صحيح في أي نقطة قياس. يتضمن الأسلوب ثلاثة مكونات للطريقة: تصفية كالمان المستقلة، تجميع البيانات الجارية وتصحيح متبادل لقراءات المستشعرات استناداً إلى إنشاء متجهات تصحيح تراكمية. يُستلهم النهج من الملاحظة أن تحديد الموقع بواسطة UWB يعمل بشكل جيد في النقاط الثابتة بينما تعكس قياسات عداد المسافات البصري الانزياحات المستقيمة بشكل صحيح لكن يمكن أن تقلل من تقدير طولها. تُظهر النتائج التجريبية مزايا النهج في سيناريو التطبيق مقارنةً بدمج كالمان.

تناولت الدراسات السابقة مجموعة من التقنيات والمنهجيات المتعلقة بالمساحة الجوية باستخدام الطائرات بدون طيار. دراسة الأسمرى (2019) ركزت على التباين في المصطلحات والمسميات المستخدمة في نماذج الارتفاعات الرقمية، بينما استكشفت دراسة الخليل وفحصة (2019) استخدام تقنية البنية من

الحركة (SFM) لتحسين دقة الخرائط التصويرية. على الصعيد الدولي، بحث Haris et al. (2023) في استخدام الحوسبة الطرفية بمساعدة UAVs لتحسين استجابة الكوارث.

معظم الدراسات ركزت على التطبيقات التقنية دون التطرق بعمق لتحسين الإجراءات الميدانية أو معايرة البيانات الميدانية لتحقيق أقصى دقة ممكنة. كما أن هناك نقص في الدراسات التي تتناول التكامل الفعال بين تقنيات الاستشعار المختلفة وتقنيات التحليل للبيانات الجغرافية المكانية.

يهدف هذا البحث إلى تطوير منهجية متكاملة تركز على استخدام الطائرات بدون طيار لتحسين دقة البيانات المساحية. سيتم تحديد نقاط الضبط الأرضية بشكل أكثر دقة واستخدام تقنيات معايرة متقدمة للكاميرات. كما سيتم دمج البيانات المحصلة مع برامج تحليل جيوميكاني متقدمة لتقديم نتائج مساحية بجودة ودقة عالية.

من خلال هذا النهج، سيتم سد الفجوات المحددة في الدراسات السابقة وتقديم مساهمات جديدة تتمثل في تحسين إجراءات المسح ودقة البيانات في تطبيقات المساحة باستخدام الطائرات بدون طيار، مما يعزز من الكفاءة والفعالية في المشروعات المساحية الكبيرة والمعقدة.

الفصل الثاني

أساسيات المساحة الجوي

2.1 المساحة الجوية

يعد علم المساحة من العلوم التي لها أهمية مباشرة في حياة الإنسان، حيث ان المساحة وتوزيعها وكيفية تطوير الأراضي لها تأثير مباشر على الاقتصاد وبالتالي على مستوى الحياة في الدول بشكل عام، كما تعتبر الاعمال المساحية الركيزة الأساسية لتنفيذ المشاريع التنموية، كتنظيم الطرق، وإنشاء المدن، والتخطيط لها، ووضع الخرائط للتخطيط العمراني، وإدارة الأراضي والتراخيص والتسجيل العقاري، وتحديد المواقع والأماكن في الأشغال العامة، وغيرها من جوانب الحياة الأخرى، لذلك كله فإن علم المساحة من العلوم التي لا يمكن الاستغناء عنها قديما وحديثا، حيث ان الاعمال المساحية هي اعمال تراكمية واية تعديل فيها في الوقت الراهن يعتمد بشكل مباشر على الاساس (الرويشد، 2005).

المساحة التصويرية فرع رئيس من فروع علم المساحة، فمن خلال المساحة التصويرية يتم القيام بالأعمال المساحية المتنوعة، لمناطق مختلفة، كالحصول على الخرائط التفصيلية، وتصميم الخرائط الطبوغرافية، والتقاط الصور التي من الممكن تحليلها ودراستها بواسطة برامج يشرف عليها مختصون، وذلك بهدف الحصول على بيانات خاصة بتلك المنطقة المصورة (المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، 2005).

تعد الصور الجوي اختراعا تقنيا ذا أهمية كبيرة في علوم كثيرة، ومجالات متعددة، ويقع في مقدمة هذا المجالات علم الجغرافيا، وعلم المساحة والهندسة، لما قدمته هذه الصور من عوامل تطور وتقدم في آلية تطبيق هذه العلوم، والعمل بها، والإفادة من مجالاتها المتفرعة، في مختلف جوانب الحياة، فالصور الجوية تشكل بلا ريب قاعدة بيانات ومعلومات واسعة ودقيقة عن الواقع الجغرافي، المعالم المكانية المقصودة، حتى أصبح التصوير الجوي أحد أهم تقنيات المساحة الجغرافية لدقتها وسرعتها، ولقدرتها على توفير الوقت والجهد مقارنة بعمليات المسح الأرضي (داود، 2013).

وقد مرت المساحة التصويرية بمراحل عديدة في تطورها، حتى وصلت إلى ما هي عليه اليوم من تطور وتقدم، إذ يعد المهندس الفرنسي المهندس ايمي لوسيه أول من صمم كاميرا لتصوير المساحة عام 1864، والتقط بها صورة جوية لمدينة باريس بعد أن علقها ببالون ورقي طائر حتى لقب برائد التصوير الجوي، وعام 1903 حدث تطور هائل في علم المساحة بصناعة أول طائرة على يد الأخوين رايت، وفي عام 1909 شهد علم المساحة تطورا جديدا تمثل في استخدام أزواج الصور الأستريوسكوبية (Stereoscopy) في تصميم الخرائط على يد العالم الألماني بولفرش (Pulfrich) معتمدا على ما يسمى بالعلامة العائمة (Floating Mark) في عملية القياس (الأسمرى، 2019).

ونتيجة للثورة التكنولوجية التي أحدثها الحاسوب تطور علم المساحة الجوي نتيجة التطور في معدات التصوير وتخزين الصور، الأمر الذي مكن الباحثين والمختصين من الاحتفاظ بالصور لمدة طويلة، والرجوع إليها بسرعة كبيرة، كذلك ساعد الحاسوب في ترجمة الصور في صنع الخرائط، بدقة عالية، باستخدام الحاسبات الآلية، إضافة إلى إمكانية حسابات المساحات على الرغم من عدم وجود دقة كبير إلا أنها تعتبر ثورة في ذلك الوقت (داود، 2012).

كما أن للتقدم التقني الذي يشهده العصر، دور كبير في تطور المساحة التصويرية، بما أحدثه من تقدم في مختلف العلوم، وفي جوانب الحياة المتعددة، برز إلى حيز الوجود مصطلح المساحة التصويرية الرقمية، وهو علم ذو أهمية كبيرة في تطور علم المساحة بشكل عام، والمساحة الجوية بشكل خاص، فهو من أهم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتطبيقات الهندسية والعمرائية والبيئية (الأسمرى، 2019).

تعرف المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني (2005: 2) المساحة التصويرية بأنها: "علم وفن وتكنولوجيا الحصول على معلومات كمية ونوعية عن المعالم الصناعية أو الطبيعية لمنطقة ما بواسطة صور فوتوغرافية أو غير فوتوغرافية لهذه المنطقة، ومن أهم اختصاصات هذا العلم تحديد مقياس رسم مناسب للصورة بحيث يفي بالغرض المأخوذة من اجله الصورة.

2.2 أساليب المسح التصويري وتطبيقاتها المتنوعة

تعد تقنيات المسح التصويري من الأدوات الأساسية التي تساهم بشكل كبير في جمع البيانات وتحليل المعلومات الجغرافية. تنتوع أساليب المسح التصويري وتختلف بحسب الأهداف والمتطلبات الخاصة بكل دراسة أو مشروع. من هذه الأساليب، نجد المسح التصويري الأرضي الذي يمتاز بالدقة العالية في جمع البيانات الجغرافية من خلال تثبيت كاميرات على حوامل متخصصة على الأرض. من جهة أخرى، يوفر المسح الجوي، بواسطة الطائرات المأهولة أو الدرونات، وسيلة فعالة وسريعة لرصد مساحات شاسعة، مما يعزز من قدرات التخطيط والمراقبة على نطاق واسع.

كل تقنية من هذه التقنيات لها تطبيقاتها المتخصصة التي تساهم في فهم أفضل للمعالم الجغرافية والتغيرات البيئية، وكذلك في التخطيط العمراني والزراعي. بذلك، تكشف أساليب المسح التصويري عن قدرتها الكبيرة في دعم الأبحاث والدراسات في مختلف المجالات.

ويتم الحصول على هذه الصور بعدة طرق، على النحو الآتي:

1. المسح التصويري الأرضي: وفيه تثبت كاميرا التصوير الخاصة على الأرض بواسطة حامل ذي أضلاع ثلاثة، ثم توجه كاميرا التصوير بدقة نحو المعلم الجغرافي أو المكاني المراد تصويره، للحصول على البيانات والإحداثيات التي يتم معالجتها فيما بعد لتجسيد هذه المواقع المصورة (داود، 2012).

ويعتني المسح التصويري الأرضي بتعيين النقاط على سطح الأرض وتحديداتها، وتحديد ارتفاعاتها، وتحديد الاتجاهات، والأطوال وقياسها، وبالتالي تثبيت الحدود والتمييز بينها، من خلال تجسيد هذه البيانات على خرائط تفصيلية، وقد يراعى في هذا المسح كروية الأرض في المناطق الكبيرة، وتسمى بالمساحة الجيوديسية، وقد تكون مساحة مستوية لم يراع فيه كروية الأرض، وإنما تتعامل مع مستوى واحد محدود، وعلى الرغم من ان المسح التصويري الأرضي لا يغطي مساحات شاسعة الا انه يتميز بالدقة الكبيرة (الرويشد، 2005).

2. الصور الجوية: تعد المساحة الجوية جزءا من المساحة التصويرية، يتم من خلالها التقاط الصور للمنطقة المدروسة أو المعنية من الجو بواسطة آلة تصوير مثبتة في طائرة، وفق خطة مسبقة تسمى خطة الطيران يتم خلالها تحديد ارتفاع الطيران، وأماكن أخذ الصور وأبعادها، وتستخدم هذه الطريقة للمساحات الكبيرة نظرا لتوفيرها للوقت والجهد لإتمام عمليات المسح (المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، 2005).

وقد شهد العصر الحديث تطورا في المسح الجوي نتيجة التطور الذي شهدها ميدان الطيران، فقد عرف هذا العصر الطائرات دون طيار، والتي تشكل قفزة نوعية في ميدان المراقبة الجوية لسطح الأرض، لسهولة الاستعمال، وسهولة التعامل معها ومع البيانات التي يتم رصدها مباشرة عن طريق محطات أرضية، وقد وفرت الطائرات بدون طيار تطبيقات مفتوحة لاستخدامها في مختلف العلوم، وفي جوانب الحياة المنقرعة، ومنها المسح الجوي (Erdelj and Natalizio, 2016).

ولا تقتصر فوائد المساحة الجوية على صنع الخرائط للمواقع والمعالم الجغرافية، وإنما تمتد أهميتها إلى مجالات أخرى، من هذه المجالات على سبيل المثال لا الحصر: استخدامها في علم الجيولوجيا، وعلوم الأرض، وتصنيف التربة، ومسح المحاصيل الزراعية وتصنيفها، وما إلى ذلك من الأمور التي ترصدها الكاميرا التصويرية (الرويشد، 2005).

وقد وضع الأسمرى (2019) جملة من الخصائص والسمات التي توفر في المساحة الجوية، خاصة الرقمية منها، ومن هذه السمات: المساحة الجوية توفر العديد من الفوائد الهامة في مجال الجيوماتكس والمسح الطبوغرافي، حيث تتميز بقدرتها على توليد بيانات وصور وخرائط ذات دقة عالية بسرعة كبيرة، مما يوفر الوقت والجهد عن طريق التقليل من الحاجة إلى الأعمال الحقلية المكثفة. تسمح هذه التقنية بتغطية واسعة للمناطق المسوحة، وتستخدم بفعالية في المراقبة الدورية لظواهر معينة بفضل قدرتها على النقاط التغييرات بمرور الزمن. كما تتغلب المساحة الجوية على مختلف التحديات البصرية،

التشغيلية، الميكانيكية، التحليلية، والرقمية، ولا تتأثر بالظروف الجوية أو التضاريسية. علاوة على ذلك، تسهل المعالجة الرقمية الجودة العالية والتكامل بين البيانات المختلفة، مما يسهل التعامل مع البيانات، تحرير المعلومات، وربط الصور الرقمية بنظم المعلومات الجغرافية، ويعزز من سهولة النمذجة والمعالجة.

هذه السمات تعكس قدرة المساحة الجوية الرقمية على تحسين كفاءة عمليات المسح وتقديم نتائج دقيقة وشاملة في وقت قصير. فالتغطية الواسعة التي توفرها تسمح بمراقبة مساحات شاسعة بكفاءة عالية، وتتيح رصد التغيرات البيئية والزمنية بسهولة. بفضل التقنيات المتقدمة في معالجة الصور، يمكن توليد نماذج ثلاثية الأبعاد وتصورات طبوغرافية دقيقة، مما يسهم في تحسين جودة التحليلات الجيومكانية.

علاوة على ذلك، توفر المساحة الجوية الرقمية مرونة كبيرة في التعامل مع التحديات المختلفة التي قد تواجه عمليات المسح التقليدية. فهي تتجاوز العقبات المتعلقة بالظروف الجوية والتضاريسية، مما يتيح إجراء المسوحات في مختلف الأوقات والظروف البيئية. تسهم المعالجة الرقمية في تعزيز جودة البيانات المجمعة وتكاملها، مما يسهل عمليات التحرير والربط بنظم المعلومات الجغرافية، ويعزز من فعالية النمذجة والتحليل.

بهذا، يمكن القول إن المساحة الجوية الرقمية تشكل أداة حيوية في مجال الجيوماتكس، حيث تسهم في توفير بيانات دقيقة وسريعة، وتعزز من كفاءة العمليات المساحية والطوبوغرافية، مما يدعم اتخاذ القرارات المستندة إلى البيانات الدقيقة والشاملة.

3. المسح الفضائي: في تطور ملحوظ، حلت وحدات التصوير الفضائي محل الطائرات لالتقاط الصور الجوية للتضاريس الجغرافية والمواقع المكانية. بدأ هذا التحول الرئيسي بإطلاق "تيروس 1" في عام 1960، الذي كان مخصصاً لمراقبة المناخ، مما مهد الطريق لتطورات لاحقة في هذا المجال. لاحقاً، في عام 1972، تم إطلاق "لاندسات 1"، وهو جهاز مصمم خصيصاً للتصوير من الفضاء، ومنذ ذلك

الحين، اعتمدت تقنية الاستشعار عن بعد كمصطلح فني يشير إلى التقنيات المستخدمة لجمع البيانات والصور من الفضاء. الصور التي تم جمعها بهذه التقنية تُعرف بـ "المرئيات الفضائية"، لتفريق بينها وبين الصور الجوية التقليدية التي تُلتقط بواسطة كاميرات مثبتة على الطائرات، وفقاً لما ورد في أدبيات الجغرافيا المكانية (داود، 2012).

2.3 الدقة المكانية ودقة السطوح

في الاستمرارية للنقاش حول تقنيات التوجيه والأساليب المستخدمة في تحسين دقة الصور الجوية وتوثيقها بالأبعاد الثلاثية، نتطرق في هذا القسم إلى مفهومي الدقة المكانية ودقة السطوح، وهما عاملان حاسمان في تقييم وتحليل الصور الملتقطة. بينما تركز الأقسام السابقة على تحديد موقع وتوجه الكاميرا بالنسبة للأرض، يلقي هذا القسم الضوء على كيفية تأثير هذه التوجيهات على جودة الصور النهائية من حيث التفاصيل التي يمكن رصدها ومستويات السطوح التي يمكن تمييزها.

الدقة المكانية ودقة السطوح هما مفهومان أساسيان في التصوير الجوي. الدقة المكانية (Spatial Resolution) تشير إلى الحجم الأدنى من التفاصيل الذي يمكن التقاطه في صورة جوية حيث تُقاس بمدى صغر البقعة الأرضية (Pixel) التي يمكن للجهاز التقاطها. تتأثر الدقة المكانية للصور الجوية بشكل كبير بارتفاع الطائرة عن سطح الأرض وبدقة الكاميرا المستخدمة في التصوير. تُحدد الدقة المكانية من خلال قدرة الكاميرا على تمييز التفاصيل الدقيقة على الأرض من ارتفاع محدد، وتُقاس بالعادة بوحدة سنتيمتر لكل بكسل. من النتائج المستخلصة من هذه العوامل، نجد أن انخفاض ارتفاع الطائرة يؤدي إلى زيادة في الدقة المكانية، مما يُمكن من التقاط تفاصيل أدق في الصور. ومع ذلك، ينطوي هذا الحل على تقليل مساحة التغطية الأرضية لكل صورة، مما يستلزم زيادة عدد الرحلات الجوية لتغطية المنطقة المستهدفة بالكامل.

على سبيل المثال، في بحث أُجري ضمن نطاق هذه الدراسة، عند استخدام طائرة على ارتفاع 30 متراً، تبين أن حجم الخلية الواحدة كان 0.8 سم، مع تغطية أرضية تبلغ 30x45 متر مربع لكل صورة. هذا

مقارنةً بالدقة المكانية التي بلغت 1.6 سم عند ارتفاع 60 متر، كما تم التطرق إلى ذلك بالتفصيل في الفصل الثالث تحت عنوان " تحليل الدقة المكانية للتصوير الجوي في مشاريع المسح الأرضي ". هذه النتائج تُظهر بوضوح التأثير المباشر للارتفاع في تحديد دقة الصور الملتقطة والاعتبارات اللازمة لتخطيط الرحلات الجوية في مشاريع المسح الجوي.

من المهم التفريق بين الدقة المكانية ودقة السطوح لأن كلاً منهما يؤثر على تفسير الصور الجوية أو الفضائية بطريقة مختلفة. الدقة المكانية تحدد مدى قرب الأجسام التي يمكن تمييزها على سطح الأرض، بينما دقة السطوح تحدد مدى قدرة الصورة على عرض تفاصيل هذه الأجسام وتمييزها عن بعضها البعض من خلال تباينات السطوح.

2.4 أجهزة تحديد المواقع العالمية (GNSS)

بعد استعراض الدقة المكانية ودقة السطوح في القسم السابق، يتناول هذا القسم أهمية ودور أنظمة تحديد المواقع العالمية (GNSS) وتأثيرها على التقنيات المتقدمة في مجال الملاحة الجيومكانية. تُعد هذه الأنظمة ضرورية لتحديد الإحداثيات الدقيقة للكاميرات والأجهزة المستخدمة في التصوير الجوي، مما يلعب دوراً حيوياً في تحسين جودة البيانات المكانية ودقتها.

يقدم هذا القسم تحليلاً لكيفية استغلال تقنيات GNSS في دعم العمليات المساحية. مكن هذا التدقيق الباحثين من تقييم الإمكانيات التي توفرها هذه الأنظمة في تحسين دقة التوجيه الخارجي والحصول على بيانات جغرافية دقيقة، الأمر الذي يؤثر مباشرةً على جودة التحليلات الفضائية والجوية، من خلال دمج البيانات المستقاة من أنظمة GNSS مع مختلف تقنيات التصوير، يتم تحقيق مستويات دقة مرتفعة في رسم الخرائط وإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد، مما يسهم في تعزيز الاستفادة من هذه التقنيات في مجموعة واسعة من المجالات.

توجد عدة أنظمة عالمية لتحديد المواقع تُستخدم بشكل واسع في الملاحة وتحديد المواقع. تشمل هذه الأنظمة نظام GPS الأمريكي، ونظام GLONASS الروسي، ونظام BeiDou الصيني، ونظام Galileo الأوروبي، بالإضافة إلى نظام QZSS الياباني، ونظام IRNSS/NavIC الهندي. تدير كل نظام وحدات ملاحية متقدمة تشرف عليها محطات أرضية متخصصة، وتستخدم شبكات من أجهزة الاستقبال لتحديد المواقع عن طريق تقنيات التثليث. تلعب هذه الأنظمة دورًا حيويًا في العديد من القطاعات مثل النقل، والاتصالات اللاسلكية، والمسح الجغرافي للأراضي، نظرًا لقدرتها على توفير بيانات دقيقة وحيوية (الأمم المتحدة، 2012).

في سياق الدراسة الحالية، تم الاعتماد على استخدام فئتين من أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS) لضمان استحصال بيانات بدرجة عالية من الدقة والموثوقية. الفئة الأولى، أجهزة الـ GNSS التي تُستخدم في الطائرات بدون طيار، والتي تشمل على أجهزة التحديد المطلق، الأمر الذي يسمح بتحديد مواقع العناصر بصورة فائقة الدقة دون الاعتماد على إشارات خارجية مساعدة تصل دقتها عدة أمتار. بالإضافة إلى ذلك، تُجهز هذه الفئة بتقنية (RTK (Real-Time Kinematic)، التي تعمل على تعزيز الدقة الإحداثية من خلال استغلال بيانات تصحيحية مُعالجة في الزمن الفعلي، مما يسهم في رفع كفاءة التموضع للطائرات بدون طيار خلال مراحل الطيران.

النوع الثاني من GNSS يُستخدم في رفع نقاط الضبط الأرضي. هذا النوع يتضمن أيضًا تقنية RTK التي تُستخدم لضمان الحصول على بيانات إحدائية دقيقة في أعمال المسح الأرضي، حيث تُمكن من تحديد المواقع بدقة عالية بفضل استخدام الإشارات المُصححة. بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم فيها تقنية المحطات المرجعية الافتراضية (VRS) (Virtual Reference Station)، وهي نظام يُعزز دقة تحديد المواقع بالاعتماد على شبكة من المحطات المرجعية الثابتة التي تُوزع البيانات المُصححة إلى مستخدمين متعددين، ويهدف تصميمه للتغلب على بعض القيود والمشاكل المرتبطة بـ RTK القياسي أو التقليدي، وتصل دقته إلى سنتيمترات.

كل من هذه التقنيات تم اختيارها بعناية لتعزيز الدقة والفعالية في تحديد الإحداثيات سواء في الجو أو على الأرض، لضمان الحصول على أعلى مستويات الدقة الممكنة في جمع وتحليل البيانات الجغرافية في إطار هذه الدراسة.

2.5 أجهزة القصور الذاتي (IMU)

أجهزة القصور الذاتي (Inertial Measurement Units - IMU) هي أنظمة تستخدم لقياس وتقدير عن سرعة الجسم، والتوجه، والقوى الديناميكية عن طريق دمج أجهزة القياس مثل المقاييس الجيروسكوبية وأجهزة استشعار التسارع. تُستخدم هذه الوحدات بشكل شائع في الملاحة الجوية والبحرية والبرية، وفي الأنظمة الفضائية، وكذلك في صناعة السيارات لتحسين دقة النظم الملاحية.

تتكون أجهزة IMU من عنصرين رئيسيين: الجيروسكوب (Gyroscope)، لقياس زوايا الدوران حول المحاور الثلاثة (الطولية، والجانبية، والعمودية)، ومقياس التسارع (Accelerometer)، لقياس التسارع في هذه المحاور الثلاثة، ويساهم في استنباط المواقع.

ولأجهزة IMU أهمية بالغة لأنها تمكن من تعزيز الدقة من خلال توفير بيانات مفصلة عن التوجه والحركة الديناميكية للأجسام. في الطائرات بدون طيار، تلعب وحدات IMU دورًا حيويًا في تحسين استقرار الطيران ودقة تتبع المواقع. من خلال دمج البيانات التفصيلية للتوجه والحركة المقدمة من وحدات IMU مع بيانات التحديد الجغرافي من GNSS، تتمكن الطائرات بدون طيار من أداء مهامها بكفاءة ودقة عالية في مختلف الظروف البيئية. بعد استعراض تأثير أنظمة GNSS في القسم السابق وكيفية مساهمتها في تحديد الإحداثيات الجغرافية بدقة، يأتي دور أجهزة IMU لتعزيز هذه الدقة من خلال توفير بيانات مفصلة عن التوجه والحركة الديناميكية للأجسام.

ومن الجدير بالذكر أنه عند دمج أجهزة قياس القصور الذاتي (IMU) مع نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS)، ينتج نظام يسمى بنظام الملاحة بالقصور الذاتي (Intertial Navigation System).

يعتمد نظام INS بشكل أساسي على وحدة قياس القصور الذاتي، التي تضم مقاييس ميكانيكية أو ليزرية، مثل الجيروسكوبات ومقاييس التسارع، لقياس السرعة والاتجاه والتسارع. في المقابل، يوفر نظام GNSS البيانات الضرورية لتصحيح وضبط إحداثيات الموقع بكفاءة عالية، ويوفر هذا التكامل قدرات فائقة للملاحة والتوجيه، خاصة في البيئات التي قد تكون فيها إشارات GNSS ضعيفة أو غير متوفرة.

عند دمج نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS) مع وحدة قياس القصور الذاتي (IMU)، يتم تحقيق تكامل يعوض نقائص كل نظام بميزات النظام الآخر، مما يؤدي إلى تحسين الأداء العام لنظام الملاحة. يُتيح هذا التكامل الاستفادة من دقة نظام GNSS في تحديد الموقع الجغرافي واستقرار بيانات IMU في قياس الحركة والزوايا الديناميكية. هذا التآزر بين النظامين يُمكن من ضمان تحديد الموقع بشكل مستمر ودقيق حتى في الظروف التي قد تُفقد فيها الإشارات الملاحية، مثل البيئات الحضرية ذات الأبنية العالية أو المناطق المغلقة. يتمثل الهدف الرئيسي من هذا التكامل في تعزيز موثوقية ودقة نظام الملاحة، مما يُسهم في تقديم بيانات متكاملة ومحددة بدقة عالية للحركة والتوجه في مختلف الظروف التشغيلية. تُعتبر هذه التقنية ضرورية بوجه خاص في تطبيقات مثل الطيران والملاحة البحرية والأنظمة الأرضية الآلية، حيث يمكن للتغيرات البيئية والأعطال المحتملة في الإشارات المستلمة أن تؤثر بشكل كبير على دقة الملاحة.

2.6 بناء النموذج أثناء الحركة: Structure From Motion

تُعرض في هذا القسم تقنية بناء النموذج أثناء الحركة (SFM)، التي تمثل تطوراً تقنياً مهماً في توليد النماذج ثلاثية الأبعاد. تأتي أهمية هذا القسم من تكامله مع الأقسام السابقة التي تناولت التقنيات الأساسية في القياسات والملاحة الجيومكانية، مثل استخدام أجهزة GNSS و IMU. يشكل هذا القسم توسعاً طبيعياً في النقاش حول كيفية تحقيق دقة أعلى في النقاط البيانات الجغرافية وتحليلها، من خلال

استعراض قدرة تقنية SFM على معالجة وتحليل سلاسل من الصور المتداخلة لتوليد نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة وكفاءة عالية.

يعزز هذا القسم من الفهم العميق لعمليات استخراج وتحليل البيانات الجيومكانية، ويوضح الإمكانيات التي توفرها هذه التقنية في تطبيقات متنوعة بما في ذلك علم الآثار، علوم الأرض، والروبوتات. من خلال دمج تقنية النمذجة من خلال الصور الفوتوغرافية (SFM) مع المعلومات المستقاة من الأجهزة والأنظمة المناقشة في الأقسام السابقة، يُقدم هذا الجزء نظرة شمولية عن كيفية تفاعل هذه التقنيات لتعزيز الكفاءة في المراقبة والتحليل الجيومكاني، مما يؤدي إلى تحسين النتائج وتوسيع القدرات التحليلية في هذه المجالات الحيوية.

طريقة قياس تستخدم في توليد النماذج ثلاثية الأبعاد والموزاييك الصوري للمشاهد انطلاقاً من سلاسل من الصور المتداخلة التي يتم التقاطها باستخدام آلة تصوير في وضع متحرك، وهي طريقة قياس واسعة الانتشار وقليلة التكلفة، ومرد أصولها إلى مجال الرؤية بمعونة الحاسب، لذلك تعد هذه التقنية تقنية المستقبل التي تستخدم في جمع البيانات الجغرافية (الخليل وفحصة، 2019).

وتشير دراسة Karmacharya et al. (2019) إلى أن طريقة SFM تستخدم الخوارزميات المتقدمة التي تعمل تلقائياً على حلها مواقف الكاميرا النسبية، وتوجيه وهندسة الجسم المصور، على أساس الميزات المستخرجة من مجموعة الصور، كما أن إمكانية استخدام الكاميرات الرقمية منخفضة التكلفة، وتوفر أدوات المعالجة المجانية والمفتوحة إمكانيات لا حدود لها لطريقة SFM، في الوقت الحاضر، تم بالفعل استخدام SfM على نطاق واسع في مجالات مختلفة مثل علم الآثار، وعلوم الأرض، والروبوتات والمسح الأرضي، وما إلى ذلك.

ومن مميزات نظام بناء النموذج أثناء الحركة (SFM) أنه يتوفر فيه برامج وتقنيات عدة لمعالجة غمات النقاط، الأمر الذي يزيد من دقة النموذج والصور الناتجة عنه، وتتم عملية بناء النموذج

بمراحل، تبدأ أولاً بحساب مواقع آلة التصوير، ويكون ذلك بتحديد النقاط المشتركة على الصور، وتحديد موقع آلة التصوير لكل صورة، ومن ثم يتم الحصول على غمامة من النقاط المبعثرة، أما المرحلة الثانية فيتم فيها توليد غيمة كثيفة من النقاط باستخدام مواقع آلة التصوير والصور نفسها، ثم يليها المرحلة الثالثة، وفيها يتم توليد النموذج الشبكي، أي بناء تعبير شبكي ثلاثي الأبعاد لسطح العنصر اعتماداً على الغيمة الكثيفة من النقاط التي تم الحصول عليها في المرحلة الثانية، وفي المرحلة الأخيرة يتم توليد الموزايك أو الأورثوفوتو، والذي يراعى فيه تغيرات المقاييس الناتجة عن اختلاف المناسيب في المشهد المصور، كما يؤخذ ميل الصور بعين الاعتبار (الخليل وفحصة، 2019).

2.7 أساسيات إعادة بناء النماذج Scene Reconstruction

إعادة بناء النماذج هي عملية علمية تهدف إلى استعادة وتشكيل المشهد ثلاثي الأبعاد من مجموعة من الصور ثنائية الأبعاد. تُستخدم هذه التقنية لتحليل البيانات المعقدة وتحويل البيانات البصرية إلى نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة، وتُطبق في مجالات متعددة مثل الهندسة المعمارية، التراث الثقافي، الواقع الافتراضي، والروبوتات.

تتطلب هذه العملية بعملية جمع البيانات التي تشمل التصوير الجوي والقياسات الأرضية. تُلتقط الصور الجوية من زوايا مختلفة باستخدام الطائرات المسيرة (الدرونز) أو كاميرات مثبتة على الطائرات، مع الأخذ بعين الاعتبار التداخل الزمني والمكاني لضمان التغطية الشاملة والدقيقة للمنطقة المُستهدفة. كما يتم استخدام أجهزة القياس الأرضية مثل الليزر المساحي وأنظمة تحديد المواقع لجمع البيانات الهندسية من نقاط محددة على الأرض، الأمر الذي يُعزز من دقة النموذج النهائي.

بعد جمع البيانات، تُعالج الصور الرقمية لتحسين جودتها وتصحيح التشوهات الناتجة عن العدسات أو الزوايا غير المثالية. تُستخدم خوارزميات استخراج الميزات مثل SIFT و SURF لتحديد النقاط والمعالم الهامة في الصور، والتي يمكن استخدامها كمرجع لإعادة البناء.

عملية مطابقة النقاط تعتمد على تحديد النقاط المشتركة بين الصور المختلفة وربطها مع بعضها البعض باستخدام خوارزميات متقدمة تضمن دقة عالية في المطابقة. تُستخدم خوارزميات مثل RANSAC للتحقق من صحة النقاط المطابقة وتقليل الأخطاء.

تحويل الإحداثيات هو المرحلة التالية، حيث تُحول النقاط المطابقة إلى نظام إحداثيات ثلاثي الأبعاد. يتم حساب المسافات النسبية بين النقاط لضمان دقة النموذج المعاد بناؤه. تُستخدم هذه البيانات لبناء السطح الخارجي للمشهد من خلال توصيل النقاط المحسوبة وتكوين الشبكة المثلثية (Mesh). تُدمج البيانات الهندسية والأرضية مع النموذج ثلاثي الأبعاد لضمان دقة وتفصيل أكبر.

أخيراً، يتم التحقق من دقة النموذج المعاد بناؤه مقارنة بالبيانات الأصلية والنقاط المرجعية. تُجرى التعديلات اللازمة لتحسين دقة النموذج وجودته، مما يتيح توفير تصورات دقيقة وواقعية للمشاهد المعقدة وتحسين عملية التخطيط والتنفيذ في المشاريع الهندسية والمعمارية، وكذلك توفير أدوات فعالة للحفاظ على التراث الثقافي وتحليل البيئات الطبيعية.

2.8 التعريف بالطائرات رباعية المراوح (الدرونز)، وأنواعها ومجالات استخدامها

2.8.1 ماهية الطائرات رباعية المراوح

في الواقع تعتبر طائرات الدرونز من الاختراعات الرائدة في الآونة الأخيرة في مجال البرمجة والتحكم عن بعد، وحتى وقت قريب اقتصر توظيفها على المجالات العسكرية، إلا أنه في السنوات القليلة الماضية تم تسخير هذه التكنولوجيا في العديد من المجالات المدنية.

ان مصطلح درون (Drone) مأخوذ من عالم الخيال العلمي مباشرة، فهذه التقنية تدرج تحت صنف مشترك بين علم الطيران والروبوتات وهندسة الميكاترونك (mechatronics)، اذ يمكن أن تمتد هذه التقنية من طائرات الدرونز العسكرية ذاتية القيادة كلياً الى الطائرات التي تعمل بأجهزة التحكم عن بعد ويلهو بها الأطفال.

وتعرف الطائرة رباعية المراوح (الدرون): بأنها مركبة هوائية أثقل من الهواء، تعمل بقوة محرك، وتستخدم قوة الرفع فيها أساسا للطيران، والتي تتولد من ردود فعل حركة الهواء على أسطح ثابتة في ظروف طيران معينة" (مؤمن، 2017: 7)، وتعرض دراسة بن تومي وآخرون (2016: 17) عددا من التعريفات للطائرات رباعية المراوح ومن ميزاتها انه يتم التحكم فيها عن بعد، كما تستخدم لمهام مختلفة ومتعددة، يتم التحكم بها عن بعد وهي مسيرة إلكترونيا.

وطائرات (الدرونز)، هي طائرات دون طيار (Unmanned Aerial Vehicles (UAV))، ودون غرفة قيادة تتحكم في قيادتها كوادر بشرية، وإنما يتم توجيهها عن بعد، لذلك فهي أصغر حجما من الطائرات التي يقودها طيار، ويطلق عليها بطائرة (درونز)، لهذا النوع من الطائرات جاءت من القانون الجوي الفرنسي، وظهرت الحاجة إليها عقب سقوط الطائرة الأمريكية للتجسس في أراضي الاتحاد السوفيتي عام 1960 (علي، 2012)، مما دفع الخبراء والمختصين إلى البحث عن طائرة لا تحمل المخاطر البشرية وتحقق الأهداف المرجوة منها، وقد استطاعت الولايات المتحدة الأمريكية استخدام اول طائرة بدون طيار في حربها ضد فيتنام (مؤمن، 2017).

وعليه يرى ديرك شميت (معهد الرحلات الجوية والفضائية الألمانية DLR) أن تسمية هذه الطائرات بطائرات دون طيار لا يوحى إلى المفهوم الصحيح لها، فدون طيار يشير إلى أن طائرات درونز توجه نفسها آليا، ولكن الحقيقة أن طيار بشري في محطة الطيران الأرضية يقود الطائرة، ويتحكم بتوجيهها وإقلاعها وهبوطها، من خلال الاتصال اللاسلكي بها عبر موجات الراديو، أو من خلال الرادار المتصل بالأقمار الصناعية، ومن خلال الإحداثيات التي يبرمجها لهذه الطائرة، وتسمى أيضا بالطائرات الموجهة حيث يستبدل وجود طيار بمجموعة من الاشارات التي تسهل التحكم بالطائرة عن بعد ومن خلال الاقمار الصناعية (المخلفي وشميت، 2013).

وقد انتشرت هذه الطائرات في الآونة الأخيرة حيث تعددت المسميات لها فمنهم من سماها الموجه ومنهم الطائرة ذات المراوح الأربع والزنانة من قبل الفلسطينيين في مقاومتهم مع الاحتلال الاسرائيلي (Wingtra, 2019).

تتناول الدراسات المعنية بالطائرات الصغيرة التي تعمل بدون طيار موضوع تعدد الأسماء المطلقة عليها، حيث تُشير إلى خصائصها المميزة كونها صغيرة الحجم، وخالية من الطيار، وقابلة للتحكم عن بُعد، ومتعددة الاستخدامات، وتتمتع بتكلفة منخفضة، وتُعتبر صديقة للبيئة وموفرة للوقود. كما تتميز هذه الطائرات بقدرتها على التقاط صور جوية ذات دقة عالية وإمكانية الحصول على صور ثلاثية الأبعاد.

شكل (2)

طائرة رباعية المراوح من نوع Phantom 4 Pro



2.8.2 أنواع طائرات الدرونز

في الواقع تتنوع طائرات الدرونز بشكل كبير تبعاً لحجمها وآلية الطيران وكذلك الهدف من استخدامها، فعلى سبيل المثال تكون الطائرات المستخدمة للأغراض العسكرية والحربية كبيرة الحجم وقد تشتمل على أسلحة حربية وكذلك أنظمة تجسسية تكون مزودةً بها، في حين أن الطائرات المستخدمة للأغراض المدنية عادةً ما تكون أصغر حجمًا وذات تقنية بسيطة نسبيًا. ولكن أفضل تصنيف لأنواع طائرات

الدرونز هو المعتمد على أساس المنصات الجوية، اذ يمكن تصنيف طائرات الدرونز بالاعتماد على المنصة الجوية المستخدمة الى أربعة أنواع رئيسية:

2.8.2.1 الطائرات المسيرة دون طيار ذات الأجنحة الثابتة (Fixed Wing Drone)

لها مبدأ عمل طائرات الركاب نفسها؛ اذا تحتاج هذه الأنواع من الطائرات الى الطاقة ليس لابقائها في الهواء ثابتة في مكان واحد ولكن للمضي قدما، لذلك تعد البديل الأكثر فعالية لرسم الخرائط الطبوغرافية للمناطق الكبيرة، فهي قادرة على اجتياز مسافات طويلة وتغطية مساحات كبيرة والبقاء على مقربة من نقاط الاهتمام فهي تستطيع البقاء في الهواء لأكثر من 15 ساعة. من ناحية أخرى، فان العيب الرئيسي للطائرات المسيره دون طيار ذات الاجنحة الثابتة هو عدم قدرتها على البقاء في الهواء في مكان واحد مما يمنعها من انشاء خرائط جوية مفصلة، وهي أكثر تكلفة وأكثر صعوبة في تعلم كيفية الطيران لأنك ستحتاج الى فهم اساسي لديناميكيات الطيران للاقلاع وتتبع خطوط الطيران ثم الهبوط بأمان، ويمكن أن يكون اطلاق وهبوط مثل هذا النوع من الطائرات مشكلة أيضا، فهي تحتاج الى مدرج للاقلاع والهبوط بأمان. تتراوح تكلفة الطائرات بدون طيار ذات الأجنحة الثابتة بشكل عام بين 25 ألف دولار و 120 ألف دولار.

2.8.2.2 الطائرات دون طيار متعددة المروحيات (Multi Rotor Drone)

هي أكثر أنواع الطائرات بدون طيار شيوعا بين الهواة والمحترفين، و الأكثر استخداما في مجال رسم الخرائط الجوية الاحترافية، أما تطبيقاتها الشائعة فهي التصوير والمسح الجوي والمراقبة بالفيديو، ويمكن تصنيف هذا النوع من الطائرات تبعا لعدد المروحيات الموجودة (ثلاثية المروحيات (Tricopter) أو رباعية المروحيات (Quadcopter) وهي الأكثر شعبية واستخداما أو سداسية المروحيات (Hexacopter)، لكن عيب هذا النوع من الطائرات المسيرة دون طيار هو انخفاض قدرتها على التحمل، وانخفاض سرعتها، بالاضافة الي محدودية وقت الطيران (وذلك تبعا للقاعدة العامة بأن كلما

زادت عدد المروحيات، كلما قصرت مدة بقاء الطائرة في الهواء) فهي غير مناسبة لتطبيقات المسح لمسافات طويلة، ورسم الخرائط والتفتيش، فهذا النوع من الطائرات تستطيع أن تطير بحد أقصى من 20-30 دقيقة بأقل حمولة. تختلف أسعار الطائرات بدون طيار متعددة المروحيات بشكل كبير من 5 الاف دولار الى 65 ألف دولار لأفضل الخيارات.

2.8.2.3 طائرات أحادية المروحية (Single Rotor Drone)

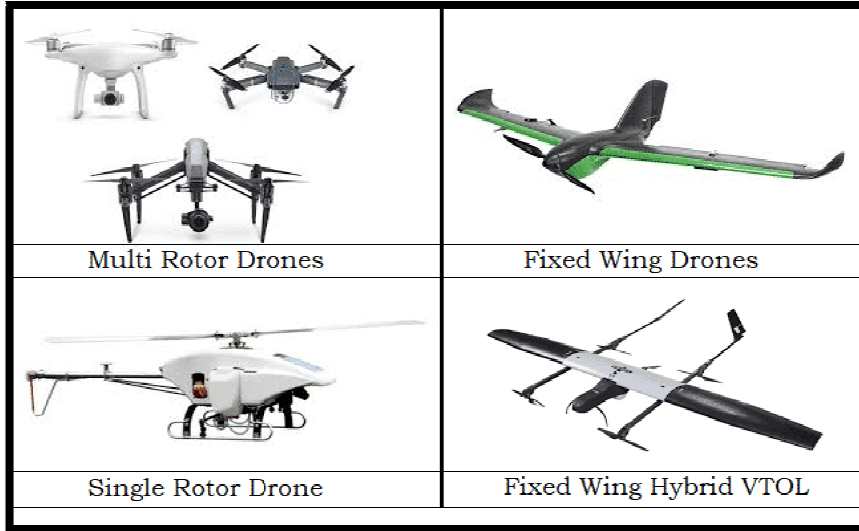
يعمل محرك هذا النوع من الطائرات باستخدام البنزين؛ لذلك تدوم فترة أطول من سابقتها في السماء وتجمع أيضا بين التحمل الطويل للرحلة والتحليق المستمر للأمام، وتعد الطائرة أحادية المروحية (هليكوبتر) خيارا جيدا لرسم الخرائط الجوية، لكن عيب هذا النوع من الطائرات المسيرة دون طيار هو زياده التكلفة والاهتزاز أثناء الطيران والخطر من شفرات الغزل الكبيرة وتحتاج الى مهارات جيدة لإبقائها في الهواء، كما أنها تتطلب مزيدا من الصيانة الميكانيكية نظرا لتعقيدها التقني عموما. يمكن شراء الطائرات أحادية المروحية من 25 ألف دولار الى 300 ألف دولار.

2.8.2.4 طائرات هجينة ثابتة الجناحين (Fixed Wing Hybrid VTOL)

والتي تعني أن هذه الطائرة تعتمد مبدأ الإقلاع والهبوط العمودي ولا تحتاج إلى وجود مدرج إقلاع على خلاف نظيرتها ذات الأجنحة (VTOL) وهي اختصار لـ “Vertical Take-Off and Landing” ومن المعروف ان الطائرات المسيرة دون طيار ذات الأجنحة الثابتة ذات كفاءة أكثر بما يتعلق باستخدام الطاقة، لذلك يمكنها تغطية مسافات طويلة على نحو أسرع.

شكل (3)

أنواع طائرات الدرونز



2.8.3 آلية عمل طائرة الدرونز

مع الانتقال إلى هذا المرحلة المتقدمة من التكنولوجيا، تبدأ الطائرة رحلتها من موقعها الأصلي لتنفيذ المهمة الموكلة إليها، ثم تعود إلى موقعها الأساسي. يتم برمجة الطائرات رباعية المراوح عن طريق طيار أرضي يقوم بتحديد نقاط مسار الطائرة وفقاً لغرض الرحلة. بعد ذلك، تتولى الطائرة توجيه نفسها تلقائياً باستخدام نظامها الأوتوماتيكي بناءً على الإحداثيات المدخلة، ويتحمل الطيار الأرضي مسؤولية القيادة ومتابعة حركة الطائرة من خلال البيانات التي يرسلها نظام الطيران الآلي (بن تومي وآخرون، 2016).

أما في الطائرات رباعية المراوح ذات التصميمات الأكثر تعقيداً، يقتصر دور القائد البشري على التحكم في هبوط الطائرة وإقلاعها، نظراً لوجود خاصية التحكم والتوجيه الذاتي. تعتمد هذه الطائرات على خوارزميات معقدة في برمجياتها وكاميرات دقيقة تقوم بمسح شامل ثلاثي الأبعاد للبيئة المحيطة، مما يوفر بيانات فورية لنظام الطيران الآلي لتجنب العقبات (موقع أراجيك الإلكتروني).

بالنسبة لنظام التوازن في الطائرات رباعية المراوح، تعتمد الطائرة على المروحيات المثبتة على سطحها، حيث تساهم في تحقيق التوازن من خلال الفعل المتعاكس لمحركاتها. أي خلل في إحدى هذه المروحيات يؤدي إلى خلل في اتزان الطائرة، بينما تعتمد الطائرات ذات الأجنحة على مبدأ توازن الضغط الهوائي عند أجنحتها لتحقيق التوازن والاستقرار اللازم (موقع أراجيك الإلكتروني).

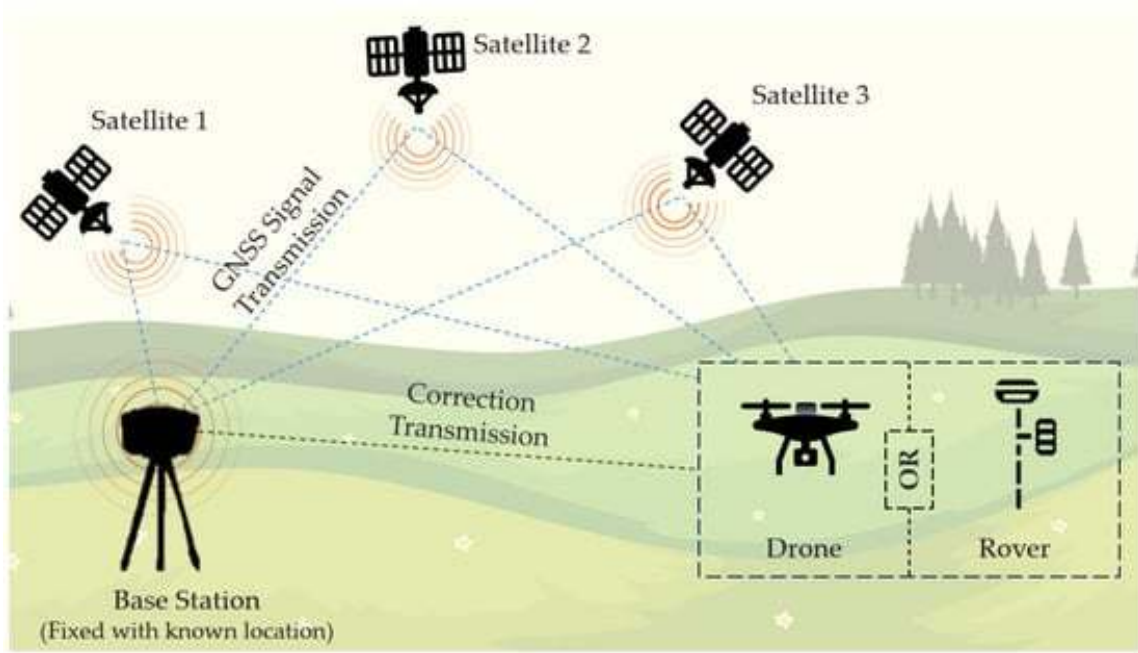
وفي طائرات الدرونز المتطورة تعمل وحدة القياس بالقصور الذاتي (IMU) على الكشف عن معدل التسارع الحالي باستخدام مقياس تسارع واحد أو أكثر. تقوم وحدة IMU بالكشف عن التغييرات في السمات الدورانية مثل الدوران والانعكاس باستخدام جيروسكوب واحد أو أكثر، وبعض وحدات IMU تشمل مقياس المغناطيسية للمساعدة في المعايرة ضد الانجراف في الاتجاه (Corrigan, 2019).

يُصنف المسح باستخدام طائرة الدرونز ضمن المسح الخارجي، والذي يشمل قياس جميع العناصر التي يمكن ملاحظتها من الخارج. تتضمن تقنيات المسح مجموعة واسعة من الأساليب مثل القياس التصويري الأرضي، المقياس الضوئي الجوي، المسح الضوئي بالليزر، قياس سرعة الدوران، ونظام GNSS المتجول. تمتاز آلية المسح الجوي باستخدام الطائرة رباعية المراوح بأن البيانات التي يتم الحصول عليها من الجو تُحدد جغرافياً في الوقت الفعلي، مما يتيح معالجة شبه آلية ويجنب الحاجة إلى نقاط التحكم الأرضية (Heliceo, 2019).

كما يتضح من الشكل (9)، يعتمد نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS) على إرسال الإشارات من محطات الإرسال الثابتة إلى محطة القاعدة ذات الموقع المعروف والثابت. تُرسل محطة القاعدة بدورها إشارات تصحيحية إلى الطائرة أو العربة، مما يضمن دقة تحديد المواقع والتنقل بشكل دقيق.

شكل (4)

البنية عمل الطائرة رباعية المراوح



2.8.4 مجالات استخدام طائرات الدرونز

السماء هي الحد، لكن اليوم مجالات تطبيق الطائرات بدون طيار لا حدود لها، التكنولوجيا التي صممت من قبل للتدمير تستخدم الان من أجل تحسين البشرية والنهوض بها، من الحفاظ على الحياة البرية الى مكافحة الأمراض، والاستجابة للطوارئ، والتأمين لرسم الخرائط، والعديد من الاستخدامات في قطاعات مختلفة.

وبفضل قدرتها على جمع البيانات بأمان وسرعة الوصول الى المواقع التي يتعذر الوصول اليها، يفتح عالما من الاحتمالات لاستخدامات الطائرات رباعية المراوح، ويتضاعف استخدامها في عمليات البحث والانقاذ، ورسم الخرائط والمسح، وفي التطبيقات المدنية الاخرى مثل الشرطة ومكافحة الحرائق.

تستخدم الطائرة رباعية المراوح في العديد من المجالات وقطاعات الحياة المختلفة، ومنها:

2.8.4.1 التخطيط الحضري

التخطيط الحضري مجال مهني يغطي دراسة الظواهر الحضرية والتوسع الحضري وتنظيم المدن، ويتطلب خبرة حقيقية في تخطيط استخدام الأراضي، وإنشاء أماكن عامة، وتنفيذ ممرات، وما إلى ذلك، ويحتاج المخطون الحضريون إلى معرفة الحالة الحالية للمدينة من أجل تطوير خططهم في المناطق الحضرية بشكل أفضل لضمان بيئة المستقبل، وتحقيق مشاريع تخطيط المدن وتحسين تنسيق الاستخدام، ولا شك في أن استخدام طائرة درونز في عملية استطلاع جوية للتخطيط الحضري يمتاز بالسهولة وتوفير الوقت والجهد، ففي أقل من نصف يوم تتيح للمخطط إمكانية الوصول بدقة وخط محدثة فيما يتعلق بمجالات الدراسة (Heliceo, 2019).

إذ تعمل الصور الجوية التي التقطتها الطائرات رباعية المراوح على تسريع وتبسيط المسوحات الطبوغرافية لإدارة الأراضي وتخطيطها، بالنسبة لاستكشاف المواقع، والتخطيط والتخصيص والتصميم، وكذلك الإنشاء النهائي للطرق والمباني والمرافق العامة (Wingtra, 2019).

2.8.4.2 مسح الأراضي

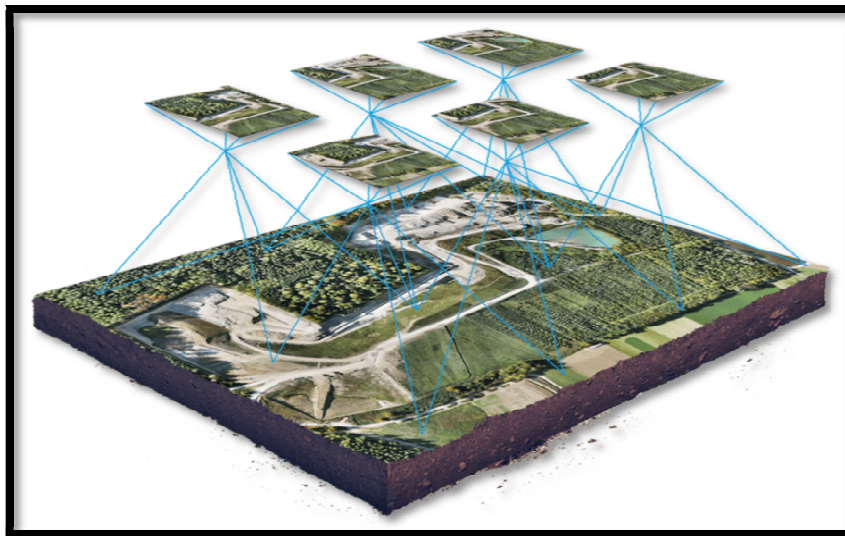
تستخدم الطائرة رباعية المراوح في المسح الجوي للأراضي، وقد وفرت هذه التقنية في مسح الأراضي تحسين جودة القياس بالإضافة إلى دقة خرائط المسح، وقدمت حلاً حقيقياً مريحاً للمساح والعميل، ظراً لأن هذه المساحات شاسعة جداً، فإن طرق المسح الأرضي قد تستغرق وقتاً طويلاً، فنظراً لسرعتها فإنها تسمح لأصحاب الأراضي والمساحين بتوفير الوقت عند المسح (Heliceo, 2019).

وباستخدام الطائرة رباعية المراوح في المسح الجوي للأرض يتم تصوير سطح الأرض عدة مرات من زوايا مختلفة، ويتم تمييز كل صورة بإحداثيات، ويجمع المسح التصويري باستخدام طائرات درونز بين الصور التي تحتوي على نفس النقطة على الأرض من نقاط متعددة للحصول على خرائط ثنائية وثلاثية

الأبعاد مفصلة، ومن هذه البيانات يمكن لبرنامج القياس التصويري إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد لمنطقة المشروع، كما يمكن أيضا استخدام هذه الخرائط لاستخراج معلومات مثل المسافات عالية الدقة أو القياسات الحجمية (Wingtra, 2019) والصورة التوضيحية الآتية تبين ذلك:

شكل (5)

مسح الأراضي



2.8.4.3 الأعمال الهندسية

توفر الصور التي يتم الحصول عليها من الكاميرات المثبتة على الطائرات رباعية المراوح الأساس لنماذج تفصيلية لطبوغرافيا الموقع للدراسات الهندسية قبل الإنشاء، إذ يمكن نقل البيانات التي تم إنشاؤها إلى أي برنامج CAD أو BIM حتى يتمكن المهندسون من البدء فوراً في العمل من نموذج ثلاثي الأبعاد، و نظراً لأن عملية جمع البيانات بواسطة طائرات درونز يمكن تكرارها بسهولة وبتكلفة منخفضة، فإنه يمكن التقاط الصور على فترات منتظمة وتركبها على المخططات الأصلية لتقييم ما إذا كانت أعمال البناء تتحرك وفقاً لمواصفات الخطة، كما تتيح أجهزة التقويم عالية الدقة للمساحين إجراء قياسات دقيقة للمسافة والسطح باستخدام الصور الجوية من طائرات درونز (Wingtra, 2019).

2.8.4.4 التقيب

تستخدم طائرة درونز في عمليات التفتيش ورصد مكونات سطح الأرض والأجسام التي عليها، والمعوقات التي تحملها، وهي طريقة توفر الوقت والجهد، نظرا لأن عملية التفتيش التقليدية التي تعتمد على المشاهدة البصرية قد تكون مكلفة وخطيرة بالنسبة للأشخاص الموجودين في الموقع، خاصة في المناطق التي يصعب الوصول إليها، كما تمتاز عملية المسح باستخدام الطائرة رباعية المراوح في هذه الحالة بجودة البيانات التي يتم جمعها، سواء من حيث الدقة أو الحجم أو الموضوعية، وكذلك رقمنة حالة الأجسام والظواهر الطبيعية والصناعية على سطح الأرض، وهناك العديد من المناطق والمجالات التي تحتاج إلى عملية التفتيش المسببة ومنها: السكك الحديدية والأنفاق والجسور والجدران الاستنادية والمواقع الصناعية للنفط والغاز (Heliceo, 2019).

2.8.4.5 قياس حجم المخزون

مع برنامج التعيين ثلاثي الأبعاد التي توفره الطائرات رباعية المراوح في المسح الجوي، فإنه من الممكن الحصول على قياسات حجمية من الصور نفسها، تعد هذه الطريقة السريعة وغير المكلفة لقياس الحجم مفيدة بشكل خاص لحساب المخزونات في المناجم والمحاجر لأغراض التصنيع أو المراقبة، فيمكن للمساحين النقاط العديد من نقاط البيانات الطبوغرافية، وبالتالي قياسات حجم أكثر دقة، والقيام بذلك بطريقة أكثر أمانا مما لو اضطروا لالتقاط البيانات يدويا عن طريق الصعود والنزول في المخزون (Wingtra, 2019).

2.8.4.6 التدخل السريع وقت الكوارث

تسبب الكوارث الطبيعية (الفيضانات والزلازل والانهيارات الأرضية) أضرارا كبيرة في البنية التحتية والمباني، وفي حالة حدوث الكوارث من المهم من المهم تحديد إمكانية الوصول إلى كل موقع وحالته للإغاثة من الكوارث والتدخلات أو الإصلاحات، وتمكن الطائرة رباعية المراوح المجهزة لإنتاج

الرسومات والنماذج ثلاثية الأبعاد ذات الإسناد الجغرافي في الوقت الفعلي، توفر تعيين دقيق وضمن سلامة المشغل في الاستجابة للكوارث، إذ يحصل المستخدم على صورة واضحة لمنطقة الكارثة، وبالتالي يمكنه إدارة عمليات الإغاثة والإصلاح، وكذلك تقدير مدى الضرر بالنسبة للمواقع بعيدة المدى (Heliceo, 2019).

ومع تحليل نظم المعلومات الجغرافية الآلي، من الممكن استخراج قياسات الميل من DTMs و DSMs الناتجة عن صور الطائرات رباعية المراوح، ومع العلم بانحدار سطح الأرض يمكن تصنيف المناطق واستخدامها لأغراض مراقبة المنحدر، بما في ذلك التخفيف من الانهيارات الأرضية والوقاية منها، وذلك فإن اكتشاف التغيرات في حركة الأرض وقياس سرعتها يمكن أن تساعد هذه البيانات في التنبؤ بحدوث الانهيارات الأرضية ومنع التلف المحتمل للطرق والسكك الحديدية والجسور (Wingtra, 2019).

2.8.4.7 القطاع الصحي

تستخدم بعض الدول الطائرات رباعية المراوح في المسح الصحي، والذي يتضمن مسح أماكن انتشار المرض، وتستخدمها بعض المستشفيات المتقدمة في تقديم الإسعافات الأولية العاجلة للمريض أو المصاب، من أجل الحفاظ على حالته الصحية لحين وصول سيارة الإسعاف له، بأن تقوم الطائرة رباعية المراوح بنقل حقيبة الإسعاف الأولية للشخص (الراوي، 2020)، كما يظهر في الشكل 6.

شكل (6)

نقل حقيبة الإسعاف الأولية بالطائرة رباعية المراوح



2.8.4.8 المجال الإعلامي

بعد أن كان يعتمد الاتصال والتواصل في مجال الإعلام على الوسائل التقليدية أصبح بفعل التقدم التقني الذي شهده العصر الراهن يوظف تقنيات حديثة قادرة على تسهيل عملية الإعلام وسرعتها، ومن هذه التقنيات استخدام طائرات درونز في المجال الإعلامي، الأمر الذي مكن القيام بمهام ميدانية بشكل أكثر دقة وفاعلية وأكثر أماناً في الحصول على المعلومة، لاسيما في حالة الصراعات السياسية، وكذلك المساهمة في تغيير مستقبل الإعلام ومستقبل الصحفي، وتعدى ذلك إلى استخدامها في صناعة الأفلام السينمائية والوثائقية وفي الإشهار والترويج (بن تومي، 2016).

2.9 استخدام برنامج Agisoft Metashape في معالجة وتحليل الصور الجوية

في هذا القسم، نتناول استخدام برنامج Agisoft Metashape لمعالجة الصور الجوية، مستكملين النقاش حول تقنيات الرصد والتحليل الجيومكاني التي تم تناولها في الأقسام السابقة. بعد استعراض الأساليب التقليدية والرقمية لتحليل الصور الجوية، يقدم هذا القسم فهماً لكيفية تطور هذه التقنيات لتشمل استخدام برامج متطورة تسهم في تحسين دقة المعالجة وتوسيع إمكانيات التحليل الرقمي.

يهدف القسم إلى إبراز دور برنامج Metashape في تسهيل عملية معالجة الصور وتحويلها إلى نماذج ثلاثية الأبعاد. يتم تقديم البرنامج كأداة قوية تمكن من استخدام تقنيات متقدمة لتصنيف الصور، وتحسينها، ورسم الخرائط، مما يعزز من قدرة الباحثين والمتخصصين على التعامل مع البيانات الجوية بكفاءة أعلى.

من خلال الربط بين هذه التقنية وتقنيات الربط الإحداثي التي تمت مناقشتها سابقاً، يمكن للباحثين تحقيق تكامل أكبر في تحليل البيانات المكانية وإنتاج نتائج تحليلية دقيقة ومفيدة لمختلف التطبيقات الجيومكانية. إلى وقت قريب كان معالجة الصور الجوية يتم من خلال البيانات التي تنتجها الصور الجوية، كوسيلة وحيدة لتحليل، ويتم تحديد الظواهر التي تحتويها الصورة بالمقارنة بين العناصر والبيانات التي تحتويها، ومن ثم استخدام نتائج المقارنة في رسم الخرائط، وهذا يحتاج إلى خبرة عالية من محلل الصورة، وأن يتوفر لديه معرفة كافية بالمنطقة المصورة، كما يتوقف على خصائص البيانات في الصورة الجوية، وفيما بعد ونتيجة للتقدم في علم الحواسيب والتقنيات التكنولوجية الحديثة حدث تطور في مجال معالجة الصور الجوية، باستخدام ما يعرف بالتحليل الرقمي للصورة الجوية، باستخدام برامج حاسوبية تطبق خوارزميات رياضية وإحصائية ومنطقية على الصور الجوية (Xu et al 2023)، وتنقسم هذه الخوارزميات إلى ثلاثة أقسام، الأول يمثل إعداد البيانات، ووظيفته تصحيح التشوهات الهندسية، والثاني يهتم بتحسين الصورة وزيادة درجة وضوحها، والقسم الثالث يهتم بتصنيف الصورة وإنتاج الخرائط (Fan et al 2022).

تشتمل عملية معالجة الصور الجوية وتحليلها معرفة العناصر الأساسية على الصورة الجوية، وتشمل اللون ودرجته، والنم، والنسيج، والشكل، والحجم، والظل، كما يراعى أيضاً في تفسير الصور الجوية بعض العوامل منها: النطاقات الطيفية المستخدمة في التصوير، ووقت التصوير، ومقياس الرسم، والوضوح المكاني، والغيوم، و نتيجة لظهور نظم المعلومات الجغرافية (Li et al, 2022) وما شهدته

من نهضة رقمية تطور أسلوب تفسير الصور الجوية، فاستدعى الأمر ابتكار أجهزة ومعدات تسمح بالرؤية المجسمة للصور الجوية (Quamar et al,2023).

وفي مرحلة متقدمة تم اختراع برامج خاصة تتعامل مع الصور الجوية منها ما يتعامل مع الصور الجوية باستخدام نظارات خاصة تمكن من الرؤية المجسمة للصورة الجوية و رسم محتوى الصورة بدقة عالية، وتتم هذه الطريقة وفق خطوات، حيث يتم في الخطوة الأولى إدخال الصورة بواسطة الماسح، ثم عمل تصحيح هندسي للصورة الجوية من خلال نقاط ربط معلومة فيما يعرف بالتحقق الأرضي، وفي الخطوة الثالثة يتم فحص الصور الجوية، وعمل رسم لها من خلال الشاشة، وتقديم قاعدة بيانات لمحتوى الصورة الجوية (Liu et al,2021).

وعادة ما تستخدم المساحات الضوئية الاحترافية لرقمنة الصور الجوية، هذه المساحات الضوئية يمكن إنتاج مواد فوتوغرافية تمثيلية (سلبية أو إيجابية) بتنسيق رقمي يحقق هذه المتطلبات الأساسية لمسح الصور الفوتوغرافية بتنسيق مناسب، ورغم دقة المساحات الضوئية في معالجة الصور الجوية إلى أنها غالبية الثمن، وبالتالي ليس لدى العديد من الشركات أو المستهلكين إمكانية شرائها وكتطبيق تقني للمسح الضوئي والرقمي للصور الجوية فإن برنامج Agisoft Metashape يستخدم في معالجة الصور الجوية من خلال تحويل البيانات الظاهرة والمخفية في الصورة الجوية إلى صورة ثلاثية الأبعاد عالية الوضوح والدقة باستخدام الحاسوب، وإعادة بناء مجسم ثلاثي الأبعاد للصورة الجوية (Loghin, A. M. 2022).

إن استخدام أنظمة معالجة الصور في تحليل بيانات الصور الجوية يتم بصورة جيدة، ومع ذلك لا يزال هناك قدر كبير من البيانات في شكل التصوير الجوي التي يمكن تحسين تحليلها بشكل كبير باستخدام تقنيات تحسين الصورة والتلاعب الجغرافي، فقد يتم تطبيق تقنيات تحسين الصورة على البيانات الرقمية المستمدة من مصادر تماثلية أرضية مما يتيح استخراج الميزات الدقيقة التي لم تكن واضحة في

مجموعة البيانات الأصلية، خاصة أن الطبيعة الرقمية لهذه البيانات تجعلها قابلة لمزيد من التحليل في نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، كما يتيح استخدام حزم برمجيات رسم الخرائط الآلية إخراج منتجات الخرائط المفيدة والجذابة من مجموعات البيانات، وقد أدى التقدم التكنولوجي في أجهزة الحواسيب الصغيرة إلى انخفاض كبير في تكلفتها مع زيادة مقابلة في قدرتها الحاسوبية، وفي الآونة الأخيرة برز تطوير المساحات الضوئية منخفضة التكلفة (مضبطات التقطع الآلية الأوتوماتيكية) كأداة مهمة لمعالجة الصور لصناعة التعيين والرسومات (Katal et al,2023).

تتضمن خطوات معالجة البيانات باستخدام برنامج Agisoft Metashape بدءاً من تحميل الصور الجوية إلى البرنامج، حيث تبدأ الخطوة الأولى بأمر "Align Photos" الذي يحسب مواضع الكاميرا واتجاهها لكل صورة، مؤدياً إلى تكوين سحابة نقطية متفرقة تمثل نقاط الربط. يتبع ذلك استيراد المواقع الجغرافية للصور عبر قائمة "Reference Plane" باستخدام أمر "Import Reference"، مما يتيح إدخال مواقع نقاط الربط الأرضية (GCPs) بدقة.

من ثم يتم إنشاء سحابة نقطية كثيفة من خلال خيار "Workflow"، حيث يعتمد البرنامج على الربط بين المعالم المشتركة في الصور لإنشاء سحابة نقطية ثلاثية الأبعاد كثيفة. تليها خطوة إنشاء نموذج شبكي، حيث يتم تحويل السحابة النقطية الكثيفة إلى شبكة ثلاثية الأبعاد. الخطوة التالية هي بناء نسيج من الألوان لإضافة تفاصيل لونية إلى النموذج ثلاثي الأبعاد، مما يعزز من دقة وواقعية النموذج. ثم يتم إنشاء نموذج السطح الرقمي (DSM) ونموذج التضاريس الرقمي (DTM) باستخدام أمر "Build DEM"، حيث يمثل DSM سطح الأرض بكافة معالمها، بينما يمثل DTM التضاريس الأرضية الجرداء.

أخيراً، يتم إخراج نموذج الارتفاعات والصورة العمودية باستخدام أمر "Export" للحصول على نموذج رقمي نهائي شامل لمنطقة الدراسة. تفصيل كل من هذه الأشكال والعمليات موجود في الفصل الرابع،

مما يضمن تحقيق دقة عالية في التحليل المساحي والهندسي.

الفصل الثالث

معايير واعدادات استخدام الطائرات رباعية المراوح في الأعمال المساحية

بعد الاطلاع على اساسيات المسح التصويري وتطبيقاتها المتنوعة، والتعرف على أداة المسح الجوي المستخدمة في هذه الدراسة (الطائرات رباعية المراوح طراز Phantom 4 Pro) واليه عملها ومجالات استخدامها، يُعرض هذا الفصل المعايير الأساسية وإعدادات استخدام هذا النوع من الطائرات التي يفضل اتباعها لنتمكن من الحصول على صور جوية عالية الدقة يمكن الاعتماد عليها في اعمال المساحة الهندسية؛ وتتمثل هذه الاعدادات بداية في شكل نقاط الضبط الأرضي وحجمها المناسب على ارتفاعات تصوير جوي مختلفة، ومرورا باعداد خطة طيران تتناسب مع المشروع المساحي الهندسي؛ مثل نوع خطة الطيران وعدد خطوط الطيران ونسبة التداخل الأماميه والجانبية، بالإضافة الى اعدادات الكاميرا المثالية؛ تتمثل في ضبط فتحة العدسة، سرعة الغالق، وحساسية الضوء (ISO) ، التي لها تأثير مباشر على جودة الصور الملتقطة، وسيتم التطرق إلى الى معايرة الكاميرا والبوصلة في الطائرات رباعية المراوح.

3.1 الدقة المكانية (Spatial Resolution)

الدقة المكانية (Spatial Resolution) تُعبر عن قدرة النظام على تمييز التفاصيل الدقيقة في الصورة، وتُعتبر معياراً هاماً في عمليات التصوير الجوي وعلم المسح الجوي. تعبر مسافة العينة على الأرض (GSD)، أو مسافة العينة الأرضية، عن الحجم الفعال لكل بكسل في الصورة النهائية، وتلعب دوراً حاسماً في تحديد مستوى التفاصيل الذي يمكن التقاطه وتمثيله في الصورة.

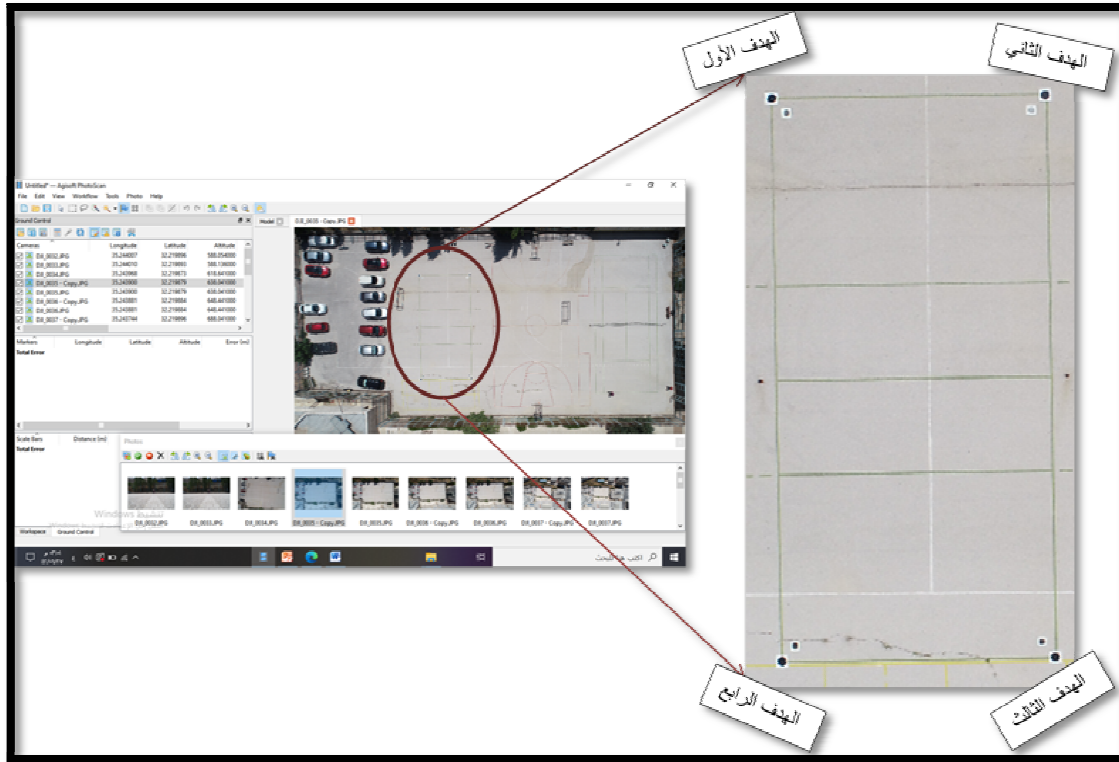
تُظهر الشكل (7) الدقة المكانية لتوزيع الأهداف أثناء عملية المسح الجوي باستخدام الطائرة رباعية المراوح، حيث توزيع أربعة أهداف كبيرة يبلغ نصف قطرها (15سم) وأربعة أهداف صغيرة يبلغ نصف قطرها (10سم) على منطقة الدراسة (ملعب الحرم الجامعي القديم لجامعة النجاح) وتثبيتها في

نقاط محددة ورصدها باستخدام جهاز GPS، ومن ثم تم رصدها باستخدام الطائرة رباعية المراوح على ارتفاعات مختلفة تم تقسيمها على النحو التالي:

- ارتفاعات منخفضة (30م، 50م، 60م)
- ارتفاعات متوسطة (100م، 120م)
- ارتفاعات عالية (200م، 240م، 300م)

شكل (7)

الدقة المكانية لتوزيع الأهداف



تُعتبر الدقة المكانية من العوامل الحيوية في تحليل الصور الجوية والتصوير الطوبوغرافي باستخدام طائرات الدرونز. لحساب الدقة المكانية، يتم استخدام المعادلات التالية:

يُحسب حجم البكسل (Pixel Size - PS) بقيمة 0.00241228 ملم. تُستخدم هذه القيمة كأساس لحساب

الدقة المكانية عند ربطها بنسبة المقياس (Scale) التي تُحدد كالتالي:

$$\text{Scale} = \frac{1}{H/f}$$

حيث (H) يمثل ارتفاع الطيران و (f) يمثل البعد البؤري للكاميرا. بالتطبيق على المعطيات:

$$S = \frac{1}{30 \times 1000/8.8} = \frac{1}{3409.0909}$$

لحساب حجم البكسل على الأرض (Ground Pixel Size)، يتم ضرب حجم البكسل (PS) في نسبة المقياس (S):

$$\text{Ground Pixel Size} = \text{PS} \times S$$

$$8.22 = 0.00241228 \times 3409.0909 = \text{Ground Pixel Size (Resolution)}$$

تغطية كل صورة تُحسب حسب ارتفاع الطيران. تُعطى أبعاد الصورة بدقة 3648×5442 بكسل. يتم حساب التغطية الأرضية كالتالي:

للأبعاد الطولية:

$$\text{التغطية الأرضية للطول} = \frac{5472 \times 8.22}{1000} = 45 \text{ متر}$$

للأبعاد العرضية:

$$\text{التغطية الأرضية للعرض} = \frac{3648 \times 8.22}{1000} = 30 \text{ متر}$$

تعرض هذه الحسابات آلية تحديد الدقة المكانية ومدى التغطية الأرضية لكل صورة يتم التقاطها بواسطة الطائرة، وهذه العناصر تُعد ركائز أساسية لتحسين جودة التحليلات الطبوغرافية وتوفير بيانات دقيقة ضرورية للمشروعات الهندسية. يُسلط هذا المنحى الحسابي الضوء على الأهمية المحورية لاستخدام

التقنيات الحديثة في تنفيذ عمليات التصوير الجوي بكفاءة ودقة عالية. تُسهم هذه العمليات بشكل فعال في رفع مستوى دقة النتائج المتحصلة.

جدول (1)

الدقة المكانية حسب ارتفاع الطيران

التغطية الأرضية (Ground Coverage)	حجم الخلية (Pixel Size)	ارتفاع الطيران (Flight Height)
45مX30م	0.8سم	30م
75مX50م	1.4سم	50م
90مX60م	1.6سم	60م
150مX100م	2.7سم	100م
180مX120م	3.3سم	120م
225مX150م	4.1سم	150م
300مX200م	5.5سم	200م
360مX240م	6.6سم	240م
450مX300م	8.2سم	300م

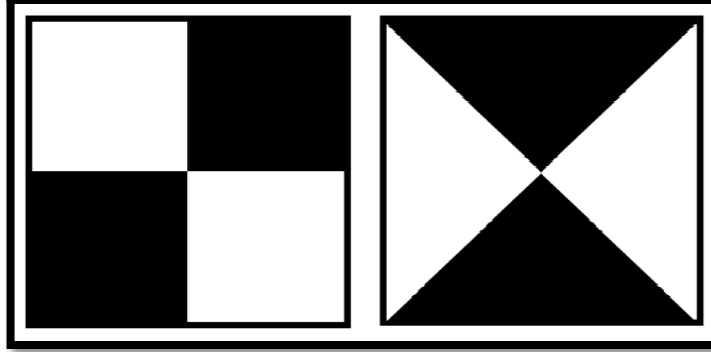
يُظهر الجدول (1) الدقة المكانية حسب ارتفاع الطيران، حيث يُحدد العلاقة بين ارتفاع الطيران وحجم الخلية (Pixel Size) والتغطية الأرضية (Ground Coverage). يُبين الجدول كيف يزداد حجم الخلية مع ارتفاع الطيران، مما يؤثر بدوره على دقة التفاصيل التي يمكن الحصول عليها من الصور الجوية. على سبيل المثال، عند ارتفاع 30 مترًا، يكون حجم الخلية 0.8 سم وتكون التغطية الأرضية 30 مترًا في 45 مترًا. في حين أنه عند ارتفاع 300 متر، يصل حجم الخلية إلى 8.2 سم، والتغطية الأرضية تصل إلى 300 متر في 450 مترًا. تُوضح هذه البيانات أهمية اختيار الارتفاع المناسب

للطيران لتحقيق الدقة المطلوبة في الصور الجوية، حيث تؤثر زيادة الارتفاع على تفاصيل الصورة وتغطيتها للمساحات الأرضية.

اختارت الباحثة الشكل الدائري للأهداف في بداية هذه الدراسة؛ وذلك لدراسة دقة وضوح هذه الأهداف على ارتفاعات طيران مختلفة، فهذه الأهداف استخدمت للاختبار والفحص وليس من أجل دراسة مشاريع هندسية، ورصدت الباحثة هذه الأهداف من أجل التدريب على استخدام أدوات المسح الأرضي (التمثلة بجهاز GNSS) والمسح الجوي (الطائرة رباعية المرواح). ويفضل استخدام الأهداف التي تتخذ شكل المربعات أو الشطرنج كما يظهر في الشكل (8)، في الأعمال المساحة الهندسية التي تتطلب دقة عالية؛ ليسهل تحديد المركز وقياس نقاط الضبط الأرضي بدقة عالية من الصور الجوية الملتقطة.

شكل (8)

الشكل الأمثل للأهداف المستخدمه كنقاط ضبط ارضي



من ناحية أخرى، يُقدم الجدول (2) كما في الملحق (أ)، توزيع الأهداف على ارتفاعات مختلفة، موضحاً تأثير ارتفاع الطيران على وضوح الأهداف الكبيرة (A) والصغيرة (B). يتم توزيع الأهداف على ارتفاعات مختلفة تتراوح بين 30 مترًا و300 متر، ويُلاحظ من الصور الملتقطة كيف يتغير وضوح الأهداف تبعاً لارتفاع الطيران. عند الارتفاعات المنخفضة (30 مترًا إلى 60 مترًا)، تكون التفاصيل أكثر وضوحًا، في حين تقل دقة التفاصيل عند الارتفاعات المتوسطة (100 متر إلى 150 متر) والعالية (200 متر إلى 300 متر).

تمت تجربة طائرة درون من طراز Phantom 4 Pro، حيث تم تصوير الأهداف المستهدفة باستخدام الطائرة على ارتفاعات مختلفة تراوحت بين 30 متراً و240 متراً، مع المحافظة على ثبات عوامل التصوير الجوي الأخرى. كانت الأحوال الجوية مغيمة جزئياً أثناء عملية التصوير الجوي.

تعد قيمة الدقة المكانية المطلوبة في الأعمال المساحية هي أقل من 5م، وهي الدقة التي يمكن الحصول عليها من جهاز نظام تحديد المواقع العالمي (GNSS)، وتبين من خلال الاختبار السابق أن التصوير الجوي على ارتفاعات منخفضة (30م، 50م، 60م) يحقق أعلى قيم الدقة المكانية، حيث بلغت قيم الدقة المكانية (0.8سم، 1.4سم، 1.6سم) على التوالي، ولكن التغطية الأرضية التي حققتها منخفضة، فالخليفة الواحدة تغطي مساحة (45م*30م) على ارتفاع 30م، و (75م*50م) على ارتفاع 50م. وهذا يعني صغر المساحة التي تغطيها رحلة التصوير الجوي، وزيادة عدد الصور الجوية اللازمة لتغطية المنطقة المراد دراستها، وكذلك زيادة في الوقت والتكلفة. و الصور الجوية الملتقطة على ارتفاعات منخفضة لا تعطي صورة شاملة لمنطقة مختلفة التضاريس أو تحتوي على ظواهر مختلفة، لذلك تعد الأهداف الصغيرة فعالة ويسهل تحديد مركزها على هذه الارتفاعات أما الأهداف الكبيرة لا داعي لها.

أما التصوير الجوي على ارتفاعات متوسطة (100م، 120م، 150م)، فكانت قيم الدقة المكانية (2.7سم، 3.3سم، 4.1سم) على التوالي، وهذه الدقة مناسبة ومقبولة لأغراض المساحة الهندسية، وكانت التغطية الأرضية التي حققتها (150م*100م) على ارتفاع 100م، (180م*120م) على ارتفاع 120م، (225م*150م) على ارتفاع 150م، وكانت الأهداف الصغيرة والكبيرة فعالة على هذه الارتفاعات ويمكن تمييزها بوضوح وتحديد مراكزها.

بينما حقق التصوير الجوي على ارتفاعات عالية (200م، 240م، 300م) دقة مكانية منخفضة جداً (5.5سم، 6.6سم، 8.2سم) على التوالي، وهذه الدقة تعد غير مقبولة ولا يمكن الاعتماد عليها في الأعمال المساحة الهندسية، ولكن تغطيتها الأرضية عالية، فقد بلغت (300م*200م) على ارتفاع

200م، (360*240م) على ارتفاع 240م، و(450*300م) على ارتفاع 300م، لذلك كان من الصعب تحديد مراكز الأهداف الكبيرة، والأهداف الصغيرة غير فعالة.

تُسهّم هذه الجداول في فهم العلاقة بين ارتفاع الطيران ودقة الصور الجوية، مما يساعد الباحثين والمختصين في اختيار الارتفاع المناسب للطيران بناءً على الأهداف المحددة من التصوير. من خلال تحليل هذه البيانات، يمكن تحسين دقة الخرائط الطبوغرافية والنماذج ثلاثية الأبعاد، مما يعزز من فعالية استخدام الطائرات المسيرة في جمع البيانات وتحليلها لتحقيق الأهداف البحثية والهندسية بشكل دقيق وموثوق.

3.2 اعدادات خطة الطيران

بالاستناد إلى النتائج التحليلية الواردة في الأقسام السابقة حول الدقة المكانية والتغطية الأرضية على مختلف الارتفاعات، تُعتبر عملية تحديد إعدادات خطة الطيران خطوة بالغة الأهمية لضمان تحقيق الأهداف المنشودة من المسح الجوي.

3.2.1 اختيار ارتفاع الطيران المناسب

يعتمد ارتفاع الطيران المناسب على عدة عوامل أهمها: الغرض من المسح الجوي (طبيعة المشروع) كأن يكون غرضاً هندسياً أو زراعياً وغيرها، تضاريس المنطقة المصورة، نوع الطائرة المستخدمة في عملية التقاط الصور الجوية.

في هذه الدراسة تم التقاط الصور الجوية باستخدام الطائرة رباعية المراوح على ارتفاع 75 م، وذلك لاستخدامها في اغراض مساحية فإنه يفضل أن يكون ارتفاع الطائرة 60م وان لا يزيد عن 120 م.

3.2.2 اختيار الوقت المناسب للتصوير

لا بد من اختيار الفصل المناسب من السنة وكذلك اليوم والساعة التي توفر أفضل الشروط الأرضية والجوية لالتقاط الصور الجوية، هذا ما يخص التصوير الجوي التقليدي الذي يستخدم كاميرات كبيرة الحجم. أما الآن وباستخدام الطائرة رباعية المراوح لا يوجد هناك داعي لكل هذه التعقيدات، فيمكن اجراء المسح الجو بأي فصل من فصول السنة مع مراعاة الحالة الجوية كأن يكون الطقس ماطرا أو الرياح عاصفة فلا يمكن استخدام الطائرة رباعية المراوح بهذه الحالة.

وتعد الظروف المثالية للتصوير الجوي للأعمال المساحية باستخدام طائرة الدرونز عندما تكون الشمس عمودية في منتصف النهار تقريبا، فان ذلك يقلل من حدوث تشويه الظل، مما يسمح بالحصول على صور أكثر وضوحا ودقة، ومن الضروري مراعاة زاوية سقوط أشعة الشمس، والظروف الجوية، والفصول السنوية لتحقيق النتائج الأكثر دقة.

ومع ذلك، اذا كانت الشمس ساطعه جدا، تكون شدة الاضاءة عالية، وتتسبب بالتقاط الكاميرا لصور جوية شديدة السطوع، مما يؤثر على جودة الصور الملتقطة وفقدانها تفاصيل قيمة، ولهذا السبب من المهم مراقبة الظروف الجوية وضبط معايرة طائرة الدرونز وفقا لذلك.

ولتحقيق النتيجة المثالية لاستخدام طائرة الدرونز في الاعمال المساحية لا يقتصر فقط على اختيار "أفضل" وقت في اليوم، انما تعتمد على التكيف مع موقع الشمس والظروف الجوية، وضبط اعدادات الكاميرا ومعايرة الطائرة، وتحقيق أقصى استفادة من الضوء المتاح.

وقد راعت الباحثة هذه المعايير، حيث تم التقاط الصور الجوية الساعة 12:53 ظهرا، وكان الجو مشمس، وذلك بتاريخ 8-12-2021م.

3.2.3 اختيار نسبة التداخل في الصور الجوية (Photo Overlap)

نميز بين تداخلين، تداخل أمامي باتجاه سير الطائرة (End Overlap)، ويفضل أن تكون نسبة التداخل الأمامي بمقدار (55%) الي (70%)؛ وذلك لغايات الرؤية المجسمة لكافة تفاصيل المنطقة المصورة. وتداخل جانبي (Side Overlap) والذي تكون نسبته بمقدار (10%) الي (30%)؛ وذلك للتأكد من تصوير كافة أشرطة المنطقة، وعدم حصول فجوات غير مصورة بين شريط واخر، وهذا ما يخص التصوير الجوي التقليدي.

أما باستخدام الطائرة رباعية المراوح، فتم تحديد قيمة التداخل الأمامي (90%) وقيمة التداخل الجانبي (60%-80%)، وذلك لأن الهدف من دراسة هو لاستخدامها في أغراض مساحية، وذلك يتطلب دقة عالية في جمع البيانات فتم تكثيف الصور الملتقطة لمنطقة الدراسة.

3.2.4 أنواع خطة الطيران

للحصول على أفضل نتائج من خطة الطيران لالتقاط صور جوية تحقق الأهداف المرجوة منها، يتوجب عليك اختيار نوع طائرة بدون طيار ملائم لهذه المهمة وتحديد نوع خطة الطيران المناسبة. تتضمن أنواع خطط الطيران الأكثر شيوعاً: Grid، Polygon، Circular، وأيضاً Linear، والتي تُستخدم في العديد من الدراسات.

يُستخدم نمط Grid عندما يكون الهدف هو تغطية منطقة مربعة أو مستطيلة بتداخل منتظم بين الصور، مما يضمن تغطية كاملة ودقيقة للمنطقة. نمط Polygon يُستخدم للمناطق غير المنتظمة الشكل، حيث تُحدد الحدود مسبقاً ويتم تعديل خطة الطيران لتغطية جميع الزوايا والأطراف. نمط Circular يُستخدم عادةً لتصوير أهداف محددة من جميع الزوايا، مثل المباني أو المواقع الأثرية، حيث تطير الطائرة بدون طيار في دوائر حول الهدف.

أما نمط Linear فيستخدم لتصوير مسارات طويلة وضيقة مثل الطرق أو الأنهار، حيث تطير الطائرة بدون طيار على طول المسار المحدد لضمان تغطية متتابعة ومتسقة للمسار بأكمله. اختيار نمط الطيران المناسب يعتمد على طبيعة الهدف المراد تصويره والظروف البيئية المحيطة، وذلك لتحقيق أفضل توازن بين جودة الصور والكفاءة في جمع البيانات، وتتعدد أنواع خطط الطيران الى:

• Grid Mission

يعد هذا النوع من خطط الطيران مناسب لمعظم البيئات الجغرافية، ويضمن التقاط صور جوية ذات تداخل مطلوب للمعالجة المثلى، ويتم تحديد ابعاد المنطقة المراد التقاط الصور الجوية لها على شكل مستطيل. ويستخدم المخطط الشبكة للحصول على خرائط ثنائية الأبعاد(2D)، والمساحات الجغرافية الكبيرة والمستوية نسبيا كالحقول واعمال الحفر.

• Double Grid Mission

يضمن هذا النوع من خطط الطيران التقاط صور جوية من جوانب متعددة وذات تداخل مطلوب للمعالجة المثلى بالمقارنة مع الشبكة البسيطة، مع مراعاة التحليق بالطائرة على ارتفاعات منخفضة لالتقاط المزيد من التفاصيل الرئيسية للأهداف.

ويستخدم هذا النوع من خطط الطيران في الحصول على خرائط ثلاثية الأبعاد(3D)، وفي المساحات والأهداف المعرضة للتغيير باستمرار(مثل المباني والغابات)، ومناسبة للمساحات الجغرافية الصغيرة والمتوسطة نسبيا حيث يتضاعف زمن رحلة التصوير الجوي.

• Circular Mission

التخطيط والتحليق في مهمة دائرية "بيضاوية" الشكل حول الأهداف، ويضمن هذا التخطيط أن الصورة ملتقطة من جميع الزوايا للأهداف المستهدفة، مع التداخل المطلوب للمعالجة المثلى.

ويستخدم هذا التخطيط في الحصول على خرائط ثلاثية الأبعاد(3D)، وفي المساحات الصغيرة، والأهداف المعزولة كالمباني والأبراج ويقترح القيام بعدة مهام دائرية لها على ارتفاعات مختلفة.

• Polygon mission

التخطيط والتحليق في مهمة متعددة الأضلاع، وهذا التخطيط مناسب لمعظم البيئات التي تطلب حدوداً مرنة للطيران أو ذات شكل خرائط معقد، ويضمن التقاط صور مع التداخل المطلوب للمعالجة المثلى.

يستخدم Polygon Mission لإنتاج خرائط ثنائية الأبعاد (2D)، وتصوير مساحات كبيرة ذات سطح مستوي نسبياً كالحقول وأعمال الحفر، وفي المساحات ذات الشكل المعقد "غير المنتظم" وضمن قيود في حدود الرحلة.

يتم اختيار نوع خطة الطيران بناءً على المشروع الهندسي المراد دراسته وتصويره، على سبيل المثال؛ لتصوير بناية ذات عدة طوابق لإعادة إعمارها وهيكلتها أو ترميمها يتم اختيار خطة Mission Circular، وإذا أردنا تصوير مشروع طرق مراد تعبيده وصيانته أو اختيار الموقع المناسب لأعمدة الإنارة يتم اختيار خطة Road Mission.

شكل (9)

أنواع خطط الطيران في برنامج *pix4D*



3.3 معايرة الكاميرا المستخدمة في الطائرة رباعية المراوح Phantom 4 pro

تعد المعايرة شرطا أساسيا لكاميرات التصوير الجوي من أجل تحديد عناصر التوجيه الداخلي ولتحديد التشوهات الهندسية المختلفة الناتجة عن الإسقاط المنظوري. عناصر المعايرة تتكون من:

1. البعد البؤري (Calibrated Focal Length(F)).
2. إزاحة النقطة الأساسية (Offset of The Principal Point(xp,yp)).
3. تشوهات العدسة (Lens Distortion Coefficients(k1,k2,k3,p1,p2)).

أنواع معايرة كاميرا طائرة الدرونز Phantom4

1. معايرة الكاميرا في المختبر (Laboratory Calibration)

وهي المعايرة الداخلية للكاميرا ووحدات الرؤية، وتكون باستخدام برامج معدة من قبل الشركة المصنعة.

الالية التي تتم بها معايرة الكاميرا الداخلية في طائرة الدرونز:

اولا: يتم توصيل طائرة الدرونز بجهاز الكمبيوتر باستخدام سلك USB.

ثانيا: تشغيل برنامج DJI Assistant2.

ثالثا: اختيار نوع الطائرة "Pantom 4" ومن ثم الضغط على أمر "معايرة".

رابعا: أضبط الطائرة ووجه مقدمتها نحو شاشة الحاسوب للتصويب نحو الصناديق الموجودة على الشاشة وفقا لتعليمات.

خامسا: أكمل المعايير الأفقية والرأسية؛ يرجى البدء في نقطة المعايرة لأجهزة استشعار العوائق الأمامية، بتوجيه مقدمة الطائرة لشاشة الحاسوب بحيث تتطابق زوايا المربعات الحمراء مع زوايا المربعات الزرقاء، وانتظر لبضع ثواني، ثم امالة الطائرة الى اليسار والى اليمين لملء شريط التقدم الأفقي. معايرة الكاميرات السفلية(المستشعرات السفلية)، بتوجيه الجزء السفلي من الطائرة نحو الشاشة، بحيث تتطابق زوايا المربعات الحمراء مع زوايا المربعات الزرقاء، وانتظر لبضع ثوان، ومن ثم امالة الطائرة لأعلى ولأسفل لملء شريط التقدم الرأسي.

سادسا: عند الانتهاء سيقوم البرنامج تلقائيا بحساب وتطبيق المعايرة.

2. معايرة أثناء الطيران (In-Flight Calibration)

والتي تتم باستخدام برنامج Agisoft Metashape أثناء ربط الصور الجوية.

اللية معايرة الكاميرا أثناء الطيران:

اولا: التقاط عدد من الصور من زوايا مختلفة قليلا باستخدام طائرة الدرونز، والحد الأدنى لعدد الصور

لبعد بؤري معين هو ثلاثة صور.

ثانيا: تحميل الصور الملتقطة على جهاز الحاسوب.

ثالثا: اضافة الصور الملتقطة على برنامج Agisoft.

رابعا: معايرة عدسة الكاميرا بالضغط على أمر Camera Calibration من قائمة الأدوات "Tool"،

والتأكد من أن اعدادات من اعدادات نوع الكاميرا تتوافق مع العدسة المراد معايرتها.

خامسا: اختيار أمر Calibrate Lens، من القائمة الفرعية Lens من قائمة الأدوات.

سادسا: تحديد معلمات المعايرة المطلوبة في مربع الحوار الذي ظهر.

سابعا: ستظهر نتائج المعايرة في علامة تبويب، نحتفظ في تقرير المعايرة لاستخدامه في معالجة

الصور الجوية الملتقطة بذات الكاميرا، كما في الشكل رقم (10) في الملحق (ب).

3.4 اعدادات الكاميرا المستخدمة في طائرة Phantom 4 pro

لعل من أهم اعدادات الكاميرا (Camera Setting) ثلاث عناصر أساسية وهي: فتحة العدسة

(Aperture) وسرعة الغالق (Shutter Speed) وحساسية الضوء (ISO)، وهذه بدورها تؤثر على

مقدار الضوء الواصل الى مستشعر الكاميرا (الفيلم)، والذي يتحكم بكون الصورة الملتقطة مظلمة أو

ساطعة، ويتم ذلك بضبط عناصر اعدادات الكاميرا.

يتم ضبط إعدادات الكاميرا إما تلقائيًا أو يدويًا. في الوضع التلقائي (Auto Setting)، تقوم الكاميرا بمسح جزء من إطار الصورة باستمرار وتعديل قيم حساسية الضوء وسرعة الغالق وفتحة العدسة بناءً على قيم انعكاس البكسل التي تلاحظها. هذا الوضع لا يُنصح به لأغراض المساحة التصويرية بسبب التغيير المستمر في الإعدادات. أما في الوضع اليدوي (Manual Setting)، فيتم ضبط إعدادات الكاميرا من قبل المستخدم قبل بدء رحلة التصوير، ولا تتغير تلك الإعدادات طوال الرحلة.

كما هو موضح في الشكل (11) في الملحق (ب)، تتيح فتحة العدسة التحكم في كمية الضوء التي تدخل إلى الكاميرا، حيث يؤدي تقليل الفتحة (زيادة الرقم) إلى تقليل كمية الضوء، بينما يؤدي تكبير الفتحة (تقليل الرقم) إلى زيادة كمية الضوء. سرعة الغالق تتحكم في المدة التي يبقى فيها المستشعر معرضًا للضوء؛ كلما زادت سرعة الغالق، قلت مدة التعرض للضوء، والعكس صحيح. حساسية الضوء (ISO) تحدد مدى حساسية المستشعر للضوء؛ كلما زادت قيمة ISO، زادت حساسية المستشعر للضوء، مما يسمح بالتقاط صور أكثر سطوعًا في ظروف الإضاءة المنخفضة، ولكن قد يؤدي ذلك إلى زيادة التشويش في الصورة.

هذه الركائز الثلاث تتفاعل مع بعضها لضبط التعرض الكلي للصورة، وتعتبر أساسية لتحقيق التوازن المثالي بين الضوء والظل في الصورة الملتقطة.

كل مستخدم يُولف وينسق بين سرعة الغالق (Shutter Speed) وفتحة العدسة (Aperture) وحساسية الضوء (ISO) المناسب للحصول على الصورة المطلوبة والتعريض المناسب على حسب موضوع التصوير، وتم ضبط إعدادات الكاميرا كما يلي:

أولاً: فتحة العدسة (Aperture): ويقصد بها حجم الفتحة التي تسمح بمرور الضوء من خلالها لتصل إلى مستشعر الكاميرا، فكلما زاد حجم فتحة العدسة ازدادت كمية الضوء المسموح بها بالدخول إلى الكاميرا، وكلما قلت فتحة العدسة قلت كمية الضوء المسلطة على حساس الكاميرا (الفيلم).

وتقاس فتحة العدسة بالرمز (f)، وهو عبارة عن عدد كسري، ومن الدرجات الموجودة في العدسة هي: f/1.4, f/2, f/2.8, f/4, f/5.6, f/8, f/11, f/11, f/16, f/22, f/32. لذلك كلما زاد الرقم دل على فتحة عدسة ضيقة وضوء أقل، وكلما قل الرقم دل على فتحة عدسة أكبر وضوء أكثر، وذلك فإن الرقم f/1.4 هو أكبر من f/2، ويعطي كمية ضوء أكبر بمقدار الضعف تقريبا.

والتأثير الناتج عن فتحة العدسة (Aperture) هو "عمق المجال في الصورة"، ويشير عمق المجال الى ضبابية أو حدة المنطقة حول الهدف، فكلما صغرت فتحة العدسة يكون عمق المجال عميق، أي أن كل عناصر الصورة واضحة، أما إذا كبرت فتحة العدسة يكون عمق المجال ضيق، أي أن الهدف واضح والخلفية ضبابية.

ثانيا: سرعة الغالق Shutter Speed: ويعرف سرعة الغالق: بالمدة الزمنية التي يأخذها غالق الكاميرا ليظل مفتوحا حتى تصل كمية من الضوء الى حساس الصورة (فيلم الكاميرا)، ويتحكم سرعة الغالق في تغيير سطوع الصورة وانشاء التأثيرات الدراماتيكية اما عن طريق تجميد الحركة، او عدم وضوح الحركة في الصور الملتقطة.

تقاس سرعة الغالق بالدقيقة أو بالثانية أو جزء من الثانية، وعند استخدام سرعة غالق طويلة فان حساس الضوء (الفيلم) يجمع الكثير من الضوء وستكون الصورة الناتجة مشرقة جدا، ومن الأمثلة على بعض السرعات القياسية لسرعة الغالق: 1/100 ث، 1/500 ث، 1/250 ث، 1 ث.

تكاد تكون سرعة الغالق أداة حيوية لالتقاط صورة ذات سطوع مناسب، ففي حال وجود اضاءة عالية (كأن يكون الجو مشمساً) فإننا نحتاج الى استخدام سرعة غالق عالية حتى لا يتعرض حساس الصورة (الفيلم) للضوء بشكل كبير، ولكن في حالة وجود اضاءة منخفضة (كأن يكون الجو غائماً، أو معتماً) يستدعي ذلك لاستخدام سرعة غالق بطيئة لزيادة اضاءة الصورة.

ثالثاً: حساسية المجس للضوء (ISO): ويعرف الـ ISO: بمقدار حساسية مستشعر الكاميرا (المجس) للضوء، ويعتبر العنصر الثالث من عناصر التعريض للضوء، والذي يمكننا من زيادة أو تنقيص التعريض للضوء بعد ضبط العنصرين الأوليين وهما (فتحة العدسة، سرعة الغالق)، حتى نحصل على صورة جوية عالية الجودة وخالية من التشويش.

ويُقاس ISO بالأرقام، وله العديد من القيم منها (100, 200, 400, 800, 1600, 3200)، وتعتبر قيمة ISO (100) منخفضة، ومع تضاعف قيمة ISO تضاعف سطوع الصورة، والذي يحدد قيمة ISO اللازمة لإنتاج صورة جوية عالية الجودة وخالية من التشويش هو كمية الضوء الملتقط فيه الصورة؛ عندما تكون الإضاءة طبيعية وعالية (أي أن الجو مشمساً) يتم ضبط ISO على قيم منخفضة (100، 200)، وفي حال كانت الإضاءة وقت التصوير منخفضة (كان الجو غائماً أو معتماً) فيتم ضبط ISO على قيم مرتفعة (400، 800) حتى نتجنب الضبابية في الصورة الملتقطة جويًا.

قامت الباحثة بالتقاط العديد من الصور الجوية على ارتفاعات (50م، 100م)، وضبط قيم الـ ISO على (100، 400)، وكان الجو مشمساً. وعليه تم إطلاق طائرة الدرونز على عدة مرات مع تغيير قيم الـ ISO وارتفاع الطائرة.

يتألف الشكل 12 في الملحق (ب) من مجموعة مفصلة من الصور الجوية التي توضح تطبيق حساسية المجس للضوء، ويستخدم كل جزء من الشكل مزيجاً مختلفاً من الارتفاعات (المشار إليها بـ H) وإعدادات ISO لإظهار كيف تؤثر هذه المتغيرات على وضوح الصورة ودرجة سطوعها، مع التتويح أنه تم التقاط هذه الصور والجو مشمس.

التقطت الصورة الأولى من ارتفاع منخفض (H=50) مع إعداد ISO منخفض (ISO=100)، وهو مثالي لالتقاط ميزات الأرض التفصيلية دون سطوع زائد أو تشويش، وكانت درجة الوضوح عالية جداً، ويمكن تمييز الأهداف بسهولة.

توسع الصورة الثانية الرؤية لتشمل المزيد من المنطقة المحيطة على ارتفاع عالي نسبيا (H = 100)، واعدادات ISO منخفض (ISO=100)، وكانت درجة الوضوح عالية جدا ودرجة السطوع مثالية، ونستنتج أن مع زيادة الارتفاع يقل تأثير ISO على الصور الملتقطة.

في تسلسل الصور في الجزء السفلي، تُظهر الصورة اليمنى (3)، التي التقطت من ارتفاع (H=50) مع إعداد ISO مرتفع (ISO=400)، منظرًا أكثر سطوعًا، وفقدان التفاصيل بسبب التعرض المتزايد للضوء. بينما تُظهر الصورة اليسرى (4)، التي تحافظ على ارتفاع عالي (H=100) مع ISO (ISO=400)، كانت درجة وضوحها أفضل بقليل من الصورة رقم (3)، ويمكن تمييز بعض التفاصيل. وعليه نستنتج أنه كلما زاد الارتفاع يصبح تأثير ISO على الصورة الجوية أقل، لذلك يجب ضبط عناصر اعدادات الكاميرا مجتمعة، فعند التصوير الجوي على ارتفاعات منخفضة يكون تأثير أشعة الشمس على المجس أكبر، وعليه يتعين بتضييق فتحة العدسة وزيادة سرعة الغالق حتى نقلل كمية الضوء الواصلة الى المجس، والحصول على صورة واضحة يمكن لاعتماد عليها في الأعمال المساحية.

يوضح جدول رقم (3) كما في الملحق (أ)، اعدادات التصوير الجوي بالاعتماد على عنصرين أساسيين؛ العنصر الأول متمثل في اعدادات الكاميرا (فتحة العدسة، سرعة الغالق، وحساسية الضوء)، والعنصر الثاني متمثل في سرعة الطائرة. حيث تمت دراسة مدى تأثير هذه الاعدادات على الصور الجوية الملتقطة على ارتفاعات مختلفة (50م، 100م). على الرغم من صعوبة التمييز بين دقة الصور الجوية لكون الصور الملتقطة والجو غائما جزئيا.

تمت دراسة تأثير اعدادات الكاميرا (فتحة العدسة، سرعة الغالق، حساسية الضوء) على الصور الجوية الملتقطة على أربعة مراحل: أولها بضبط اعدادات الكاميرا على النحو التالي (فتحة العدسة ضيقة جادا 6.3، وسرعة غالق قصيرة جدا 320/11، مع ضبط حساسية الضوء على قيمة 100)، كانت دقة الصورة

الجوية الملتقطه على ارتفاع 50 م عالية جدا ويسهل التعرف على المعالم الموجودة فيها، أما الصورة الجوية الملتقطه على ارتفاع 100م كانت أكثر سطوعا؛ يعود ذلك الى حالة الجو المذكورة سابقا.

في المرحلة الثانية تم ضبط اعدادات الكاميرا على النحو التالي(فتحة العدسة ضيقة 5.6، وسرعة غالق قصيرة 400/1، مع ضبط حساسية الضوء على قيمة 100)، وكانت نتيجة الصورة الملتقطه قريبة من الصورة الجوية الملتقطه في المرحلة الأولى على ارتفاع 50م؛ يرجع ذلك الى تقارب اعدادات الكاميرا من المرحلة الأولى. أما الصورة الجوية الملتقطه على ارتفاع 100م كانت أقل سطوعا لنفس السبب المذكور انفا.

في المرحلة الثالثة تم ضبط اعدادات الكاميرا على النحو التالي(فتحة عدسة كبيرة 2.8، وسرعة غالق طويلة 1000/1، مع ضبط حساسية الضوء على قيمة 100)، كانت الصورة الجوية الملتقطه على ارتفاع 50م ساطعة جدا، ويصعب التمييز بين معالمها؛ ويعود ذلك الى كمية الضوء الكبيرة الواصلة الى عدسة الكاميرا والفترة الزمنية الطويلة التي تسمح بدخول هذا الضوء. أما الصورة الجوية التي تم التقاطها على ارتفاع 100م فكانت درجة سطوعها أقل ويمكن تمييز بعض معالمها؛ حيث أن الصورة الجوية تتأثر باعدادات الكاميرا المختلفة على ارتفاعات منخفضة وتصبح عدسة الكاميرا أكثر حساسية للضوء المنعكس عليها.

في المرحلة الرابعة تم ضبط اعدادات الكاميرا على النسق التالي(فتحة عدسة كبيرة 2.8، سرعة غالق طويلة جدا 1600/1، مع ضبط حساسية الضوء على قيمة 100)، كانت الصورة الجوية الملتقطه على ارتفاع 50 م معتمة بالرغم من سرعة الغالق الطويلة، الا أن فتحة العدسة ضيقة والجو غائما. أما الصورة الجوية التي تم التقاطها على ارتفاع 100م كانت دقتها جيدة ويمكن التمييز بين معالمها بسهولة؛ وهذا يؤكد لنا مدى تأثير حالة الجو على دقة الصور الجوية الملتقطه، وأيضا تأثير اعدادات الكاميرا يزداد كل ما قل ارتفاع الطائرة.

في الشق الثاني من اعدادات التصوير الجوي، وهو سرعة الطائرة والتي تمت دراستها على سرعات مختلفة (5م/ث، 7م/ث، 10م/ث)، وابعادات كاميرا مختلفة، وكذلك على ارتفاعات مختلفة (50م، 100م)، كانت نتيجة الصور الجوية الملتقطة على ارتفاع 50م، في المراحل الأربعة من اعدادات الكاميرا، متقاربة الى حد ما في النماذج الثلاث من السرعات المختلفة (5م/ث، 7م/ث، 10م/ث). ولكن يزداد تأثير سرعة الطائرة على اعدادات الكاميرا المختلفة على الصور الجوية الملتقطة على ارتفاع 100م، فعنما كانت سرعة الطائرة 10م/ث كانت الصور الجوية في المراحل الأربعة من اعدادات الكاميرا تحمل النتيجة ذاتها، ونستج أن مع زيادة سرعة الطائرة يقل تأثير اعدادات الكاميرا على الصور الجوية الملتقطة من ارتفاعات عالية.

في الخلاصة، يُظهر الجدول (3) التفاعل الحاسم بين إعدادات الكاميرا ومعايير الطيران للطائرة بدون طيار. تشير البيانات إلى الحاجة إلى معايرة دقيقة لفتحة العدسة وسرعة الغالق وحساسية الـ ISO لانقاط صور عالية الجودة، خاصةً عند أخذ اختلافات السرعة والارتفاع في الاعتبار. تبرز النتائج أن التعديل الدقيق لهذه الإعدادات يمكن أن يعزز بشكل كبير من دقة ووضوح الصور الجوية، مما يجعلها أكثر موثوقية للاعتماد عليها في مهام المسح ورسم الخرائط.

3.5 معايرة البوصلة في الطائرة رباعية المراوح (Phantom 4 pro) Calibrating the (Compass)

تعد معايرة البوصلة أمرا مهما لضمان رحلة آمنة ومضبوطة، من حيث طيرانها بالاتجاه الصحيح وتحديد موقعها بدقة عالية، وإذا لم يتم معايرة البوصلة في طائرة رباعية المراوح سيكون لدى DJI تصور خاطئ لكل من موقع المنزل، والموقع الحالي للطائرة.

يوصى بمعايرة البوصلة في حالة كون طائرة رباعية المراوح حديثة الاستخدام، أو مضى على آخر استخدام لها أكثر من 30 يوما، وفي حالة ظهور تحذير تداخل البوصلة DJI Fly، أو يومض مؤشر حالة الطائرة باللون الأحمر والأصفر المتبادل.

لإجراء معايرة للبوصلة في طائرة رباعية المراوح، يجب اتباع الخطوات التالية بعناية لضمان الدقة في التوجيه أثناء الطيران. أولاً، ينبغي اختيار منطقة مفتوحة في الخارج وبعيدة عن المباني العالية والأماكن التي قد تحدث فيها تداخلات مغناطيسية. ثانياً، من المهم إزالة المراوح الأربعة قبل بدء عملية المعايرة لتجنب أي خطر أو تدخل قد يؤثر على العملية. ثالثاً، يتم الضغط على خيار الإعدادات (System Setting) في واجهة تطبيق DJI Fly، ثم اختيار خيار التحكم (Control) ومن ثم معايرة (Calibrate). يجب اتباع التعليمات المعروضة على الشاشة بدقة، حيث سيومض مؤشر حالة الطائرة باللون الأصفر مما يشير إلى بدء عملية المعايرة. رابعاً، يجب حمل الطائرة أفقياً وتدويرها بزوايا 360 درجة حتى يتحول مؤشر الطائرة إلى اللون الأخضر الثابت، مما يدل على تحقيق مرحلة من المعايرة. خامساً وأخيراً، يجب حمل الطائرة عمودياً وتدويرها بنفس الزاوية حول المحور العمودي، وفي حالة نجاح معايرة البوصلة، ستتحوّل أضواء مؤشر الحالة إلى اللون الأخضر. تُعدّ هذه الخطوات ضرورية لضمان استجابة الطائرة بشكل صحيح لأوامر التوجيه خلال الطيران.

لتعزيز فهم عملية معايرة البوصلة، يمكننا دمج المفاهيم الرياضية الأساسية المتعلقة بالانحراف المغناطيسي وتعويض أخطاء البوصلة. يمكن التعبير عن معادلة معايرة البوصلة كما يلي:

$$\theta_{\text{corrected}} = \theta_{\text{measured}} + \Delta\theta$$

حيث $\theta_{\text{corrected}}$ هو اتجاه البوصلة المعيار، و θ_{measured} هو قراءة البوصلة الأولية، و $\Delta\theta$ يمثل عامل التصحيح الذي يأخذ في الاعتبار الانحراف المغناطيسي المحلي وأي أخطاء منهجية أخرى يتم اكتشافها خلال عملية المعايرة. يضمن هذا التصحيح أن البوصلة الداخلية للطائرة تتماشى مع الشمال الجغرافي الحقيقي، بدلاً من الشمال المغناطيسي، الذي يختلف بناءً على الموقع الجغرافي ووجود المجالات المغناطيسية.

تتضمن المعايرة أيضاً تعديل حساسية مستشعر البوصلة، الممثلة بعامل الكسب G، الذي يمكن تعديله لتحسين دقة قراءات الاتجاه. تعديل الكسب مهم بشكل خاص عند التعامل مع التداخلات الكهرومغناطيسية، التي يمكن أن تؤثر على قراءات البوصلة:

$$H_{\text{adjusted}} = G \times H_{\text{raw}}$$

في هذه المعادلة، H_{adjusted} يمثل الاتجاه المغناطيسي المعدل، و H_{raw} هو إخراج المستشعر الأولي. تتضمن المعايرة الصحيحة ضبط G بحيث يتطابق H_{adjusted} مع البيئة المغناطيسية المتوقعة، مما يضمن التشغيل الموثوق في ظروف متنوعة. هذه الصياغة الرياضية ضرورية للحفاظ على موثوقية ودقة نظام الملاحة في الطائرة بدون طيار في بيئات مختلفة.

3.6 العودة إلى النقطة الرئيسية (RTH)

وظيفة العودة إلى النقطة الرئيسية (Return to Home - RTH) تهدف إلى إعادة الطائرة إلى آخر نقطة رئيسية تم تسجيلها عندما كانت إشارة GPS قوية. هناك ثلاثة أنواع من RTH: العودة إلى النقطة الرئيسية الذكية (Smart RTH)، العودة إلى النقطة الرئيسية عند انخفاض البطارية (Low Battery RTH)، والعودة إلى النقطة الرئيسية الآمنة من التعطيل (Failsafe RTH). تعتمد هذه الوظيفة على مساعدة أقمار GPS، مما يمكن الطائرة من العودة تلقائياً إلى نقطة انطلاقها أو إلى حيث يقف مرسلها.

كما رصدت الباحثة فرق المسافة بين نقطة الانطلاق ونقطة الهبوط لطائرة الدرونز على ارتفاعين مختلفين. عند تحليق الطائرة وهبوطها على ارتفاع 55 متراً، كان فرق المسافة يتراوح بين 10 سم و 28 سم بمتوسط 17 سم. بينما كان فرق المسافة عند تحليق الطائرة على ارتفاع 100 متر يتراوح بين 16 سم و 25 سم بمتوسط 20 سم.

للحفاظ على سلامة الطائرة وهيكلها الخارجي والأجزاء الحساسة فيها مثل عدسة الكاميرا والحساسات، يُفضل اختيار سطح مستوٍ وآمن وثابت عند الإقلاع والهبوط، واستخدام مساحة مفتوحة خالية من العوائق مثل الأشجار وخطوط الكهرباء والمباني. لزيادة درجة الأمان للطائرة، يمكن استخدام منصة الإقلاع للطائرة "Drone Landing Pad" بمقياس 50 سم.

الفصل الرابع

فتح مشروع تصوير جوي وتحليل النتائج

تتاول هذا الفصل من الدراسة نوعين من المشاريع الهندسية التي تم مسحها باستخدام طائرة الدرونز، المشروع الأول يتمثل في مسح منطقة محدودة المساحة نسبياً، أما المشروع الثاني يتمثل في مسح طريق، وكل مشروع منهما يبدأ بمرحلة جمع البيانات؛ ويتم ذلك باستخدام جهاز GPS لرفع نقاط الضبط الأرضي والطائرة رباعية المراوح بأفضل المعايير والطرق التي تم استنتاجها في الفصل الثالث، ومن ثم مرحلة معالجة البيانات باستخدام برنامج Agisoft Metashape، انتهاءً بمرحلة تحليل النتائج وإخراج نماذج 3D، DEM، Orthomosaic.

4.1 المشروع الأول: مسح منطقة محدودة المساحة نسبياً

تنقسم مرحلة فتح مشروع تصوير جوي الى ثلاثة مراحل:

4.1.1 مرحلة جمع البيانات Data Collection

تبدأ مرحلة جمع البيانات بدراسة المنطقة المراد مسحها والتعرف عليها، ومن ثم توزيع نقاط الضبط الأرضي بالمعايير الصحيحة لتشمل كافة المنطقة ورفعها باستخدام جهاز GPS، ومن ثم اعداد خطة طيران تتناسب مع المنطقة المراد دراستها.

4.1.1.1 جمع المعلومات عن المنطقة المراد مسحها جويًا و التقاط الصور الجوية لها

قبل البدء بعملية التصوير الجوي لا بد من دراسة المنطقة المراد مسحها جويًا من حيث حدودها ومساحتها وفرق الارتفاع فيها وتوزيع نقاط الضبط الأرضي فيها، وذلك من خلال الصور الجوية القديمة أو فضائية سابقة أو زيارة حقلية للمنطقة وذلك للتعرف على التضرس والتجمعات السكانية والغطاء النباتي.

منطقة الدراسة كانت عبارة عن قطعة أرض في قرية سيريس قضاء جنين، تبلغ أبعادها المترية 50*140م، أي ما يعادل 6 دونمات مساحية تقريبا، وهي منطقة جبلية يوجد بها العديد من الأبنية والأشجار والطرق المعبدة، اختيرت هذه المنطقة لوجود اختلاف ملحوظ في الارتفاعات وتحقق الأهداف المطلوبة من اجراء هذه الدراسة، كما تظهر في الشكل رقم 13 (ملحق ب).

4.1.1.2 توزيع نقاط الضبط الأرضي على منطقة الدراسة وأخذ قياساتها باستخدام جهاز GPS

تعرف نقاط الضبط الأرضي بكونها نقاط ربط (Control Point) وتحقيق (Cheek Points)، يتم انشاءها حقليا بواسطة أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وقياسات أرضية دقيقة للإحداثيات الأفقية والمناسيب الرأسية معا (Z,Y,X)، وتوضع نقاط الضبط الأرضي قبل عملية التصوير في أماكن معيارية، وأن تكون موزعة توزيعا مناسب هندسيا وفي أماكن واضحة وثابتة ومن السهل الوصول إليها والتعرف عليها عندما تظهر في الصورة الجوية، ويفضل أن تكون في مواقع النقاط في أماكن تكرر عليها نواحي أخذ التصوير الجوي حيث يمكن استخدامها أكثر من مرة في حالة ثبات عملية التصوير.

تم توزيع 9 نقاط ضبط أرضية (GCPs) في منطقة الدراسة، وفي الأماكن المعيارية لها أي على جوانب منطقة الدراسة وفي الوسط، وتم قياسها باستخدام GPS على طريقة RTK، وكان توزيع نقاط GCPs كما يظهر في الجدول رقم (4) في الملحق (أ).

4.1.1.3 تخطيط رحلة تصوير جوي

يتوقف نجاح عمل مشروع مساحة جوية ونتاج صور جيدة منها على التصميم الجيد لخطة الطيران واختيار المقاييس المناسبة لعناصر هذه الخطة اللازمة لتحقيق أعلى دقة ممكنة من الصور الجوية الملتقطة، ومن عناصر خطة الطيران التي تم ضبطها لمشروع مسح منطقة محدودة المساحة:

1. اختيار نوع خطة الطيران (Mission Grid) فهو مناسب لمشروع مسح منطقة صغيرة المساحة

ولا تحتوي على تضرس عالي (فرق الارتفاع 47 متر).

2. تحديد عدد خطوط الطيران، وكان عددها 5 خطوط لتغطي الصور الجوي منطقة الدراسة
3. اختيار ارتفاع الطيران والذي بلغ 70.5 متر
4. تحديد نسبة التداخل الأمامي وكانت 90% ونسبة التداخل الجانبي بلغت 80%
5. تحديد سرعة الطائرة وكانت 5م في الثانية
6. تحديد زاوية التقاط الصور الجوية، والتي تم ضبطها على 90 درجة.

4.1.2 فتح مشروع تصوير جوي (مرحلة معالجة البيانات)

ننتقل في هذه المرحلة الى العمل المكتبي، وهذه المرحلة لا تقل أهمية عن العمل الميداني ومرحلة جمع الصور الجوية، وتعد هذه المرحلة هي لب نتاج العمل المساحي، وبداية مخرجاته الى أرض الواقع، حيث تتم فيها عملية معالجة الصور الجوية وعمل خرائط لنقاط الارتفاعات والخرائط العمودية وتم ذلك باستخدام برنامج Agisoft Metashape Professional.

تمر عملية معالجة البيانات وانتاج نماذج الارتفاعات باستخدام برنامج Agisoft بعدة مراحل للوصول الى نماذج عالية الدقة ويمكن الاعتماد عليها بالعمل المساحي، وهي كالتالي:

4.1.2.1 اعداد البرنامج

لإعداد البرنامج، يُستخدم برنامج Agisoft Metashape Professional لمعالجة البيانات. يمكن فتح البرنامج من خلال الذهاب إلى قائمة ابدأ في نظام التشغيل واختيار البرنامج من القائمة المنبثقة. هذه الخطوة تُعتبر أولى خطوات العمل الفعلي بالبيانات بعد جمعها وتثبيتها، حيث يتم استيراد البيانات إلى البرنامج لتحليلها ومعالجتها بشكل مفصل.

في الفصل الثاني، كما ذكرنا، قد تم التتويه إلى استخدام برنامج Agisoft Metashape Professional، بالإضافة إلى الأدوات الأساسية المستخدمة في المراحل المبكرة من معالجة البيانات.

وتشمل هذه الأدوات تحديد خيارات الإعداد الأولية للبرنامج والتهيئة الأساسية للبيانات، والتي تُعد خطوات ضرورية قبل الانتقال إلى المعالجة المتقدمة في هذا الفصل.

4.1.2.2 اضافة الصور Add Photos

يتم اضافة الصور الجوية الملتقطة باستخدام طائرة الدرونز من نوع phantom 4pro لمنطقة الدراسة من الأمر Workflow ومن ثم Add Photos وتحديد الصور الموجودة في الملف المراد معالجتها والملقطة بذات الكاميرا ورحلة الطيران، وكانت عدد الصور الجوية الملتقطة لمنطقة الدراسة 200 صورة جوية، على ارتفاع طيران 60 م، كما يظهر في شكل (14) ملحق(ب).

4.1.2.3 تحويل الاحداثيات الى احداثيات فلسطينية Convert

تتناول عملية تحويل الإحداثيات إلى النظام الإحداثي الفلسطيني. هذه العملية تعتبر خطوة حاسمة في إطار العمل التقني، حيث تُستخدم تقنيات متقدمة لضمان دقة التحويلات وصحة البيانات الجغرافية المستخدمة. يشمل هذا التحويل استخدام برمجيات متخصصة قادرة على التعامل مع مختلف أنظمة الإحداثيات وتعديلها وفقاً للمعايير الفلسطينية. يُعد فهم هذه العملية أساسياً لتحقيق الدقة المطلوبة في المشروعات التي تتطلب ربط البيانات الجغرافية بالسياق الفلسطيني، كما يظهر في شكل 15 في ملحق (ب).

4.1.2.4 ربط الصور Align Photos لتكوين نقاط ربط Tie Points

بمجرد تحميل الصور الجوية إلى برنامج Agisoft Metashape يجب أن يتبعها أمر Align Photos، في هذه المرحلة البرنامج يجد موضع الكاميرا والاتجاه لكل صورة ويبني نموذجاً على شكل سحابة نقطية متفرقة.

يتم ربط الصور الجوية من الأمر workflow واختيار الامر Align photos، ومن ثم اختيار اعدادات الدقة العالية لمعالجة الصور الجوية؛ والتي تساعد في الحصول على تقديرات أكثر دقة لموضع

الكاميرا، واثاء اعداد الدقة العالية يعمل البرنامج مع الصور بحجمها الأصلي، وهذه الخطوة تستغرق وقتا طويلا يمكن أن تستمر لعدة ساعات؛ وذلك يعتمد على قوة جهاز الكمبيوتر المستخدم وعدد الصور الجوية المراد معالجتها وغيرها من العوامل، لينتج من خلال هذا الأمر سحابة نقطية من نقاط متشابهة، كما يظهر في الشكل (16) ملحق(ب).

يستخدم برنامج Agisoft Metashape المعالم المتداخلة في الصور الجوية لحساب مواضع الكاميرا واتجاهها، ويكتشف المعالم المشتركة في كل صورة ويطابقها لانشاء نموذج ثلاثي الأبعاد لمنطقة الدراسة.

4.1.2.5 قياس نقاط الربط الارضي Ground Control Points

يتم استيراد المواقع الجغرافية للصور (Camera Positions) من قائمة (Reference Plane) واختيار الأمر (Import Reference) ومن ثم اختيار ملف نقاط الضبط الأرضية (GCPs). مع التنويه الى ضرورة ضبط نقاط التحكم الأرضية أو نقاط الفحص بذات نظام الاحداثيات للصور المدخلة المراد معالجتها.

يمكن استخدام العلامات (Markers) اما كنقاط ضبط أرضية (GCPs) أو نقاط فحص (Checkpoints). تحتوي كل علامة (Marker) على خانة اختيار، اذا تم تحديد خانة الاختيار فسيتم استخدام العلامة كنقطة تحكم أرضية (GCP) والا فسيتم استخدامها كنقطة فحص (Checkpoint). كما يظهر في الشكل (17) ملحق(ب).

4.1.2.6 تحسين معايرة الكاميرا Optimization of Camera Alignment

أثناء عملية معايرة الصور الأولية (Align Photo) يقوم البرنامج بتقدير معاملات التوجيه الداخلية والخارجية، لكن باستخدام أمر Optimizing يعمل على تحسين الكاميرا باستخدام المواقع الجغرافية للكاميرا؛ وذلك لتقليل الخطأ الناتج عن اختلاف الاحداثيات وأخطاء اعادة الاسقاط. فبعد الانتهاء من

ربط كافة نقاط الربط الأرضي، يتم اغلاق كافة الصور الجوية و اختيار أمر optimize camera من قائمة Tools. كما يظهر في الشكل (18) ملحق (ب).

4.1.2.7 انشاء سحابة نقطية كثيفة Build Dense Cloud

تعد الخطوة التالية بعد محاذاه الصور (Align Photo) هي انشاء سحابة نقطية كثيفة، ويتم ذلك من تحديد خيار Build Dense Cloud من أيقونة Workflow. يعتمد البرنامج على الربط بين المعالم الشائعة المكتشفة في الصور لإنشاء سحابة نقطية ثلاثية الأبعاد لمنطقة الدراسة، ويستخدم البرنامج مواضع الكاميرا واتجاهها المحسوبة في الخطوة السابقة (Align Photo) لإنشاء سحابة نقطية كثيفة من الصور. كما يظهر في الشكل (19) في الملحق (ب).

4.1.2.8 انشاء نموذج شبكي Build Mesh

بعد إنشاء سحابة النقاط الكثيفة، يتم الانتقال إلى مرحلة تطوير النموذج الشبكي. في هذه المرحلة، يستفيد البرنامج من البيانات المفصلة المستخرجة من السحابة لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد. يتم ذلك من خلال استخدام أمر "Build Mesh" الموجود ضمن خيارات Workflow، حيث يقوم البرنامج بتحليل النقاط وربطها لتكوين سطح متصل يمثل منطقة الدراسة بدقة عالية. هذه العملية تعزز من القدرة على تقديم تصورات مرئية وتفاعلية للمنطقة المدروسة، مما يسهل عملية التحليل والتقييم في المراحل اللاحقة من المشروع. كما يظهر في الشكل (20) ملحق (ب).

4.1.2.9 عمل نموذج ثلاثي الابعاد بالوان طبيعية Build Texture

يأتي دور إضافة النسيج والألوان الطبيعية لتعزيز واقعية النموذج بعد تطوير النموذج الشبكي. هذه الخطوة تعتبر حيوية لتحقيق التمثيل الأمثل للمنطقة المدروسة، حيث يستخدم البرنامج الصور الجوية لتحليل واستخلاص الألوان الطبيعية. من خلال اختيار الأمر "Build Texture" من قائمة Workflow، يقوم البرنامج بتطبيق هذه الألوان على الشبكة الثلاثية الأبعاد المنشأة مسبقاً، مما ينتج

عنه نموذج ثلاثي الأبعاد غني بالتفاصيل اللونية والتي تعزز من الدقة البصرية للنموذج النهائي. كما في الشكل (21) الملحق (ب).

4.1.2.10 إنشاء DSM وDTM باستخدام أداة Build DEM

بعد إتمام إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد المفصل وتطبيق النسيج الطبيعي، تتقدم العملية نحو إنشاء نموذج السطح الرقمي (DSM) ونموذج التضاريس الرقمي (DTM). هذا التحول من تفصيل النموذج الظاهري إلى تحليل الجيومورفولوجيا يتم من خلال خيار Build DEM ضمن قائمة Workflow. يعتمد إنشاء DSM وDTM على البيانات الأساسية للنموذج الثلاثي الأبعاد، حيث يعكس DSM جميع المعالم البارزة فوق سطح الأرض، بينما يركز DTM على السطح الطبيعي بإزالة المعالم الصناعية، مما يسمح بتحليل أدق للتضاريس.

وبناء على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، تم استخدام معلومات الارتفاع لحساب انحدار التضاريس وتحديد النقاط المرتفعة والمنخفضة لمنطقة الدراسة، وكانت الارتفاعات تتراوح بين m427-m373، كما يظهر في الشكل (22) ملحق (ب).

4.1.2.11 اخراج نموذج الارتفاعات والصورة العمودية Export

الخطوة النهائية في عملية معالجة البيانات هي تصدير النموذج والصورة العمودية لمنطقة الدراسة، وذلك باستخدام خيار "Export" الذي يمكن الوصول إليه من خلال القائمة المنسدلة في برنامج Agisoft Metashape Professional. هذه العملية تتيح للمستخدمين حفظ النماذج الثلاثية الأبعاد والخرائط الرقمية بصيغ متعددة مثل Wavefront OBJ، والتي تدعم تفاصيل مثل ألوان الرؤوس والمعايير الطبوغرافية وتفاصيل النسيج. يمكن استخدام النموذج المصدر لأغراض مختلفة، مثل التحليل البيئي والتخطيط العمراني أو حتى التصورات الجغرافية. تتم هذه العملية عبر إعدادات دقيقة تضمن الحفاظ على الدقة والتفاصيل اللازمة للاستخدامات النهائية المقصودة. كما في الشكل (23) ملحق (ب).

4.1.3 مرحلة تحليل النتائج

4.1.3.1 معايرة الكاميرا المستخدمة في التصوير الجوي

تم استخدام أسلوب المعالجة أثناء الطيران والتي تحقق نتائج أفضل من غيرها عند استخدام طائرات الدرونز، وفيما يلي نتائج معايرة الكاميرات بالاعتماد على نقاط ضبط الارضي والتي عددها 3،5،8 نقاط ضبط أرضي GCPs.

تشوه العدسات: فيما يلي نتائج تشوه العدسات الناتجة عن برنامج Agisoft Photoscan كما هو موضح في الشكل رقم (24) في الملحق (ب).

بمقارنة أشكال تشوه العدسات ونتائج K1,K2,K3 ولا يوجد هناك اختلافات كبيره في تشوه العدسات بقيم عدد النقاط GCPs.

جدول 5 يعرض تحليل النتائج المتعلقة بتشوه العدسات، والذي تم الحصول عليه من خلال استخدام برنامج Agisoft Photoscan. يظهر الجدول قيم التشوه لثلاث مجموعات من نقاط ضبط الأرض (GCPs) وهي 3،5، و 8 نقاط ضبط. هذه القيم تمثل معايرة الكاميرا المستخدمة في التصوير الجوي، والتي تُظهر أن الطريقة المعتمدة في المعالجة أثناء الطيران تحقق نتائج متقاربة بغض النظر عن عدد نقاط الضبط المستخدمة.

تُظهر البيانات المعروضة في الجدول أنه لا توجد اختلافات كبيرة في تشوه العدسات بين المجموعات المختلفة من نقاط الضبط الأرضية. هذا يعزز الثقة في النتائج التي يوفرها البرنامج ويدعم استخدام طائرات الدرون في عمليات التصوير الجوي، حيث يظهر أن تحسينات طفيفة في الدقة يمكن تحقيقها مع زيادة عدد نقاط الضبط الأرضية دون تأثير كبير على مستوى تشوه العدسات.

جدول (5)

تشوه العدسات ونتائج $K3, K2, K1$

عدد نقاط الضبط الأرضي	K1	K2	K3	P1	P2
3 نقاط ضبط أرضي	0.00163059	-0.019786	0.0234172	-0.00255558	-0.00170949
5 نقاط ضبط أرضي	0.00170148	-0.0198469	0.0234977	-0.00255836	-0.00170853
8 نقاط ضبط أرضي	0.00183367	-0.0198592	0.02342	-0.00255222	-0.00170861

جدول (6) يعرض قيم البعد البؤري (F) وإحداثيات (Cy، Cx) لثلاث مجموعات من نقاط ضبط الأرض (GCPs) وهي 3، 5، و 8 نقاط ضبط، حيث تم استخدام هذه القيم في عملية معالجة الصور الجوية. تشير النتائج المقدمة في هذا الجدول إلى العلاقة بين عدد نقاط الضبط ودقة الإحداثيات المحققة في النموذج النهائي.

تظهر القيم في الجدول أنه مع زيادة عدد نقاط ضبط الأرض، تظهر تغييرات طفيفة في قيم البعد البؤري وإحداثيات (Cy، Cx)، مما يدل على أن الدقة يمكن أن تتأثر بشكل إيجابي بزيادة عدد النقاط. هذه البيانات مهمة لفهم كيف يمكن تحسين دقة النماذج الثلاثية الأبعاد المستخلصة من الصور الجوية عبر استخدام نقاط ضبط أرضية أكثر.

جدول (6)

البعد البؤري (F) ونقطة الأساس (P)

Cy	Cx	البعد البؤري (F)	عدد نقاط الضبط الأرضي
10.7043	12.2894	3656.46	3 نقاط ضبط أرضي
10.7153	12.2522	3656.49	5 نقاط ضبط أرضي
10.7205	11.9749	3650.15	8 نقاط ضبط أرضي

4.1.3.2 تحليل دقة التصوير الجوي لقطعة أرض محدودة المساحة نسبياً

من أجل تحليل دقة نموذج التصوير في هذا المشروع تم تثبيت 9 نقاط ضبط أرضي (GCPs) وهي موزعة على النموذج كما و مبين في الشكل رقم (25) في الملحق (ب).

في الشكل رقم (25) في الملحق (ب)، يتم تقديم توزيع نقاط الضبط الأرضية (GCPs) المستخدمة في تحليل دقة النموذج الرقمي لقطعة أرض محدودة المساحة. استخدمت تسع نقاط ضبط أرضي في هذه الدراسة، وهي موزعة على مختلف أجزاء النموذج لتوفير تغطية شاملة ومتوازنة، مما يسمح بتقييم دقيق لدقة النموذج الجغرافي المكاني المُنتج.

تُظهر الألوان المختلفة في الشكل مقدار الخطأ في تقديرات مواقع نقاط الضبط، حيث يُشير اللون الأحمر إلى أعلى درجات الخطأ (1.6 متر)، بينما يُشير اللون الأخضر إلى أقل درجات الخطأ (0 متر). تُقدم الأخطاء المقدره معلومات حيوية حول الأماكن التي يُمكن تحسين دقة النموذج فيها وتعديل الإجراءات التقنية المستخدمة في عمليات المسح والتصوير الجوي.

تُعتبر هذه الخطوة أساسية في تحليل الدقة لأنها تُبين تأثير عدد وتوزيع نقاط الضبط على النتائج النهائية للمشروع. الهدف من توزيع نقاط الضبط بشكل متوازن عبر النموذج هو ضمان أن كل جزء من

المساحة المدروسة يخضع للتقييم بدقة، مما يُسهل التعرف على أي تشوهات أو أخطاء قد تظهر خلال عملية المعالجة الجغرافية المكانية.

وقد تم بناء النموذج بالاعتماد على عدة نقاط ضبط أرضي موزعة في النموذج حيث تم:

أولاً: ضبط النموذج بالاعتماد على 3 نقاط ضبط أرضي وهي "200، 201، 205"

فان مجموع الدقة ثلاثية الأبعاد (X,Y,Z) كانت معدلها 0.18سم علماً بأن أعلى قيمة مجموع الخطأ وجدت في النقطة رقم 200 وكانت تساوي 0.12سم وأقل قيمة وجدت في النقطة 205 وتساوي 0.07سم كما هو مبين في الجدول:

جدول (7)

ضبط النموذج بالاعتماد على 3 نقاط ضبط أرضي

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
200	-0.18028	-0.116326	0.00958458	0.21766	0.707 (13)
201	0.201286	0.0535374	0.0049338	0.208343	0.266 (13)
205	-0.0210064	0.0627885	-0.0145179	0.0677823	0.798(13)
Total	0.15648	0.0823414	0.0104399	0.17713	0.634

بينما عند تحليل الدقة لنقاط التحقق (Check Points) والتي عددها ست نقاط موزعة في جميع أنحاء النموذج، كانت مجموع الدقة ثلاثية الأبعاد تساوي 4.33 سم. وأعلى قيمة وجدت في النقطة 206 وتساوي 6.5 سم، وأقل قيمة كانت في النقطة التي تساوي 2.8 سم، كما هو مبين في الجدول رقم 7.

جدول (8)

تحليل دقة النموذج بالاعتماد على 6 نقاط تحقق (check points)

Labe	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
202	-1.08812	0.741911	-3.84646	4.06567	0.774 (18)
203	-2.50011	-1.81744	0.208421	3.09791	0.636 (14)
204	-1.98318	-0.92035	2.20496	3.10514	0.677 (24)
206	-3.97022	0.719379	5.12958	6.52631	0.549 (13)
207	-4.03393	1.68871	2.57587	5.07537	.0.465 (13)
208	-2.16737	-0.227512	-1.84971	2.85844	0.715 (13)
Total	2.83138	1.16344	3.05695	4.32611	0.655

مع ضرورة ملاحظة أن الدقة العالية في النموذج الذي اعتمد على 3 نقاط ضبط أرضي يرجع الى عدم وجود أرساد زائدة وتعتبر موثوقية النتائج المحققة من هذا النموذج قليلة ولا يمكن الاعتماد عليها في الأعمال الهندسية التي تطلب دقة.

ثانياً: ضبط النموذج بالاعتماد على 5 نقاط ضبط أرضي (GCPs)

بلغ معدل مجموع الدقة ثلاثية الأبعاد (X,Y,Z) يساوي 1.05 علماً بأن أعلى قيمة مجموع الخطأ وجدت في النقطة رقم 205 وكانت تساوي 1.4سم، وأقل قيمة وجدت في النقطة 201 وتساوي 0.36 سم، كما هو مبين في جدول رقم (8).

جدول (9)

ضبط النموذج بالاعتماد على 5 نقاط ضبط أرضي

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
200	-0.0061886	-0.366522	-0.127537	0.388127	0.716 (13)
201	0.198746	0.221508	0.20924	0.363796	0.313 (13)
203	-0.559123	-1.11954	-0.0825825	1.25412	0.662 (14)
205	1.33643	0.459148	0.235316	1.43256	0.810 (13)
207	-0.96986	0.805411	-0.234436	1.28229	0.505 (13)
Total	0.784706	0.677684	0.188256	1.05378	0.626

بينما عند تحليل الدقة لنقاط التحقق (Check Points)، والتي عددها 4 نقاط، كان معدل مجموع نقاط

الدقة لنقاط التحقق يساوي 4.45سم، ووجدت أعلى قيمة للخطأ في النقطة 202 وكانت تساوي 5.14

سم، وأقل قيمة كانت في النقطة 204 وكانت تساوي 3.8 سم، كما هو مبين في جدول رقم (9):

جدول (10)

تحليل دقة النموذج بالاعتماد على 4 نقاط تحقق

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
202	0.0570996	0.36766	-5.12199	5.13549	0.772 (18)
204	-1.10283	-0.192388	3.66806	3.83509	0.678 (24)
206	-1.63164	1.03843	4.1437	4.57284	0.548 (13)
208	-0.140662	-0.714491	-4.08351	4.14793	0.718 (13)
Total	0.987616	0.663517	4.28762	4.44965	0.690

وبتحليل الدقة في هذا النموذج نلاحظ أن الخطأ في نقاط التحقق 4.25سم، يساوي تقريبا أربعة أضعاف الخطأ في نقاط الضبط الأرضي 1.05سم، وهذا يدل على أن عدد النقاط غير كافي للحصول على دقة سنتمترات (2-3 سم) المطلوبة للأعمال الدقيقة للمساحة.

ثالثاً: ضبط النموذج بالاعتماد على 8 نقاط ضبط أرضي (GCPs)

بلغ معدل مجموع الدقة ثلاثية الأبعاد (X,Y,Z) يساوي 1.05سم، علماً بأن أعلى قيمة مجموع الخطأ وجدت في النقطة 205 وكانت تساوي 1.43سم، بينما أقل قيمة وجدت في النقطة 201 وهي تساوي 0.36سم، كما هو مبين في جدول (11):

جدول (11)

ضبط النموذج بالاعتماد على 8 نقاط ضبط أرضي

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
200	0.279549	-0.305827	0.40399	0.578693	0.728 (13)
201	0.188634	0.334761	-0.13715	0.407993	0.275 (13)
202	0.0264992	0.42701	-1.0341	1.11911	0.828(18)
203	-0.733374	-1.24896	-0.306626	1.48045	0.701 (14)
204	-0.709073	-0.409534	0.945676	1.25092	0.693(24)
205	2.28522	0.203614	-0.437298	2.33557	0.883 (13)
206	-0.850077	0.29671	0.509159	1.03437	0.628(13)
207	-0.487372	0.702223	0.0563502	0.856636	0.488 (13)
Total	0.957695	0.585038	0.580232	1.26338	0.686

ولكن عند تحليل الدقة لنقطة التحقق (Check Points) التي تم رصدها، كانت تحمل رقم 208 ويبلغ معدل الخطأ فيها 0.72 سم.

جدول (12)

تحليل دقة النموذج بالاعتماد على نقطة تحقق واحدة

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total	Image (pix)
208	0.216259	-0.62749	-1.97802	2.0864	0.719 (13)
Total	0.216259	0.62749	1.97802	2.0864	0.719

وبتحليل الدقة في هذا النموذج نستطيع استنتاج أن الدقة التي توصل لها هذا النموذج 1.26 سم حيث أن أعلى قيمة كانت فيها 2.33 سم وهي تقارب دقة نقطة التحقق 2.08 سم، ومن أجل إجراء تحقق إضافي من دقة النموذج النهائي تم اختيار 20 نقطة ضبط أرضي إضافية تم قياسها باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي كان من بينها 11 نقطة ضبط كاملة (Full control Points)، 4 نقاط ضبط أفقية (Horizontal Control Points) و 5 نقاط ضبط رأسية (Vertical Control Points)، كما يظهر في الشكل (26) في الملحق (ب)، وتم قياس احداثيات جميع هذه النقاط من النموذج النهائي بدقة عالية، ومن ثم حساب معدل الخطأ بين مواقع النقاط المقاسة باستخدام جهاز GPS ومواقع النقاط المقاسة من النموذج، وكان النتائج كما يأتي:

- بلغ عدد نقاط الضبط الأفقية التي تم التحقق منها 15 نقطة؛ من بينها 11 نقطة ضبط كاملة، و 4 نقاط ضبط أفقية، وبلغ معامل الخطأ (RMSE) في Northing $0.0254 \pm$ م، $0.0235 \pm$ م.
- بلغ عدد نقاط الضبط الرأسية التي تم التحقق منها 16 نقطة، من بينها 11 نقطة ضبط كاملة، و 5 نقاط ضبط رأسية، وبلغ معامل الخطأ الرأسي (RMSE Vertical) $0.0434 \pm$ م.
- وعند دمج نتائج الدقة الأفقية والدقة الرأسية معاً، ينتج لدينا معامل الدقة ثلاثية الأبعاد RMSE Position وبلغ $0.0555 \pm$ م.

وعليه فإنه يمكن الاعتماد على هذا النموذج في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية (2-3 سم).

جدول (13)

ضبط النموذج بالاعتماد على 20 نقطة تحقق (Check Points)

Point	Measured Coordinates by GNSS			Measured Coordinates from Orthofoto			Type	Errors		
	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
1	177680.7	191807.9	414.373	177680.7	191807.9	414.3657	Full	-0.01212	0.006363	-0.00728
2	177677.5	191805	415.6081	177677.4	191805	415.7145	Full	-0.02867	0.006653	0.10635
3	177683.3	191804.1	415.5978	177683.3	191804.1	415.6103	Full	0.001585	0.043164	0.012537
6	177627.5	191843.7	414.4248	177627.5	191843.8	414.4187	Full	-0.00365	0.010871	-0.00614
7	177626.1	191847.1	414.432	177626.1	191847.1	414.4522	Full	-0.02799	0.017219	0.02016
8	177625.3	191853.9	414.3882	177625.4	191853.9	414.4567	Full	0.004419	0.001057	0.068475
9	177637.9	191844.9	414.3584	177637.9	191844.9	414.4102	Full	-0.00673	0.009936	0.051787
10	177638.3	191846.4	411.3508	177638.3	191846.4	411.3612	Full	-0.04809	-0.02919	0.010358
11	177642	191847.7	411.4137	177642	191847.6	411.4107	Full	0.009284	-0.03589	-0.00305
13	177594.4	191922.8	395.4741	177594.4	191922.8	395.5009	Full	-0.00521	-0.00122	0.026795
208	177630.5	191878.4	404.0327	177630.5	191878.4	404.0333	Full	-0.00552	-0.00676	0.00059
12	177643.6	191843.6	411.3939	177643.7	191843.7	-----	Horizontal	0.041053	0.054003	-----
16	177620.2	191864.4	405.9921	177620.2	191864.5	-----	Horizontal	0.048905	0.017704	-----
14	177621.8	191880.3	405.4779	177621.7	191880.3	-----	Horizontal	-0.02019	-0.00157	-----
15	177615.1	191869.9	405.4018	177615	191869.9	-----	Horizontal	-0.03006	-0.01924	-----
4	177647.6	191851.5	407.9551	-----	-----	408.019	Vertical	-----	-----	0.0639
5	177634.1	191872.8	404.7813	-----	-----	404.765	Vertical	-----	-----	-0.0163
18	177639.4	191834.8	411.5724	-----	-----	411.625	Vertical	-----	-----	0.0526
19	177632.8	191820.1	412.8628	-----	-----	412.89	Vertical	-----	-----	0.0272
20	177667.8	191802.7	416.0459	-----	-----	416.092	Vertical	-----	-----	0.0461

4.2 المشروع الثاني: مشروع الطرق

4.2.1 مرحلة جمع البيانات للمشروع الثاني

4.2.1.1 التعريف بمنطقة الدراسة

تم اختيار المنطقة الجنوبية الشرقية من قرية عراق بورين التابعة لمحافظة نابلس لتمام هذه الدراسة كما يظهر في الشكل (27) في الملحق (ب)، وبلغت مساحتها تقريبا (87 كيلو متر مربع)، حيث تم التصوير بشكل طولي باعتبار المنطقة المراد دراستها هي طريق، وتم اخذ مسافة 70 متر تقريبا على جانبي الطريق لتحقيق الغرض من الدراسة.

طول مشرع الطرق

تم قياس طول مشروع الطرق بكلتا الطريقتين والمقارنة بينهما وهما:

• قياس المسافة بين نقاط التحكم الأرضية

تم قياسه الطريق الذي تم اجراء الدراسة عليه بالاعتماد على أمر (Ruler) من شريط الأدوات في برنامج Agisoft Metashape Professional، حيث تم قياس المسافة بين نقاط التحكم الأرضية (GCP) التي تم توزيعها على طول منطقة الدراسة، وبلغ طول الطريق 627م. كما يظهر في الشكل (28) في الملحق (ب)

• قياس طول الطريق بالاعتماد على فرق الاحداثيات

الطريقة الأخرى لقياس طول الطريق التي تم مسحها من خلال فرق الاحداثيات لنقاط التحكم الأرضية (GCPs)، ويجاد المسافة بينهما بالاعتماد على القانون.

بناء على الجدول (14) في الملحق (أ)، وبالاعتماد على طريقة فرق الاحداثيات (x,y) لنقاط التحكم الأرضية، كان طول الطريق المراد دراسته 621.17م، وهذه الطريقة نتائجها موثوقة وذات دقة عالية.

لكن النتيجة التي تم الحصول عليها من أمر (Ruler) جيدة وقريبة جدا من الواقع وتفي بأغراض القياسات العامة التي لا تحتاج الى دقة عالية.

4.2.1.2 توزيع نقاط الضبط الأرضية (GCPs)

تم توزيع 10 نقاط ضبط أرضية على طول الطريق المراد دراستها في قرية عراق بورين، كما يظهر في الشكل (29) في الملحق (ب) مع مراعاة شروط توزيع نقاط الضبط الأرضية المذكورة سابقا قبل البدء برحلة التصوير الجوي، قامت الباحثة بدراسة منطقة الدراسة، بتوزيع عشر نقاط ضبط أرضية على طول الطريق المراد التقاط صور جوية له وفي أماكن معيارية منه - بعضها كانت على جانب الطريق والآخر على المفترقات - رسمت باللون الأحمر ليسهل وضوحها في الصور الجوية والتعرف عليها، ورفعت نقاط التحكم الأرضية باستخدام جهاز GPS.

تم ايجاد قيم ارتفاع طائرة الدرونز فوق نقاط الضبط الأرضي (GCPs) بناءً على الخطوات التالية:
أولاً: قامت الباحثة بإيجاد متوسط قيم ارتفاع الطائرة عن سطح البحر (Z-est) بالاعتماد على تقرير الاحداثيات (Report Coordinates System)، والذي بلغ 772.60م.

ثانياً: تطبيق قانون "ارتفاع الطائرة فوق النقطة (x) = متوسط ارتفاع الطائرة عن سطح البحر - ارتفاع النقطة (x) عن سطح البحر.

بعد تطبيق القانون أعلاه على قيم نقاط الضبط الأرضي (GCPs)، كان فرق الارتفاع بين طائرة الدرونز ونقاط GCPs كما يظهر في الجدول رقم (15) في الملحق (أ).

كان أقل فرق ارتفاع بين طائرة الدرونز ونقطة الضبط الأرضي رقم (9) وبلغ 48.69م، وعدد الصور التي تكرر فيها ظهور نقطة GCP هو 20 صورة، وكان ظهور النقطة (9) واضح جدا ويمكن تمييزها بسهولة في الصورة الجوية والتعرف عليها.

وعلى خلاف ذلك، كان أعلى فرق ارتفاع لطائرة الدرونز ونقاط الضبط الأرضي بين النقطتين (5،4) وبلغ (76.20م،76.28م) على التوالي، وتكرر ظهورهما في (23،32) صورة جوية على التوالي، وكان وضوحهم سيء ومن الصعب التعرف على مواقعهم.

لاحظت الباحثة أنه يوجد علاقة وثيقة بين وضوح الأهداف وفرق الارتفاع بين نقاط GCPs وطائرة الدرونز، فكلما قل فرق الارتفاع بين طائرة الدرونز ونقاط GCPs كلما زاد وضوح الأهداف (العلاقة عكسية).

ولاحظت الباحثة أنه لا توجد علاقة بين وضوح الأهداف وعدد الصور الجوية التي تكرر فيها ظهور هذه الأهداف. كما تبين في الجدول رقم (15) أن أقل عدد صور ظهرت فيها نقطة GCP رقم (10) وكان عدد الصور الجوية التي ظهرت بها 11 صورة، وكان وضوحها جيد نوعا ما وكان سهل التعرف عليها، وعلى العكس من ذلك، كان أكبر عدد صور جوية ظهرت فيها النقطتين (5،6)، وعدد الصور التي ظهرتتا بهما 32 صورة جوية، وكان وضوحهما سيء جدا وكان من الصعب جدا التعرف عليهما، ويرجع السبب في ذلك الى العوامل التي تم التطرق لها في الفصل الثالث، وأهمها اختيار الوقت المناسب لالتقاط الصور الجوية؛ حيث كان ضوء الشمس ساطع وبالتالي عكس على الرصيف وأعطى هذا الضوء اللامع كما ظهر في الصور الجوية للنقطتين (5،6) وثانيا ضبط اعدادات الكاميرا لتناسب مع وقت التصوير.

4.2.1.3 اعداد خطة الطيران لمشروع الطرق

1. تحديد نوع خطة الطيران المناسبة لمشروع الطرق، وتم اختيار Road Missing المناسب لهذا النوع من المشاريع الطولية
2. تحديد عدد خطوط الطيران، وكان عددها 2 لتغطي الصور الجوي منطقة الدراسة
3. اختيار ارتفاع الطيران والذي بلغ 72متر

4. تحديد نسبة التداخل الأمامي وكانت 90% ونسبة التداخل الجانبي بلغت 80%

5. تحديد سرعة الطائرة وكانت 5م في الثانية

6. تحديد زاوية التقاط الصور الجوية، والتي تم ضبطها على 90 درجة.

4.2.2 معالجة البيانات ونتائج تحليلها

باستخدام برنامج Agisoft Metshape Professional، وبعد اضافة الصور الجوية الملتقطة لمنطقة الدراسة باستخدام طائرة الدرونز، وتحويل احداثيات الصور الجوية واحداثيات نقاط الضبط الأرضي (GCPs) الى الإحداثيات الفلسطينية، ومن ثم معالجة الصور الجوية بدقة عالية باستخدام أمر Align Photo، واجراء optimize camera و Build Dense Cloud، وبالاعتماد على تقرير معالجة البيانات (Processing Report)؛ والذي يتألف من ستة عناصر وهي: Survey Data، Camera Calibration، Ground Control Points، Digital Elevation، Model، Processing Parameters)، وكانت نتائج التحليل على النحو الآتي:

4.2.2.1 Survey Data

Camera Location and Image Overlap توضح موقع الكاميرا لحظة التقاط الصورة، وتغطية الصور الجوية لمنطقة الدراسة، كما في الشكل (30) ملحق (ب).

بلغت قيمة الدقة المكانية (Ground Resolution) 1.48 سم/بكسل وهي قيمه جيدة ومقبولة في الأعمال المساحية، وكانت مساحة التغطية الأرضية لكل صورة جوية 100م × 67م، وكان لكل مساحة 100م × 67م أكثر من 9 صور جوية وهذا يعتمد على نسبة التداخل الأمامي والجانبي المحددة مسبقا، وعليه بلغت عدد الصور الجوية الملتقطة لمشروع طرق طوله تقريبا 621 م، ومساحة 92.4م²، وعلى ارتفاع طيران 72م، 252 صورة جوية.

4.2.2.2 معايرة الكاميرا Camera Calibration

كانت الخطوة الأولى في سير عمل المشروع هي معايرة اعدادات الكاميرا للسماح بالنقاط صور جوية عالية الدقة، وتعد معايرة الكاميرا شرطا أساسيا في التصوير الجوي؛ وذلك لتحديد عناصر التوجيه الداخلي الخاص بها، والتي تتضمن ازاحة النقطة الرئيسية (X_p, Y_p) والبعد البؤري (F) ، وكذلك تعد معايرة الكاميرا ضرورية لوضع نماذج التشوه الهندسي المنهجي والذي يشمل معاملات تشوه العدسة الشعاعية (K_1, K_2, K_3) والتشوه اللامركزي (P_1, P_2) .

لم تكن معايرة الكاميرا مطلوبة أثناء سير العمل، حيث يجري برنامج Agisoft Photoscan تعديل بيانات المعايرة الأولية تلقائيا أثناء خطوة معالجة الصور بأمر "Align Photo"، وبمجرد الانتهاء من هذا الأمر، تعرض بيانات المعايرة المعدلة في علامة التبويب لمعايرة الكاميرا، وبعد مراجعة القيم المعدلة لمعاملات (b_1, b_2, c_x, c_y) ، وعادة ما تكون قيم c_x, c_y حوالي بضع عشرات من البكسل (أو أقل)، ويتم قياس هذه القيم من مركز الصورة، وقيم b_1, b_2 لا تزيد عن بضع وحدات من البكسل.

فاذا كانت قيم المعاملات كبيرة جدا، أي قيم c_x, c_y تبلغ المئات أو أكثر، وقيم b_1, b_2 تبلغ العشرات أو أكثر؛ فهذا يشير الى أن تقدير معاملات المعايرة ربما يكون غير صحيح. وفي بعض الأحيان قد يكون الأمر مرتبطا بتفاصيل مهمة الطيران، على سبيل المثال، اذا لم يتم تدوير الكاميرا بمقدار 180 درجة على خطوط الطيران المجاورة

أعطت هذه الخطوة دقة كبيرة لمعايرة الكاميرا مع نتائج الخطأ التي قررت الصحة العامة للعملية على مستوى البكسل، ويتم عرض نتائج معاملات المعايرة ومصفوفة الارتباط والأخطاء في الجدول (16) كما في الملحق (أ).

يقدم الجدول (16) في الملحق (أ) تفاصيل معايرة الكاميرا المستخدمة في المشروع، ويظهر قيم المعاملات مع أخطاءها ومصفوفة الارتباط بينها. من المهم أن نلاحظ أن قيم الأخطاء المقدمة تعكس دقة القيم المقاسة، وأن انخفاض قيم الخطأ يشير إلى عمليات قياس دقيقة وثابتة.

معامل البعد البؤري (F): هذا المعامل يشير إلى البعد البؤري للعدسة، والذي يحدد مجال الرؤية للكاميرا. قيمة (F) مقدرة بـ 3655.06 مع خطأ نسبي بسيط يقدر بـ 0.46، مما يعني أن البعد البؤري للعدسة قد تم قياسه بدقة عالية.

الانزياحات (Cx و Cy): هذه القيم تمثل انزياح مركز الصورة من مركز العدسة. وجود خطأ صغير في هذه القيم (0.01 لـ Cx و 0.009 لـ Cy) يشير إلى أن الانزياح قد تم قياسه بكفاءة عالية.

معاملات تشوه العدسة الشعاعية ($K1, K2, K3$): هذه المعاملات تعكس التشوهات الشعاعية للعدسة وتأثيرها على الصور. القيم المعطاة تبين أن التشوه قد تم تصحيحه بنجاح إلى حد كبير، كما يظهر من الأخطاء المنخفضة المرتبطة بكل معامل.

معاملات التشوه اللامركزي ($P1$ و $P2$): تؤثر هذه المعاملات على جودة الصورة بالنسبة للتشوهات اللامركزية. قيم الأخطاء المنخفضة لهذه المعاملات تظهر فعالية البرنامج في تحديد وتصحيح هذه التشوهات.

الجدول (16) يوضح أيضا مصفوفة الارتباط بين المعاملات، والتي تعطي فكرة عن درجة التأثير المتبادل بين هذه المعاملات خلال عملية المعايرة. وجود ارتباطات ضعيفة بين معظم المعاملات يشير إلى أن كل معامل يمكن تقييمه بشكل مستقل دون تأثير كبير من الآخرين، مما يعزز من دقة النمذجة للكاميرا ويقلل من الأخطاء الممكنة في التقديرات النهائية.

تعرض علامة تبويب الارتباط:

1. القيم المعدلة لمعاملات التوجيه الداخلي للكاميرا (Value).
 2. قيم الانحراف المعياري لمعاملات التوجيه الداخلي في الكاميرا (Error).
 3. قيم الارتباط لمعاملات التوجيه الداخلي للكاميرا- تعكس درجة الارتباط بين المعاملات المقابلة.
- يمثل الرسم البياني لتشويه (Distortion) قيم التشوه واتجاهه وفقا لقيم معاملات المعايرة المعدلة، وتعدد الخيارات المتاحة في علامة التبويب لمخطط التشوه الي:

اولا: الاجمالي (Total): ويعرض القيمة الاجمالية المحسوبة لجميع معاملات معايرة الكاميرا.

ثانيا: الشعاعي (Radial): يعرض المتجه الاجمالي للمعاملات K_1, K_2, K_3, K_4 .

ثالثا: الازالة (Decentering): يعرض المتجه الاجمالي لمعاملات b_1, b_2, p_1, p_2 .

رابعا: التصحيحات (corrections): ستكون علامة التبويب هذه فارغة الا اذا قمت بتمكين ملائمة التصحيحات الاضافية أثناء عملية التحسين.

خامسا: Residuals: يسمح التمثيل البياني لخيار (Residuals) بتقييم مدى وصف الكاميرا بالنموذج الرياضي المطبق، ويتم حساب متوسط القيم المتبقية لكل خلية من الصورة ثم من كل الصور في منطقة الدراسة.

ومن خلال عملية المعايرة، وبكاميرا من نوع (FC6310) وذات بعد بؤري 88ملم، تم التقاط صور بدقة اجمالية (3648*5472) بكسل، وبحجم بكسل (2.41*2.41) ميكرومتر لكافة الصور التي تم التقاطها لمنطقة الدراسة والتي بلغت 252 صورة. كما يظهر في الشكل (31) في الملحق (ب)، ويشير مرجع المقياس الموجود أسفل المخطط الى حجم التشوهات.

Camera Locations 4.2.2.3

موقع الكاميرا وقت التقاط الصورة الجوية وتقديرات الخطأ فيها:

ممثلة بلون الشكل البيضاوي: Z Error.

ممثلة باتجاه الشكل البيضاوي: X, Y Errors.

موقع الكاميرا وقت التقاط الصورة الجوية ممثلة بالنقطة السوداء داخل الشكل البيضاوي، كما في

الشكل (32) في الملحق (ب).

تعتمد عدد الصور الجوية على نسبة التداخل الأمامي والجانبية، وكانت نسبة التداخل الأمامي 90%

ونسبة التداخل الجانبي 80% على طول خطي الطيران لتغطية منطقة الدراسة.

4.2.2.4 تحليل نقاط الضبط الأرضية

موقع نقاط الضبط الأرضي (GCPs) وتقديرات الخطأ فيها:

Z Error: ممثلة بلون الشكل البيضاوي

X, Y Errors: ممثلة باتجاه الشكل البيضاوي

تقديرات الخطأ في مواقع نقاط الضبط الأرضي ممثلة بالنقطة السوداء أو التقاطع داخل الشكل

البيضاوي. كما يظهر في الشكل (33) في الملحق (ب).

جدول (17) كما في الملحق (أ) يُظهر تحليل نتائج نقاط الضبط الأرضي (GCPs) المستخدمة في

مشروع تحسين الطرق. يُقدم الجدول مجموعة من المعطيات تتضمن الخطأ الكلي والأخطاء المحددة في

محاور X، Y، و Z بالسنتيمتر، بالإضافة إلى عدد نقاط الضبط الأرضي المستخدمة في كل قياس. من

خلال تحليل هذه الأخطاء، يمكن تقييم دقة النموذج الجيومكاني المستخدم في المشروع. الصف الأول

يُشير إلى استخدام 3 نقاط ضبط أرضي، حيث يلاحظ أن الخطأ الكلي هو الأقل مع قيمة 0.508369، مما يدل على دقة عالية في هذه القياسات. مع زيادة عدد نقاط الضبط الأرضي، نلاحظ ارتفاعاً في قيمة الخطأ الكلي، مما قد يشير إلى تأثير النتائج بعوامل خارجية أو تحديات معينة في القياس بزيادة عدد النقاط.

جدول (18) في الملحق (أ) يعرض تحليل نقاط التحقق المستخدمة في نفس المشروع. تُظهر البيانات الأخطاء في الأبعاد X ، Y ، و Z ، بالإضافة إلى الخطأ الكلي لكل مجموعة من نقاط التحقق المستخدمة. الأخطاء في هذا الجدول أعلى بكثير من تلك الموجودة في جدول النقاط الأرضية، مما يُظهر تحديات في الدقة قد تنجم عن عوامل متعددة مثل تغير الظروف البيئية أو الاختلاف في جودة البيانات الملتقطة. يمكن ملاحظة أن الخطأ الزائد في المحور Z يميل إلى أن يكون أعلى بشكل ملحوظ مقارنة بالأخطاء في المحاور X و Y ، مما يُشير إلى تحديات خاصة في تحديد الارتفاعات بدقة في هذا النوع من المشاريع.

وبناء على الجدولين (17-18) تم تحليل البيانات على أربع مراحل:

أولاً: تم تحليل البيانات باستخدام 3 نقاط ضبط أرضي وهي (10،5،1) و 7 نقاط اختبار (check points) وهي (9،8،7،6،4،3،2)، وكان معدل الأخطاء لنقاط الضبط الأرضي (Total Error (RMSE)) يساوي 0.51 سم، وكانت موزعة على الاحداثيات (Z،Y،X) على النحو التالي: X Error=0.43 سم، Y Error=0.27 سم، Z Error=0.04 سم. بينما كان معدل الأخطاء لنقاط الاختبار (check points) تساوي 3.93 سم.

ثانياً: تم تحليل البيانات باستخدام 5 نقاط ضبط أرضي وهي (10،7،5،3،1) و 5 نقاط اختبار (check points) وهي (9،8،6،4،2)، وكان معدل الأخطاء لنقاط الضبط الأرضي (Total Error (RMSE)) يساوي 0.72 سم، وكانت موزعة على الاحداثيات (Z،Y،X) على النحو التالي: X Error=0.61 سم، Y

0.39=Error سم، 0.06=Z Error. بينما كان معدل الأخطاء لنقاط الاختبار (check points) تساوي 4.63 سم.

وعلى الرغم من الدقة العالية التي تم الحصول عليها من اختبار (5،3) نقاط ضبط أرضي، ولكن لا يمكن الوثوق بهذه النتائج لأنها تعتبر أن احداثيات نقاط الضبط الأرضي صحيحة 100%، لأنه لا يوجد مرجعية لتأكد من صحة هذه النقاط.

ثالثاً: تم تحليل البيانات باستخدام 7 نقاط ضبط أرضي وهي (1،3،4،5،6،7،10) و 3 نقاط اختبار (check points) وهي (2،8،9)، وكان معدل الأخطاء لنقاط الضبط الأرضي (Total Error (RMSE)) يساوي 1.17 سم، وكانت موزعة على الاحداثيات (Z،Y،X) على النحو التالي: X Error=0.92 سم، Y Error=0.79 سم، Z Error=0.20 سم. بينما كان معدل الأخطاء لنقاط الاختبار (check points) تساوي 3.68 سم. وهذه النتيجة درجة الثقة فيها أعلى، ومقبولة في الأعمال المساحية فهي قريبة من دقة جهاز التوقيع الكوني (GPS).

رابعاً: تم تحليل البيانات باستخدام 9 نقاط ضبط أرضي وهي (1،2،3،4،5،6،7،8،10) ونقطة اختبار (check points) وهي (9)، وكان معدل الأخطاء لنقاط الضبط الأرضي (Total Error (RMSE)) يساوي 1.30 سم، وكانت موزعة على الاحداثيات (Z،Y،X) على النحو التالي: X Error=0.83 سم، Y Error=0.97 سم، Z Error=0.19 سم. بينما كان معدل الأخطاء لنقاط الاختبار (check points) تساوي 1.59 سم.

وبتحليل الدقة في النموذج النهائي الذي يعتمد على 9 نقاط ضبط أرضي ونقطة تحقق واحده، تم اجراء تحقق اضافي من دقة هذا النموذج باختيار 20 نقطة ضبط ارضي اضافية كما هو موضح في الشكل رقم (34) في الملحق (ب)، تم قياسها باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي كان من بينها 6 نقطة ضبط كاملة (Full control Points)، 7 نقاط ضبط أفقية (Horizontal Control Points) و 7 نقاط ضبط

رأسية (Vertical Control Points)، وتم قياس أحداثيات جميع هذه النقاط من النموذج النهائي بدقة عالية، ومن ثم حساب معدل الخطأ بين مواقع النقاط المقاسة باستخدام جهاز GPS ومواقع النقاط المقاسة من النموذج، وكان النتائج كما يأتي كما يظهر في الجدول رقم (19) في الملحق (أ):

- بلغ عدد نقاط الضبط الأفقية التي تم التحقق منها 13 نقطة؛ من بينها 6 نقطة ضبط كاملة، و7 نقاط ضبط أفقية، وبلغ معدل الخطأ (RMSE) في E (Estring) ± 0.02915 م، Northing ± 0.02794 م، وكانت أعلى قيمة خطأ (Est Err) في النقطتين 203، 204 وبلغت 4.2 سم، 4.9 سم على التوالي؛ ويمكن أن يعود اسباب الخطأ ناتجة عن دقة جهاز تحديد المواقع العالمي، حيث بلغت قيمة الخطأ الأفقية (H RMS) في جهاز GPS 1.5 سم في كلتا النقطتين.

- بلغ عدد نقاط الضبط الرأسية التي تم التحقق منها 13 نقطة، من بينها 6 نقطة ضبط كاملة، و7 نقاط ضبط رأسية، وبلغ معدل الخطأ الرأسي (V) (Vertical) RMSE يساوي ± 0.02327 م. وكانت أعلى قيمة خطأ (Vertical Err) في النقطتين 202 وبلغت 4.8 سم؛ ويمكن أن يعود السبب الى الخطأ الناتج عن دقة جهاز تحديد المواقع العالمي، حيث بلغت قيمة الخطأ الرأسية (V RMS) في جهاز GPS 2.9 سم.

- وعند دمج نتائج الخطأ الأفقية والخطأ الرأسية معاً، ينتج لدينا معامل الخطأ ثلاثية الأبعاد RMSE Position وبلغ ± 0.04660 م.

وبناء على هذه النتائج فإنه يمكن الاعتماد على هذا النموذج في الأعمال المساحية التي تطلب دقة عالية (2-3 سم).

4.2.3 مخرجات معالجة الصور الجوية

هذه المرحل النهائية لمراحل معالجة الصور الجوية، وتتمثل في اخراج خرائط Build DEM and Geographic Information System(GIS) لانتاج هذه الخرائط. ، وتم استخدام برنامج Slope Distance، Contours، Bulid Ortho Mosaic،

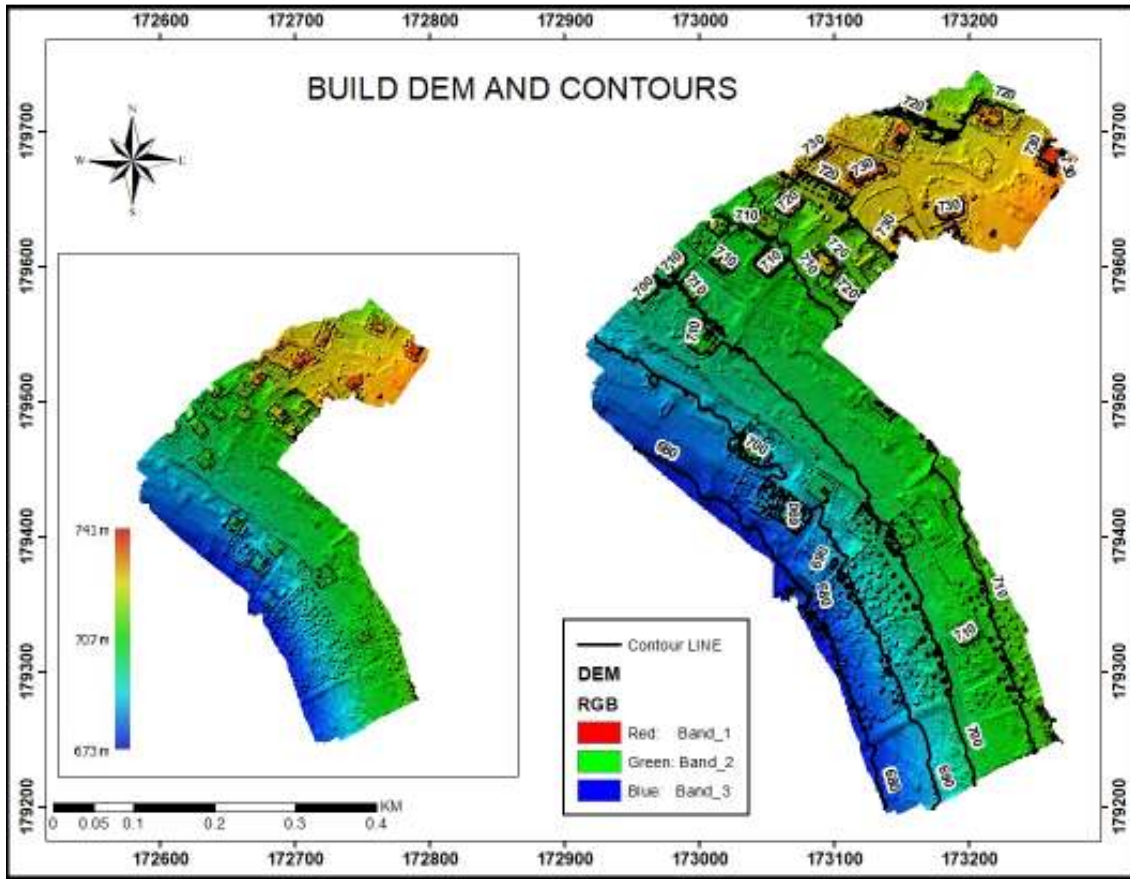
4.2.3.1 بناء نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) Digital Elevation Model

في تكملة للمناقشة حول تقنيات تحليل الارتفاع، يتيح برنامج Metashape إنشاء نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، الذي يُمثل سطح النموذج كشبكة منتظمة من الارتفاعات. هذا النموذج مبني بالاعتماد على سحابة نقطية كثيفة أو سحابة نقطية متفرقة أو شبكة، وتُحسب النتائج الأكثر دقة بناءً على البيانات المستمدة من السحابة النقطية الكثيفة. يمكن Metashape المستخدمين من إجراء القياسات النقطية، وقياس المسافة والمساحة والحجم استنادًا إلى DEM، بالإضافة إلى إمكانية إنشاء مقاطع عرضية لجزء من المشهد يحدده المستخدم.

إضافةً إلى ذلك، يُمكن من خلال البرنامج حساب الخطوط الكنتورية للنموذج وتصويرها إما عبر DEM أو من خلال Ortho mosaic. تظهر الخريطة رقم (1)، الذي يُعرض خريطة DEM مع الخطوط الكنتورية المحسوبة. يمكن رؤية تفاصيل متنوعة توضح الارتفاعات المختلفة للمنطقة المدروسة، حيث تُظهر التغيرات في اللون الانتقال بين الارتفاعات المختلفة، من الأخضر الفاتح للمناطق المنخفضة إلى الأصفر والبرتقالي للمناطق الأعلى ارتفاعًا. الخطوط السوداء تُمثل الخطوط الكنتورية وتُعطي تصورًا واضحًا لتضاريس المنطقة، وهي مفيدة لفهم البنية التضاريسية للأرض ولتخطيط المشاريع الهندسية والبيئية.

خريطة (1)

Build DEM and Contours



تستخدم كاميرا DJI Phantom4 pro مستشعر CMOS مقاس 1 بوصة ليأخذ فيديو يصل الى 4069*2160 بكسل بمعدل 60 اطارا في الثانية ولقطات ثابتة بدقة 20 ميغا بكسل، والتي تتميز بالنقاط ثلاثة نطاقات RGB (الأحمر، الأخضر، والأزرق) والأشعة تحت الحمراء (NIR).

4.2.3.2 حساب درجة الانحدار (Slope Distance)

وبالاعتماد على نموذج DEM، تم انشاء شبكة خطوط الكنتور والتي تساعدنا في شق الطرق؛ وذلك من خلال معرفه فرق الارتفاعات وحساب درجة الانحدار- والتي يفضل أن لا تزيد عن 15%-، ويفضل أيضا شق الطرق موازية لخطوط الكنتور، عملت الباحثة على حساب درج الانحدار للطريق (رقم 1، 2)، ومقارنة مدى ملائمتها لمعايير شق الطرق، باستخدام القانون الاتي:

درجة الانحدار = (فرق الارتفاع بين خطوط الكنتور / طول الطريق) * 100%

درجه الانحدار في طريق رقم (1) = $(566 / (700 - 710)) * 100\% = 1.8\%$ ، وهو موازي لخط الكنتور كما هو ملاحظ في الخريطة رقم (2).

درجة الانحدار في الطريق رقم (2) = $(344 / (710 - 730)) * 100\% = 5.8\%$

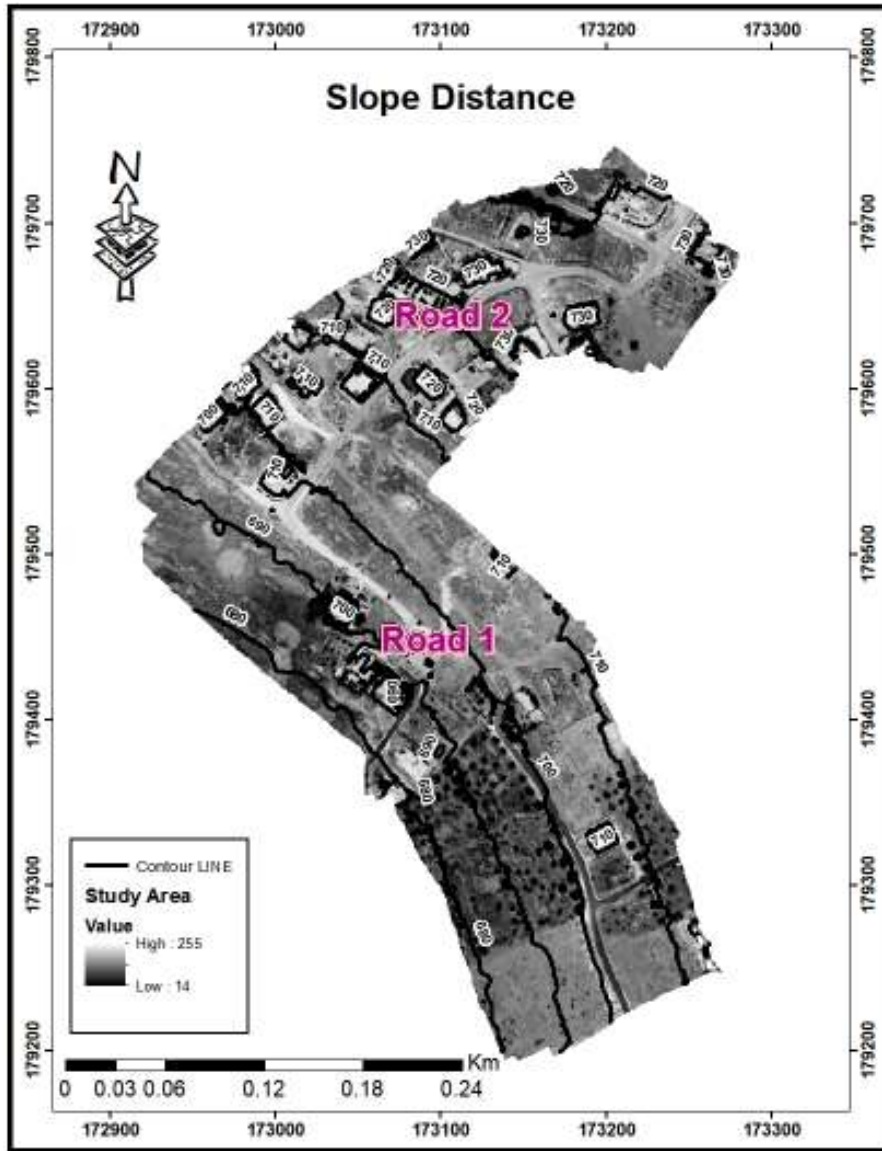
استكمالاً لتحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وتطبيقاته في تخطيط البنية التحتية، يُظهر الخريطة رقم (2) استخدام DEM في حساب درجة الانحدار لمسارات الطرق المُخطط لها. تم إنشاء شبكة خطوط الكنتور بناءً على نموذج DEM، مما سمح بتحديد الارتفاعات وحساب درجات الانحدار بدقة.

تُظهر هذه الخريطة مسارين رئيسيين للطرق، يُعرفان بطريق رقم 1 وطريق رقم 2، موزعين بشكل استراتيجي بناءً على التضاريس المحددة من خلال خطوط الكنتور. درجة الانحدار لطريق رقم 1 هي 1.8%، وهي ضمن المعايير المثالية لإنشاء الطرقات، إذ تمتاز بميلان منخفض يسمح بسهولة التنقل والبناء. ويُلاحظ أن مسار الطريق موازٍ لخطوط الكنتور، مما يُقلل من الحاجة إلى التعديلات الترابية والقطع والردم خلال عملية الإنشاء.

أما درجة الانحدار لطريق رقم 2 فهي 5.8%، وهي أيضاً ضمن الحدود المقبولة، لكنها تظهر تحديات أكبر قليلاً في التصميم والبناء مقارنة بالطريق الأول. هذه الدراسة تُبرز الفائدة من استخدام DEM في التخطيط المسبق للبنية التحتية، حيث تُمكن المخططين من اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن توجيه وتصميم الطرق لضمان أقصى قدر من الكفاءة والأمان.

خريطة (2)

Slope Distance



4.2.3.3 انشاء صورة عمودية Ortho mosaic

“Ortho mosaic” هي صورة مصححة تم تشكيلها من مجموعة صور، حيث تم تصحيح التشوه الهندسي وتشوه العدسات وزوايا الكاميرا فيها وايضا موازنة ألوان الصور. وتم انشاء Ortho mosaic استنادا الى بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، حيث يتم معالجة بيانات المسح الجوي مما يسمح بتوفير الوقت في خطوة انشاء الشبكة.

ويمكن استخدام خرائط Aerial Ortho mosaic في الأعمال المساحية من أجل:

1. قياس الأسطح Measure Roofs
2. انشاء لخرائط الطبوغرافية Create Topographic Maps
3. خريطة خطوط الملكية Map Property Lines
4. انشاء خرائط الموقع Generate Site Maps

خريطة (3)

Orthomosaic

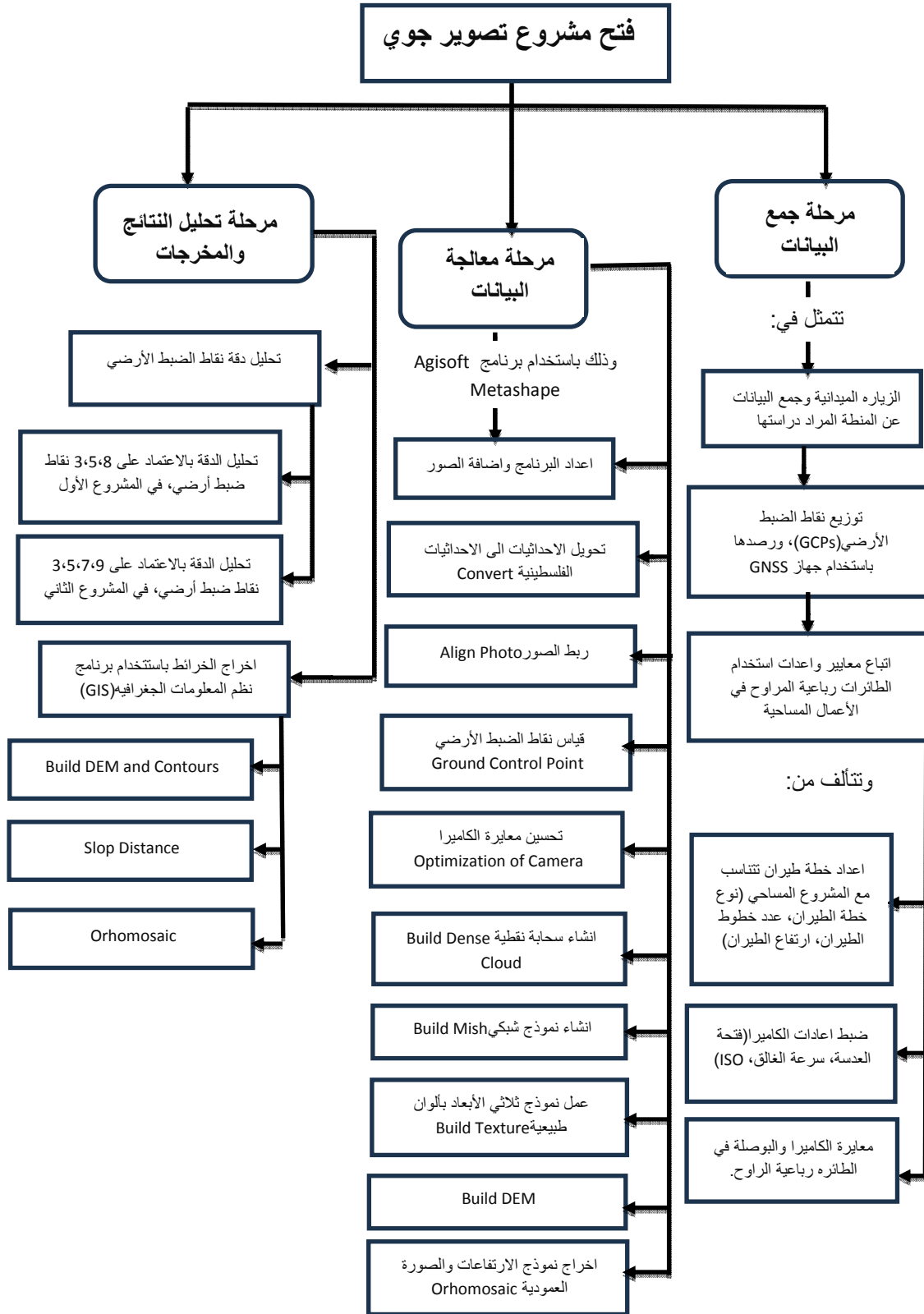


4.3 ملخص النتائج وآلية التصوير الجوي باستخدام طائرات الدرونز

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم دقة التصوير الجوي باستخدام طائرات الدرونز في مشاريع المساحة المختلفة. تم استخدام الطائرات رباعية المراوح من نوع Phantom 4 pro في اختبار اثنين من المشاريع المساحية: المشروع الأول (مسح منطقة صغيرة المساحة نسبيًا)، المشروع الثاني (مسح طريق). أشارت النتائج إلى أن دقة النماذج الجغرافية المكانية المنتجة تعتمد بشكل كبير على عدة عوامل. كان لارتفاع الطيران، الذي تم تحديده وفقًا لطبيعة المنطقة المستهدفة، والذي تراوح بين 60 إلى 72 مترًا، دور حاسم في تحقيق دقة تصوير عالية. أظهر التحليل أن تقليل الارتفاع بين الطائرة ونقاط الضبط الأرضي (GCPs) ساهم في تحسين وضوح الأهداف وزيادة الدقة. تم استخدام خطط طيران مختلفة بناءً على طبيعة كل مشروع، حيث تم اعتماد خطة طيران طولية في مشروع الطرق (Road Mission)، بينما تم استخدام خطة شبكة الطيران (Mission Grid) في مشروع المساحة الصغيرة. ساهم اختيار خطة الطيران المناسبة في تحسين تغطية الصور الجوية وضمان تداخل مناسب بين الصور. تم ضبط إعدادات الكاميرا والطائرة بعناية للحصول على أفضل جودة للصور الجوية، بما في ذلك معايرة الكاميرا لضمان تصحيح التشوهات الهندسية والعنسية، وضبط زاوية التقاط الصور عند 90 درجة، بالإضافة إلى ضبط سرعة الطائرة وفقًا لظروف كل مشروع. أظهرت النتائج أن دقة المعايرة كانت حاسمة في تقليل الأخطاء المكانية في النماذج النهائية. لعب توزيع نقاط الضبط الأرضي دورًا كبيرًا في تحقيق الدقة المطلوبة، حيث تم توزيع النقاط بعناية في مواقع معيارية لتغطية شاملة للمنطقة المدروسة. أظهرت النتائج أن زيادة عدد نقاط الضبط وتحسين توزيعها يعزز من دقة النماذج المنتجة ويقلل من الأخطاء في التقديرات الجغرافية. إضافة إلى ذلك، تم تطبيق عملية معالجة دقيقة للبيانات الجوية باستخدام برنامج Agisoft Metashape Professional، مما أدى إلى إنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بدقة تصل إلى السنتيمترات. هذه النتائج تعزز من موثوقية استخدام تقنيات الدرونز في مشاريع المساحة التي تتطلب دقة عالية، حيث أثبتت أنها تقدم حلولاً

فعالة وموثوقة بتكلفة منخفضة وفي وقت قصير. توضح الدراسة أهمية اختيار الإعدادات والمعايير الصحيحة لتحقيق أعلى مستوى من الدقة والموثوقية في الأعمال المساحية باستخدام طائرات الدرونز، مما يفتح آفاقاً واسعة لاستخدام هذه التقنية في المشاريع الهندسية المختلفة.

منهجية والية استخدام الطائرات رباعية المراوح في المشاريع المساحية



نتائج مقارنة الدقة بين دراستي حالة في تقنيات المسح الجوي

نتائج مقارنة الدقة بين دراستي الحالة في تقنيات المسح الجوي تكشف عن رؤى مهمة حول فعالية المنهجيات المستخدمة وتأثير الظروف الجغرافية والبيئية على دقة النتائج المتحصلة.

تم تحليل المشروع الأول (منطقة صغيرة المساحة نسبياً في قرية سريس) على ثلاث مراحل، بينما تم تحليل المشروع الثاني (مشروع طريق في قرية عراق بورين) على أربع مراحل، حيث تم استخدام عدد متغير من نقاط الضبط الأرضي (GCPs) ونقاط التحقق لتقييم ودقة نماذج المسح والتحقق من صحتها.

في المشروع الأول، بدأت المرحلة الأولى باستخدام نموذج يحتوي على 3 نقاط ضبط أرضي و 6 نقاط تحقق. خدمت هذه المرحلة كنقطة انطلاق لتقييم الدقة باستخدام عدد محدود من نقاط الضبط. في المرحلة الثانية، تم زيادة عدد نقاط الضبط الأرضي إلى 5 مع 4 نقاط تحقق، مما سمح بتحليل أكثر تفصيلاً للتضاريس، ونتج عنه تحسين ملحوظ في الدقة مقارنة بالمرحلة الأولى. في المرحلة الأخيرة، تم تعزيز النموذج بشكل أكبر باستخدام 8 نقاط ضبط أرضي ونقطة تحقق واحدة. وصل النموذج النهائي إلى دقة إجمالية تبلغ 1.26 سم، وكانت أعلى دقة فردية 2.33 سم، وهو ما يتماشى بشكل وثيق مع دقة نقطة التحقق التي بلغت 2.08 سم. على الرغم من وجود نقطة تحقق واحدة فقط، إلا أن المرحلة الأخيرة اعتُبرت الأكثر موثوقية للاعتماد عليها في المهام المساحية ذات الدقة العالية، حيث توفر مستوى مقبولاً من الدقة للاستخدام في التطبيقات الجيومكانية الدقيقة، وتم التحقق من دقة وموثوقية هذا النموذج باختيار 20 نقطة تحقق إضافية، (كان من بينها 11 نقطة ضبط كاملة، 4 نقاط أفقية، 5 نقاط رأسية)، وبلغ معدل الخطأ الأفقي (RMSE Horizontal) في 15 نقطة ضبط أفقية (11 نقطة ضبط كاملة، 4 نقاط أفقية)، RMSE Est يساوي ± 2.5 سم، RMSE North يساوي ± 2.4 سم، وبلغ معامل الخطأ الرأسي (RMSE Vertical) في 16 نقطة ضبط رأسية (11 نقطة ضبط كاملة، 5 نقاط رأسية) يساوي ± 4.3 سم.

وبالمثل، تم تحليل المشروع الثاني على أربع مراحل، بدأت المرحلة الأولى باستخدام 3 نقاط ضبط أرضي و7 نقاط تحقق. بلغت الأخطاء في هذه المرحلة 0.29 سم و5.2 سم لنقاط الضبط الأرضي ونقاط التحقق على التوالي. في المرحلة الثانية، تم زيادة عدد نقاط الضبط الأرضي إلى 5 مع الحفاظ على 5 نقاط تحقق، مما أدى إلى أخطاء بلغت 0.56 سم و3.7 سم على التوالي. وعلى الرغم من دقة النتائج في هذه المرحلة، إلا أن نقص التحقق الكافي من نقاط الضبط الأرضي يعني أن موثوقية هذه النتائج لم تكن مضمونة بالكامل. في المرحلة الثالثة، تم استخدام 7 نقاط ضبط أرضي و3 نقاط تحقق، مما أسفر عن أخطاء بلغت 1.17 سم و2.87 سم على التوالي. أخيراً، تم في المرحلة الرابعة استخدام 9 نقاط ضبط أرضي ونقطة تحقق واحدة، حيث بلغت الأخطاء 1.30 سم و1.59 سم على التوالي. تشير التقارب الكبير بين الأخطاء في نقاط الضبط ونقاط التحقق في هذه المرحلة إلى مستوى أعلى من الثقة في النتائج. ولتحقق من دقة هذا النموذج تم اختيار 20 نقطة تحقق اضافي (كان من بين هذه النقاط المرصودة 6 نقاط ضبط كاملة، 7 نقاط أفقية، 7 نقاط رأسية)، وبلغ معدل الخطأ الأفقي في 13 نقطة ضبط أفقية (6 نقاط ضبط كاملة، 7 نقاط أفقية)، $RMSE\ EST$ يساوي 2.9 سم، $RMSE\ North$ يساوي 2.8 سم. بينما بلغ معدل الخطأ الرأسي في 13 نقطة ضبط رأسية (6 نقاط ضبط كاملة، 7 نقاط رأسية)، $RMSE\ V$ يساوي 2.3 سم. وبناء على هذه النتائج يجعل هذا النموذج الأكثر ملاءمة للأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية فهي قريبة من دقة جهاز التوقيع الكوني (GNSS).

تشير المقارنة بين المشروعين إلى أهمية زيادة عدد نقاط الضبط الأرضي بشكل منهجي لتحسين الدقة. وقد أظهرت كلا المشروعين أن النماذج النهائية، التي تم تطويرها باستخدام أقصى عدد من نقاط الضبط، كانت الأكثر دقة وموثوقية. يعتبر هذا النهج المرهق أمرًا حاسمًا لضمان دقة المسوحات الجوية، خاصة في التضاريس المتنوعة والصعبة. كما يبرز ضرورة اختيار تقنيات المسح المناسبة وتوزيع نقاط الضبط الأرضي بشكل استراتيجي لتتناسب مع الظروف الخاصة بكل مشروع.

النتائج والتوصيات

النتائج

هذه الدراسة تقدم نظرة شاملة ومعمقة على التطورات السريعة في مجال المسح الهندسي نتيجة للتقدم التكنولوجي المتسارع والحاجة الماسة في السوق لحلول دقيقة وسريعة واقتصادية. تُعد طرق المسح الأرضي التقليدية دقيقة ولكنها تتطلب تكاليف عالية ووقت طويل وجهد بشري كبير، خصوصًا في التضاريس الصعبة مثل الجبال والمستنقعات. لذا، تم التوجه نحو استخدام طرق غير تقليدية مثل التصوير الجوي، الذي يمكن من جمع بيانات واسعة ودقيقة دون الحاجة إلى قوى عاملة كبيرة أو الوصول إلى مناطق صعبة.

استخدام الطائرات بدون طيار أدى إلى تقليل الموارد اللازمة لعمليات أكثر كفاءة، مما ساهم في خفض التكاليف والمخاطر البشرية. تنوع استخدام الطائرات بدون طيار يرجع إلى سهولة استخدامها وبساطة آليات تشغيلها، حيث لا تحتاج إلى مستخدمين ذوي خبرة عالية. ومع ذلك، تُعتبر معايرة الكاميرا المستخدمة في هذه الطائرات ضرورية لتحديد عناصر التوجيه الداخلي وتحديد التشوهات الهندسية، كما تضمن معايرة البوصلة دقة اتجاه الطيران والموقع.

اختيار الوقت المناسب لالتقاط الصور الجوية ذات الدقة العالية أمر حاسم لنجاح مهام المسح الهندسي. يعتبر الوقت المثالي لالتقاط الصور عندما تكون الشمس في وضع عمودي حوالي منتصف النهار لتحقيق أقصى استفادة من الضوء وتقليل تشويه الظل، مع ضبط إعدادات الكاميرا بما يتناسب مع ذلك.

الأهداف الصغيرة بقطر 10 سم تكون فعالة على ارتفاعات منخفضة ومتوسطة حيث يسهل التعرف عليها وتحديد مركزها بدقة. أما الأهداف الكبيرة بقطر 15 سم فلا ينصح باستخدامها على ارتفاعات منخفضة لأنها تؤدي إلى تشويه الصور وتغطية بعض المعالم، ولكنها تكون فعالة على ارتفاعات متوسطة وعالية.

يعتمد نجاح مشروع المسح الجوي وجودة الصور المنتجة على تصميم خطط طيران جيدة واختيار إعدادات مقياس مناسبة لتحقيق أعلى دقة ممكنة من الصور الجوية الملتقطة. يجب توزيع نقاط التحكم الأرضية بشكل مناسب قبل جلسة التصوير الجوي في مواقع معيارية، ويفضل أن تكون في أماكن تكرر فيها التصوير الجوي لإمكانية إعادة استخدامها.

تم تحليل البيانات ومعالجة النماذج لمشروعين مختلفين. الأول في قطعة أرض صغيرة حيث تم استخدام ثلاث مراحل مختلفة من نقاط التحكم الأرضية ونقاط التحقق لتحقيق أعلى دقة ممكنة. النموذج الثالث الذي اعتمد على ثماني نقاط تحكم أرضية ونقطة تحقق واحدة قدم دقة ممتازة بمعدل خطأ أفقي ورأسي منخفض، مما يجعله موثوقاً لمهام المسح التي تتطلب دقة عالية (2-3 سم). المشروع الثاني، وهو مشروع طرق، تمت معالجته عبر أربع مراحل تحليلية مع نقاط تحكم أرضية وتحقق متعددة، موضحاً قيم الخطأ في كل مرحلة ومؤكداً على دقة النموذج لاستخدامه في المسوحات الدقيقة بالقرب من دقة نظام التنقل العالمي (GNSS).

التوصيات

تُقدم هذه الدراسة مجموعة من التوصيات الأساسية لتعزيز فعالية استخدام تقنيات الطائرات بدون طيار في المسح الجوي، مستندة إلى التحليلات والنتائج التي توصلت إليها، وهي موجهة بشكل خاص إلى الهيئات الرسمية مثل دائرة المساحة، دوائر التخطيط، أو البلديات، وتقتصر كيف يمكن لطلاب آخرين أن يبنوا على هذا العمل:

1. توسيع استخدام الطائرات رباعية المراوح: نوصي بزيادة استخدام هذه الطائرات في مشاريع المسح الجوي بسبب دقتها المتناهية وقدرتها الفائقة على جمع البيانات بكفاءة. يُمكن للبلديات ودوائر التخطيط الاستفادة من هذه التكنولوجيا في مشاريع التخطيط الحضري والإعلام، وتوفير دورات تدريبية للفنيين لرفع كفاءتهم في التعامل مع هذه التقنيات.

2. تطوير البرمجيات وتحسينها باستمرار: يوصى باستخدام الطائرات رباعية المراوح في تطوير برامج مثل Geomoleg ، والتي تعد قاعدة بيانات جغرافية متميزة، لدراسة استعمالات الأراضي وتأثير الزحف الاستيطاني، مما يتيح استخدام هذه التكنولوجيا في تحديث البيانات الجغرافية بشكل دوري.

3. الاهتمام بدقة توزيع نقاط الضبط الأرضية: يجب على دوائر المساحة والبلديات التأكيد على أهمية توزيع نقاط الضبط الأرضية بشكل مدروس ومتوازن قبل بدء عمليات المسح الجوي لتعزيز دقة النتائج النهائية وتقليل معدل الأخطاء.

4. استخدام الطائرات رباعية المراوح في مشاريع شق الطرق: توصي الدراسة البلديات ومهندسي الطرق باستخدام هذه التكنولوجيا لأنها تساعد في تقديم نظرة أولية وشاملة عن إمكانيات شق الطرق من خلال التعرف على تضاريس المنطقة.

5. تعزيز الاستفادة من تقنية Ortho Mosaic يوصى باستخدام هذه التقنية بشكل أكثر فعالية لتحسين جودة الصور ودقة الخرائط المساحية، مما يدعم المشاريع الهندسية والتخطيط العمراني.

6. تعزيز التعاون بين المؤسسات: يشدد على أهمية توطيد الشراكات بين الجامعات، الدوائر الحكومية، والقطاع الخاص لتبادل الخبرات والمعرفة، مما يدعم الابتكار والتقدم في مجال المسح الجوي.

يمكن الاستفادة من تطوير تقنيات جديدة للتصوير الجوي أو تحليل البيانات المجمع لتقديم حلول مبتكرة في التخطيط العمراني وإدارة الموارد الطبيعية.

المراجع العلمية

أولاً: المراجع العربية

أبو دبش، محمد (2012). معجم الطيران. بيروت: دار الكتب العلمية.

أراجيك (د.ت). كيف تعمل الطائرات بدون طيار. <https://www.arageek.com/>

الأسمرى، عبد الله (2019). أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وأهمية منتجاتها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد: دراسة نظرية. مجلة بحوث كلية الآداب، جامعة المنوفية، مصر، العدد(117)، ص1_40.

الأمم المتحدة (2012). النظم العالمية لسواتل الملاحة. نيويورك: مكتب شؤون الفضاء في الأمم المتحدة.

أندرو، لون (2017). ما هذا الطنين: التأثيرات على مستوى المدينة لعمليات التسليم بواسطة الطائرات بدون طيار. مؤسسة RAND، سانتا مونيكا، كاليفورنيا.

بن تومي، سليمة وآخرون (2016). الاستخدامات المدنية للطائرات بدون طيار: المجال الإعلامي نموذجاً. رسالة ماجستير، جامعة 8ماي، الجزائر.

الحسن، أحمد وعلي، عباس (2008). الاستشعار عن بعد واستخداماته في علم الآثار. بحث جامعي، جامعة السلطان قابوس، عمان.

الخليل، عمر وعلي، أحمد (2014). النمذجة ثلاثية الأبعاد للمناطق الحضرية باستخدام برامج المساحة التصويرية القريبة ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. سلسلة العلوم الهندسية، مصر، 36(6)، ص27_40.

الخليل، عمر وفحصة، إياد (2019). طريقة تحديد البنية انطلاقاً من الحركة كحل بديل لإنتاج الخرائط الصورية للمناطق الممتدة. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية. سلسلة العلوم الهندسية، مصر، 41(2)، ص319_332.

داود، جمعة (2012). مقدمة في الصور الجوية والمرئيات الفضائية. (د.ن)، مكة المكرمة، السعودية.

الذهب، علي (2019). الطائرات دون طيار: التقنية والأثر العسكري والاستراتيجي. مركز الجزيرة للدراسات، الجزيرة نت، 5١3.

الراوي، طه (2020). الـDrones كل ما تحب معرفته عن تاريخ واستخدامات الطائرات المسييرة. موقع نون بوست: <https://www.noonpost.com/content/35512>

الرويشد، سليمان (2005). دليل المسح الأرضي. مشروع تطوير مناهج العمل المساحي في البلديات، المملكة العربية السعودية: وزارة الشؤون البلدية والقروية، الإدارة العامة للمساحة والخرائط.

سعيد، محمد (د.ت). النظام العالمي لتحديد المواقع. جامعة الإمارات العربية المتحدة: برنامج الجغرافيا.

سعيد، هالة وهادي، خلود (2010). أهمية دراسة نموذج الارتفاع الرقمي DEM وتطبيقاته المختلفة. مجلة ديالى، العراق، العدد(43)، 175_189.

الشمري، أحمد (2007). نظم المعلومات الجغرافية من البداية. تنقيح ومراجعة فرح العكيلي، العراق: (د.ن).

شولي، منار (2008). دراسة غطاءات الأراضي في منطقة نابلس باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد. رسالة ماجستير، جامعة النجاح الوطنية، فلسطين.

الصالح، محمد (2010). معالجة صور الاستشعار عن بعد الرقمية باستخدام برنامج الويس. الرياض: جامعة الملك سعود.

الطائي، سبهان (2010). التنويه في المساقط وأنظمة إحداثياتها. مجلة أبحاث كلية التربية الأساسية، الموصل، 10(3)، ص336_354.

عباس، علي وعلي، صباح (د.ت). استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي لنماذج مختارة من شمال العراق، بحث جامعي، جامعة الموصل، العراق.

عبد الله، عبد الفتاح (2006). أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد. الرياض: مكتبة الرشد.

عبد الهادي، عبد رب النبي (2010). الاستشعار عن بعد أساسيات وتطبيقات. بحث جامعي، كلية الزراعة، قسم الموارد الطبيعية والهندسة الزراعية، جامعة دمنهور، مصر.

كتاب وزبي وزبي (2019). أبرز استخدامات نظام GNSS. موقع سطور الإلكتروني، على الرابط: <https://sotor.com>، تاريخ الدخول 2020\1\21، الساعة 10: 35

المخلافي، علي وشميت، فابيان (2013). كيف تعمل الطائرات بدون طيار. الرئيسة، علوم وتكنولوجيا: <https://www.dw.com/ar>

منظمة الطيران المدني الدولي (2018). تحسين النظام العالمي للملاحة الجوية: المسائل الأخرى المتعلقة بإدارة الحركة الجوية. ورقة مقدمة من مونتريال، كندا، المؤتمر الثالث عشر للملاحة الجوية، 10\19_9.

المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني (2005). المساحة التصويرية. الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.

المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني (2010). نظام تحديد المواقع العالمي. الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية.

الموسوعة المعرفية الشاملة (2019)، على الرابط: <https://www.marefa.org>، تاريخ الدخول 7:25 :2019\1\25

مؤمن، طاهر (2017). النظام القانوني للطائرات دون طيار Les Drones. مصر: دار النهضة للنشر والتوزيع.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Aasen, H., Honkavaara, E., Lucieer, A., & Zarco-Tejada, P. J. (2018). Quantitative remote sensing at ultra-high resolution with UAV spectroscopy: a review of sensor technology, measurement procedures, and data correction workflows. *Remote Sensing*, 10(7), 1091.

Authority of Natural Resources (1993). GPS POSITIONING GUIDE. Geomatics Canada

Baba, Y. et al (2006). EMERGENCY REPORT CELLULAR PHONE, CELLULAR CONNECTION SWITCHING METHOD AND GPS POSITONING METHOD. 45(10), P4_44.

Birutė, R. et al. (2012). SCANNING AERIAL PHOTOS USING A NON-PROFESSIONAL SCANNER. taylor and francis group, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press Technika, 38(3), P118_121.

Calluso, S., Meduri, G. M., Gullace, V., Manti, M. P., & Genovese, E. (2023, October). Measurement Accuracy Assessment in 3D Models Derived from Drone Surveys. In International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023» (Vol. 2023, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

Canada. Ca (2015). Digital Image Processing. Natural Resources Canada. [magery-air-photos/remote-sensing-tutorials/image-interpretation-analysis/digital-image-processing/9279](https://www.nrc.ca/magery-air-photos/remote-sensing-tutorials/image-interpretation-analysis/digital-image-processing/9279).

- Choi, K., & Lee, I. (2012). A sequential aerial triangulation algorithm for real-time georeferencing of image sequences acquired by an airborne multi-sensor system. *Remote sensing*, 5(1), 57-82.
- Coops, N. et al. (2015). The use of image processing systems for the analysis of digitised Aerial Photography. Research Gate, P1_16.
- Corrigan, F. (2019). How Do Drones Work And What Is Drone Technology. Drone Technology, Knowledge, News & Reviews, <https://www.dronezon.com>
- Ejaz, W., Ahmed, A., Mushtaq, A., & Ibnkahla, M. (2020). Energy-efficient task scheduling and physiological assessment in disaster management using UAV-assisted networks. *Computer Communications*, 155, 150-157.
- GMV (2011). GLONASS General Introduction. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction
- González-Castaño, F. J., Gil-Castineira, F., Rodriguez-Pereira, D., Regueiro-Janeiro, J. Á., Garcia-Mendez, S., & Candal-Ventureira, D. (2020). Self-corrective sensor fusion for drone positioning in indoor facilities. *IEEE Access*, 9, 2415-2427.
- Heliceo.(2019). Professional drone surveying applications. Geomatic Innovation &Technology, <http://www.heliceo.com/en/industries/drone-surveying-applications/>.
- Hung, L. Wang, Y. Cheah,W.(2012). Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification. In *Procedia Engineering*,42,P 1002 - 1008.
- Ijaz, H., Ahmad, R., Ahmed, R., Ahmad, W., Kai, Y., & Jun, W. (2023). A UAV assisted edge framework for real-time disaster management. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- John, C.(2019). Russia Upgrades GLONASS Satellite Navigation System as Concerns Rise About Its Use in ‘Spoofing’ Incidents. *Eurasia Daily Monitor*, 16(96), P103_117.
- John, M. et al (2009). The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales, Sydney, Australia, Springer-Verlag, P191_198.
- Karmacharya, S. et al. (2019). Application of ‘Structure from Motion’ (SfM) technique in physical hydraulic modeling. *Journal of Physics Conference Series*.
- Kevin, G.(2008). A General Theory for Inertial Navigator Error Modeling. Research Gate.
- Kinkg, A. (1998). Inertial Navigation – Forty Years of Evolution. *GEC REVIEW*, 13(3), P140_149.

- Mills, J., Newton, I., Graham, R. (2009). Aerial photography for survey purposes with a high resolution, small format, digital camera. *Photogrammetric Record*, 15(88): 575–587
- Natalizio, E. and Erdelj, E. (2016). UAV-assisted disaster management: Applications and open issues. *International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Kauai, United States. Submitted on 21 Apr, P 1_5.
- Qi, W., Li, F., & Zhenzhong, L. (2010, May). Review on camera calibration. In 2010 Chinese control and decision conference (pp. 3354-3358). IEEE.
- Qiming, Z. et al (2008). *Advances in Digital Terrain Analysis: The TADTM Initiative*. https://www.researchgate.net/publication/226446012_Advances_in_Digital_Terrain_in_Analysis_The_TADTM_Initiative/link/541172980cf29e4a23295f60/download
- Sean, P. et al.(2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, highresolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, (69), P163_178.
- Shakhatreh, H. et al (2018). *Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges*. arXiv:1805.00881v1 [cs.RO] 19 Apr.
- Tamimi, R., & Toth, C. (2024). Accuracy Assessment of UAV LiDAR Compared to Traditional Total Station for Geospatial Data Collection in Land Surveying Contexts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 421-426.
- Wang, B., Sun, Y., Zhao, N., & Gui, G. (2020). Learn to coloring: Fast response to perturbation in UAV-assisted disaster relief networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(3), 3505-3509.
- Wingtra (2019). SURVEYING WITH A DRONE. <https://wingtra.com/drone-mapping-applications/surveying-gis>











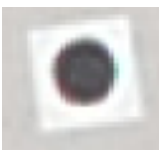





الملاحق





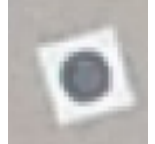




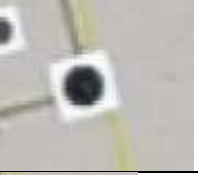




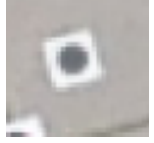





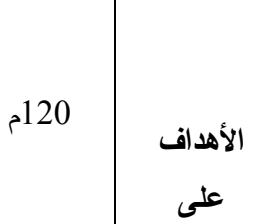







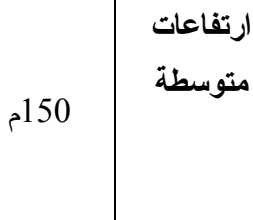



ملحق (أ)

الجداول

جدول (2)

توزيع الاهداف على ارتفاعات مختلفة

الهدف الرابع		الهدف الثالث		الهدف الثاني		الهدف الأول		الارتفاع High	
الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)		
								30م	الأهداف على ارتفاعات منخفضة
								50م	









الهدف الرابع		الهدف الثالث		الهدف الثاني		الهدف الأول		الارتفاع High	
الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)		
								60م	
								100م	
								120م	الأهداف على ارتفاعات متوسطة
								150م	









الهدف الرابع		الهدف الثالث		الهدف الثاني		الهدف الأول		الارتفاع High	
الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)	الأهداف الصغيرة (B)	الأهداف الكبيرة (A)		
								200م	الأهداف على ارتفاعات عالية
								240م	
								300م	









جدول (3)

دقة وضوح الأهداف أثناء حركة الطائرة على ارتفاعات مختلفة وبمعاملات العناصر الأساسية للتصوير

الجوي


الصور الجوية الملتقطة		اعدادات الكاميرا
سرعة الطائرة 5م/ث		
ارتفاع الطائرة 100 م	ارتفاع الطائرة 50 م	
		فتحة العدسة 6.3 سرعة الغالق 1/320 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 5.6 سرعة الغالق 1/400 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1000 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1600 حساسية الضوء 100

الصور الجوية الملتقطة		اعدادات الكاميرا
سرعة الطائرة 7م/ث		
ارتفاع الطائرة 100 م	ارتفاع الطائرة 50 م	
		فتحة العدسة 6.3 سرعة الغالق 1/320 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 5.6 سرعة الغالق 1/400 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1000 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1600 حساسية الضوء 100

الصور الجوية الملتقطة		اعدادات الكاميرا
سرعة الطائرة 10م/ث		
ارتفاع الطائرة 100 م	ارتفاع الطائرة 50 م	
		فتحة العدسة 6.3 سرعة الغالق 1/320 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 5.6 سرعة الغالق 1/400 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1000 حساسية الضوء 100
		فتحة العدسة 2.8 سرعة الغالق 1/1600 حساسية الضوء 100

جدول (4)

توزيع 9 نقاط ضبط أرضية (GCPs) في منطقة الدراسة (قرية سريس)

اسم النقطة	موقعها	صورتها	عدد الصور التي ظهرت بها النقطة في مشروع التصوير
200	على حاووز ماء		54
201	على حجر، تبعد مسافة 50م عن النقطة رقم 200		44
202	على طريق اسفلتي		51
203	على سطح بناء (يرتفع طابقين عن سطح الأرض)		51
204	على صخرة		54
205	على صخرة		59

عدد الصور التي ظهرت بها النقطة في مشروع التصوير	صورتها	موقعها	اسم النقطة
42		على صخرة	206
38		على بقعة من الباطون قرب الاسفلت	207
46		على شارع اسفلتي	208





جدول (14)




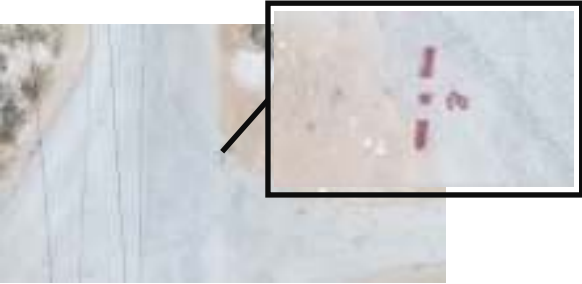
فرق الاحداثيات بين نقاط التحكم الأرضية لمشروع الطرق



point	احداثيات (X)	احداثيات (Y)	(m) Distance	المجموع التراكمي
1	173190.0785	179285.784	—	—
2	173157.0411	179361.4738	82.59	82.59
3	173132.3006	179421.7094	65.12	147.71
4	173051.78	179483.4501	101.45	249.16
5	173004.8347	179526.7728	63.88	313.04
6	173043.4821	179574.0804	61.09	374.13
7	173116.671	179644.69	101.70	475.83
8	173159.9927	179665.9433	48.25	524.08
9	173217.6712	179659.8362	58.00	582.08
10	173238.5574	179692.8801	39.09	621.17

جدول (15)

مقارنة شكل نقاط الضبط الأرضي ووضوحهم بالنسبة للاختلاف في الارتفاع لمشروع الطرق

ارتفاع الطائرة الدرونز (Altitude) فوق نقاط GCPs	عدد الصور الجوية التي تكرر ظهور النقطة فيها	موقع نقطة GCPs على الصورة الجوية ودرجة وضوحها	رقم النقطة
70.93م	24		1
72.95م	25		2
72.31م	25		3
76.20م	23		4

ارتفاع الطائرة الدرونز (Altitude) فوق نقاط GCPs	عدد الصور الجوية التي تكرر ظهور النقطة فيها	موقع نقطة GCPs على الصورة الجوية ودرجة وضوحها	رقم النقطة
76.28م	32		5
67.47م	32		6
51.65م	26		7
49.87م	20		8

ارتفاع الطائرة الدرونز (Altitude) فوق نقاط GCPs	عدد الصور الجوية التي تكرر ظهور النقطة فيها	موقع نقطة GCPs على الصورة الجوية ودرجة وضوحها	رقم النقطة
48.69م	20		9
49.82م	11		10

جدول (16)

نتائج معاملات المعايرة ومصفوفة الارتباط والأخطاء

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3655.06	0.46	1.00	-0.19	0.52	-0.17	-0.07	0.20	-0.17	0.15
Cx	-2.19943	0.01		1.00	-0.10	0.07	0.04	-0.07	0.52	-0.02
Cy	27.483	0.009			1.00	-0.09	-0.04	0.11	-0.09	0.46
K1	-0.00575818	8.6e-06				1.00	-0.88	0.78	0.06	-0.01
K2	-0.00363476	2.2e-05					1.00	-0.97	-0.01	-0.02
K3	0.00531836	1.9e-05						1.00	-0.01	0.03
P1	-0.000683526	6.1e-07							1.00	-0.02
P2	0.00074757	5.7e-07								1.00

جدول (17)

تحليل نتائج نقاط الضبط الأرضي (GCPs) لمشروع الطرق

N.GCPs	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
3	0.429613	0.269475	0.0354226	0.508369	0.360
5	0.605485	0.384659	0.0614911	0.719969	00.393
7	0.924405	0.689138	0.195248	1.16943	0.445
9	0.829785	0.969789	0.19303	1.29085	0.436

جدول (18)

تحليل نقاط التحقق (check points) لمشروع الطرق

N.check points	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
7	1.35794	2.35571	2.83462	3.92791	0.284
5	1.3673	2.31808	3.7682	4.63059	0.241
3	2.00183	3.06833	3.67893	3.67893	0.247
1	0.475569	0.501541	1.42805	1.58652	0.502

جدول (19)

ضبط النموذج بالاعتماد على 20 نقطة تحقق (Check Points) في المشروع الثاني (مشروع الطريق)

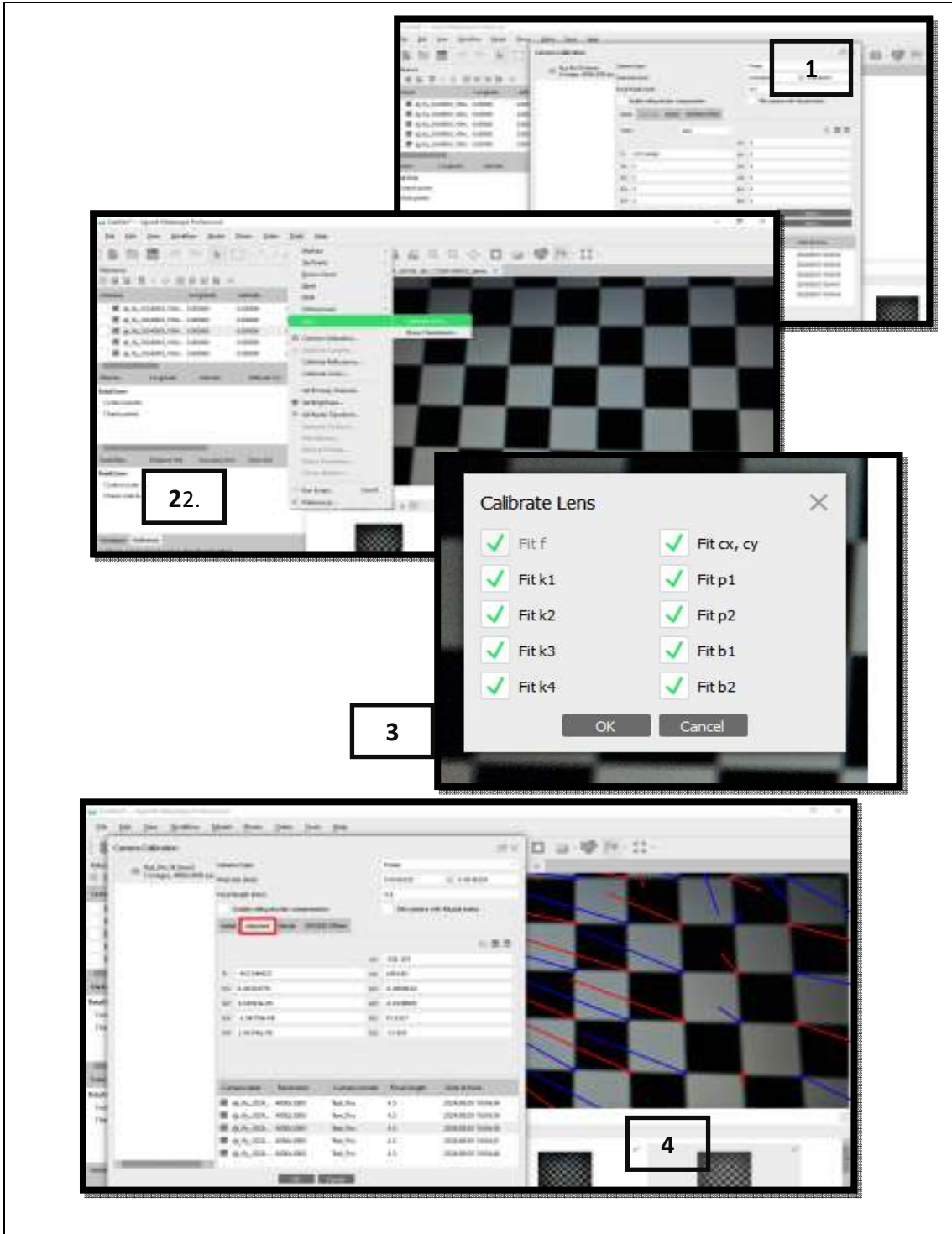
Point	Measured by GNSS			Description	Type	Measured from Orthophoto			Errors(m)			Errors of GNSS	
	East (m)	North(m)	Height(m)			East(m)	North(m)	Height(m)	East err (m)	north err(m)	vertical err(m)	H RMS	V RMS
9	173217.6712	179659.8362	790.5035	as	FULL	173217.6703	179659.833	790.527589	0.000941	0.003227	-0.024089	0.012	0.018
200	173234.2435	179686.0654	789.73	منهل	FULL	173234.282	179686.096	789.714	-0.0385	-0.0306	0.016	0.015	0.0222
201	173236.5869	179675.4924	790.3137	منهل	FULL	173236.6136	179675.5185	790.313	-0.026661	-0.026115	0.0007	0.015	0.022
202	173245.857	179679.9281	790.7375	علامة	FULL	173245.864	179679.954	790.69	-0.007	-0.0259	0.0475	0.0164	0.0278
301	173087.8123	179451.1722	763.462	حائط	FULL	173087.7753	179451.1948	763.484	0.037007	-0.022642	-0.022	0.0142	0.021
316	173182.1196	179326.3969	771.1828	حائط	FULL	173182.1566	179326.4105	771.178	-0.036967	-0.013617	0.0048	0.0149	0.024
203	173210.5845	179663.3814	790.5673	حائط	Horizontal	173210.6264	179663.4015	-----	-0.041936	-0.02014	-----	0.015	0.02
204	173172.0198	179676.0127	789.1685	حائط	Horizontal	173172.0684	179676.0385	-----	-0.048599	-0.025754	-----	0.015	0.02
305	173104.2506	179439.8799	764.6294	حائط	Horizontal	173104.235	179439.919	-----	0.015643	-0.039116	-----	0.0142	0.021
206	173111.9801	179646.3524	787.2755	حائط	Horizontal	173111.9873	179646.3861	-----	-0.00721	-0.033728	-----	0.0231	0.0394
211	173038.2242	179579.7361	771.0468	بناء	Horizontal	173038.239	179579.7707	-----	-0.014793	-0.0346	-----	0.0164	0.025
317	173189.4087	179312.495	771.6026	حائط	Horizontal	173189.4418	179312.5172	-----	-0.033129	-0.02222	-----	0.0142	0.021
213	173018.6395	179548.4916	767.0186	حائط	Horizontal	173018.6213	179548.4501	-----	0.018237	0.041532	-----	0.0153	0.023
208	173087.9811	179623.7091	780.2206	اسفلت	Vertical	-----	-----	780.239	-----	-----	-0.0184	0.0194	0.0336
212	173036.1729	179567.7512	770.2329	اسفلت	Vertical	-----	-----	770.215	-----	-----	0.0179	0.0142	0.02
306	173116.5599	179436.5639	765.7471	اسفلت	Vertical	-----	-----	765.782	-----	-----	-0.0349	0.0142	0.021
310	173134.4539	179396.9209	764.4338	اسفلت	Vertical	-----	-----	764.461	-----	-----	-0.0272	0.0142	0.022
314	173156.5411	179365.3646	765.8068	اسفلت	Vertical	-----	-----	765.82	-----	-----	-0.0132	0.0142	0.021
315	173179.8259	179324.1185	768.2053	اسفلت	Vertical	-----	-----	768.225	-----	-----	-0.0197	0.0149	0.023
319	173192.0634	179288.656	768.0621	اسفلت	Vertical	-----	-----	768.046	-----	-----	0.0161	0.0142	0.022

ملحق (ب)

الأشكال

شكل (10)

معايرة كاميرا الدرونز أثناء الطيران



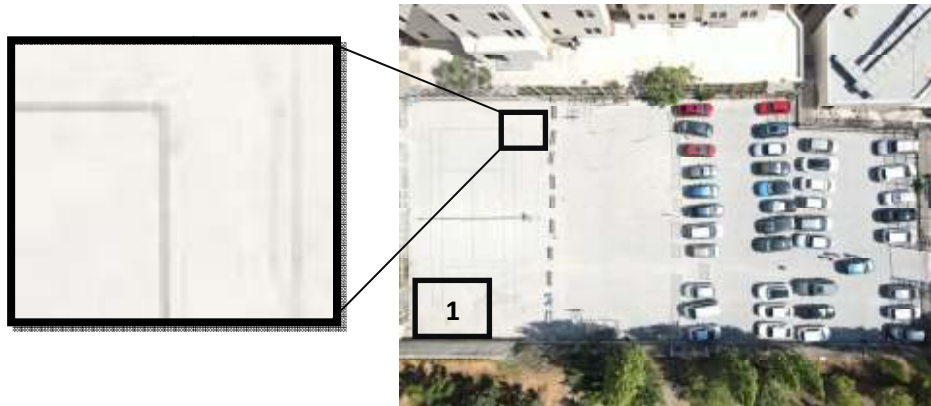
شكل (11)

ركائز اعدادات الكاميرا

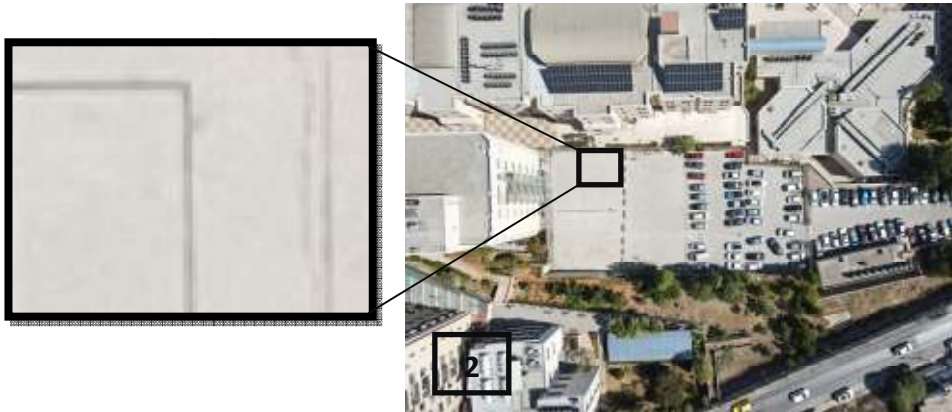


شكل (12)

حساسية المجس للضوء (ISO)



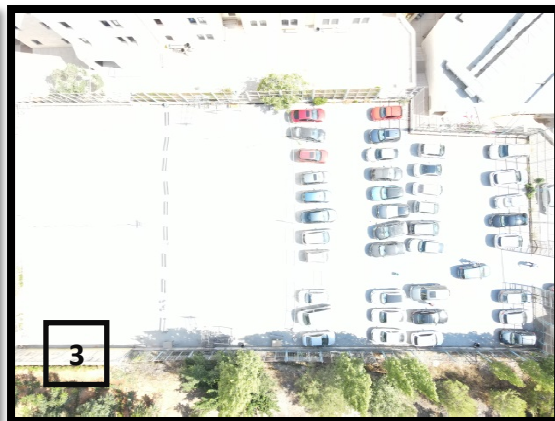
H 50, ISO 100



H 100, ISO 100



H100,ISO400



H50,ISO400

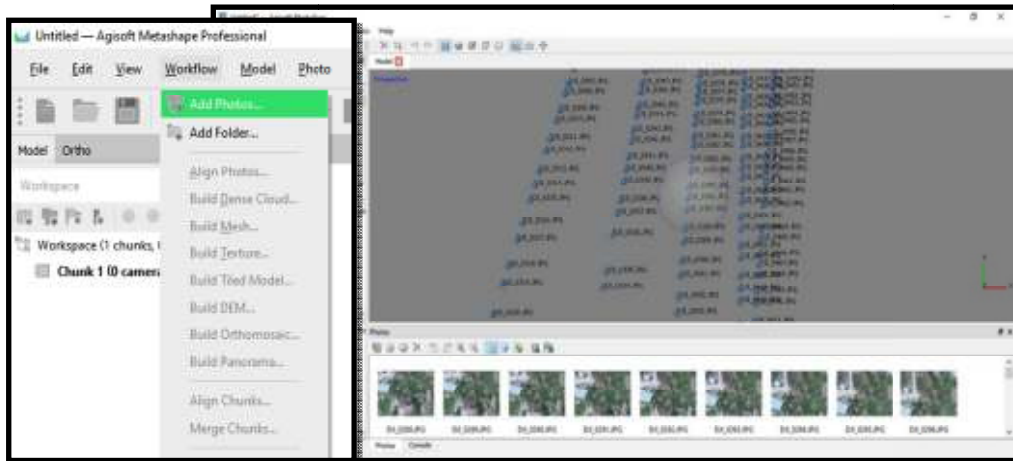
شكل (13)

منطقة الدراسة (قطعة أرض في قرية سيريس)، وتوزيع نقاط الضبط الأرضي عليها



شكل (14)

إضافة الصور إلى برنامج Agisoft Metashape



شكل (15)

تحويل الاحداثيات إلى احداثيات فلسطينية

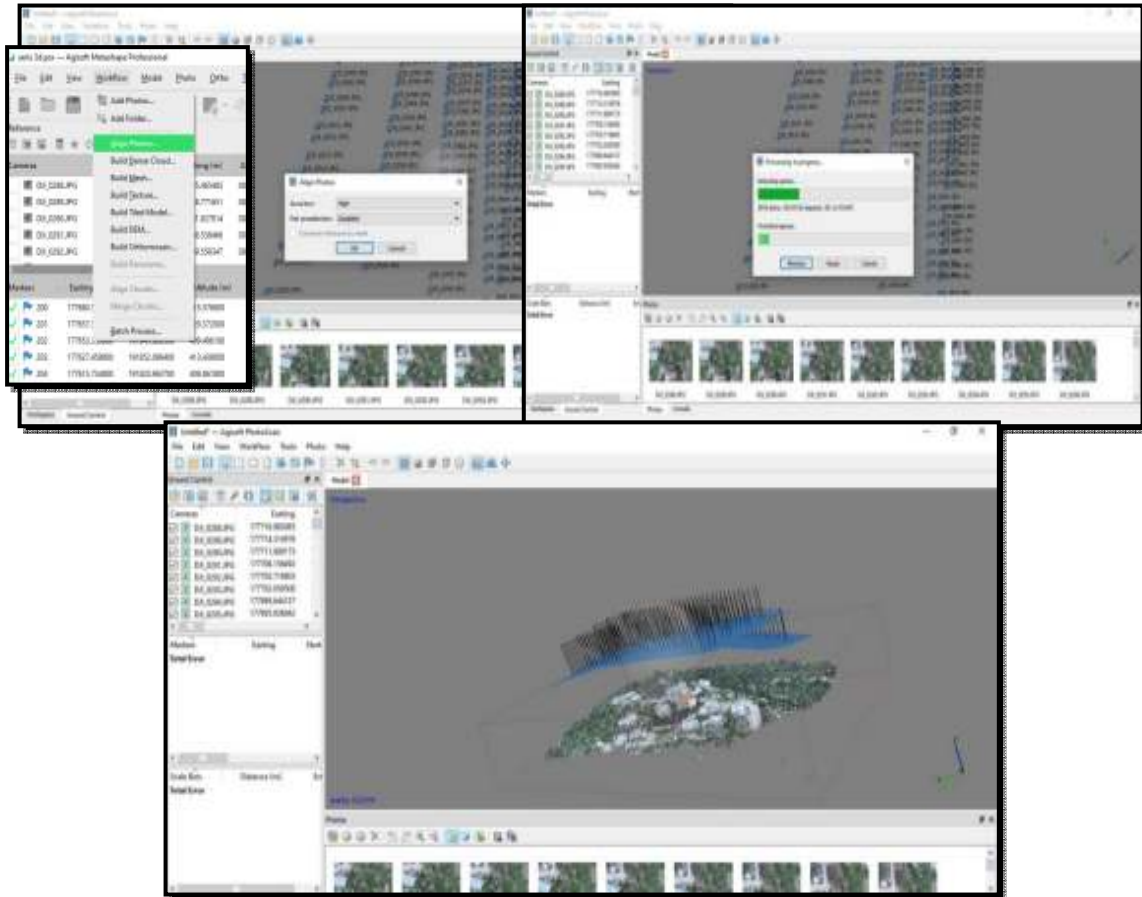
The image displays the process of converting camera coordinates to a local coordinate system. It includes a table of camera data, a dialog for selecting the 'Palestine 1923' coordinate system, and a final table of converted coordinates in meters.

Cameras	Longitude	Latitude
DJI_0382	35.291232	32.320285
DJI_0383	35.291193	32.320327
DJI_0384	35.291168	32.320355
DJI_0385	35.291128	32.320397

Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
DJI_04...	177525.636812	191895.593253	348.215083
DJI_04...	177525.636812	191895.593253	348.215083
DJI_04...	177529.299862	191890.981748	349.614993
DJI_04...	177531.758424	191887.964928	350.714931
DJI_04...	177535.295861	191883.436496	352.114845
DJI_04...	177537.780561	191880.441260	353.114782
DJI_04...	177541.454082	191875.839010	354.614691
DJI_04...	177543.758356	191872.778943	355.614636
DJI_04...	177547.374200	191868.225177	357.114547

شكل (16)

ربط الصور Align Photos



قياس نقاط الربط الارضي Ground Control Points

1

Import Reference	Easting (m)	Northing (m)
<input checked="" type="checkbox"/>	177716.983085	191795.465483
<input checked="" type="checkbox"/>	177714.314976	191796.771651
<input checked="" type="checkbox"/>	177711.809173	191801.927014
<input checked="" type="checkbox"/>	177798.156402	191806.539466
<input checked="" type="checkbox"/>	177705.718903	191806.538347
<input checked="" type="checkbox"/>	177792.050500	
<input checked="" type="checkbox"/>	177699.644137	
<input checked="" type="checkbox"/>	177695.926042	

2

3

Label	Longitude	Latitude	Altitude	Year	Block
1	200	177900.520	191899.593	411.759	MRK
2	201	177907.208	191774.040	430.036	MRK
3	202	177952.250	191843.893	404.461	MRK
4	203	177927.458	191833.894	411.439	MRK
5	204	177912.248	191832.467	429.015	MRK

4

Agisoft Metashape

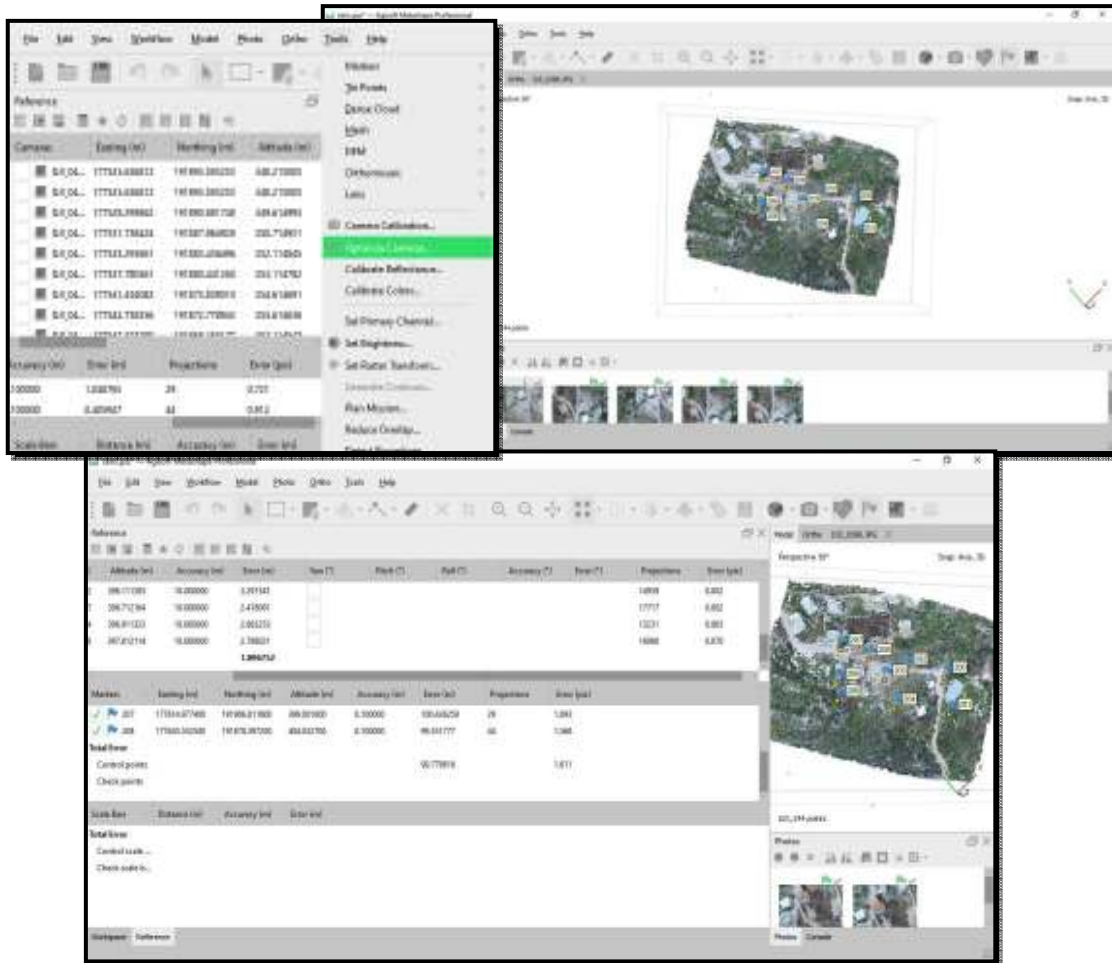
Can't find match for '200' entry. Create new marker?

Yes Yes to All No No to All

5

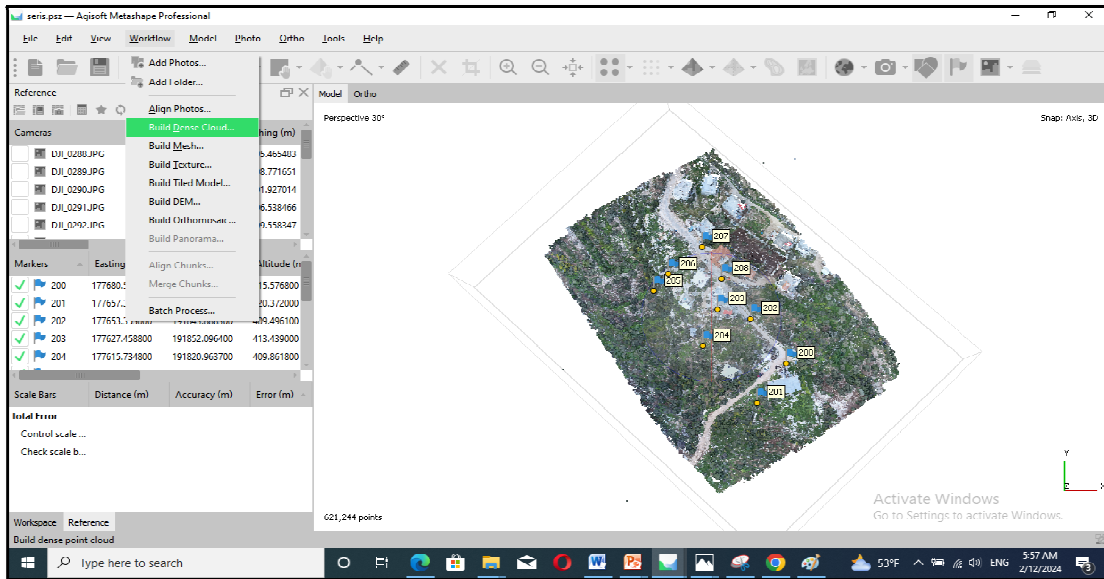
شكل (18)

تحسين معايرة الكاميرا Optimization of Camera Alignment



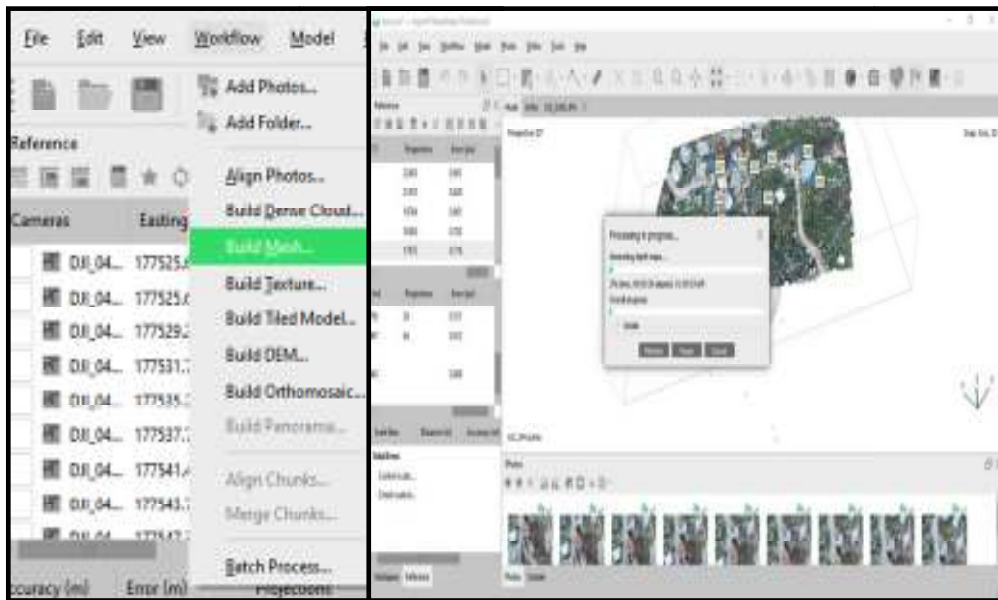
شكل (19)

انشاء سحابة نقطية كثيفة Build Dense Cloud



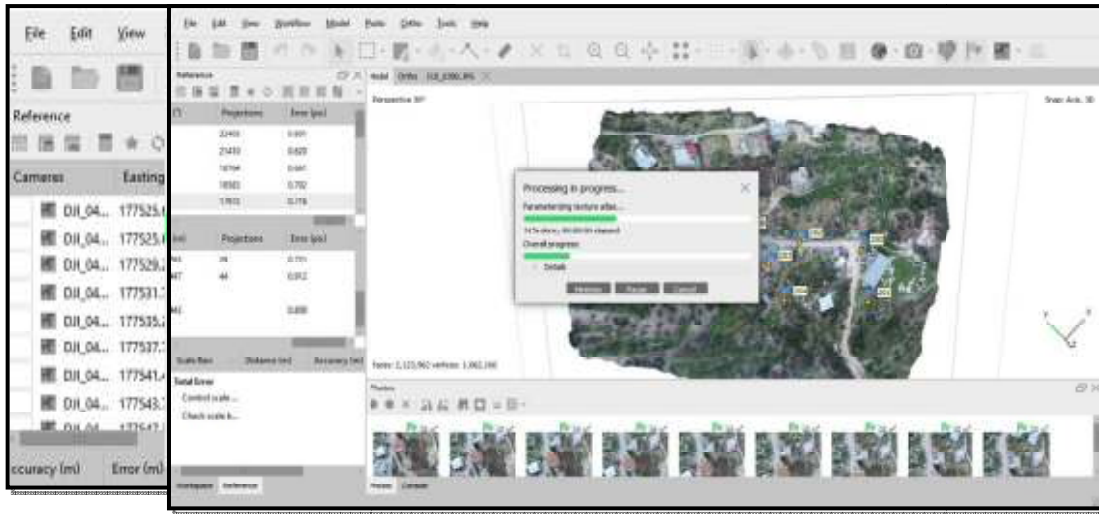
شكل (20)

انشاء نموذج شبكي build mesh



شكل (21)

نموذج ثلاثي الابعاد بالوان طبيعية *Build Texture*



شكل (22)

Build DEM

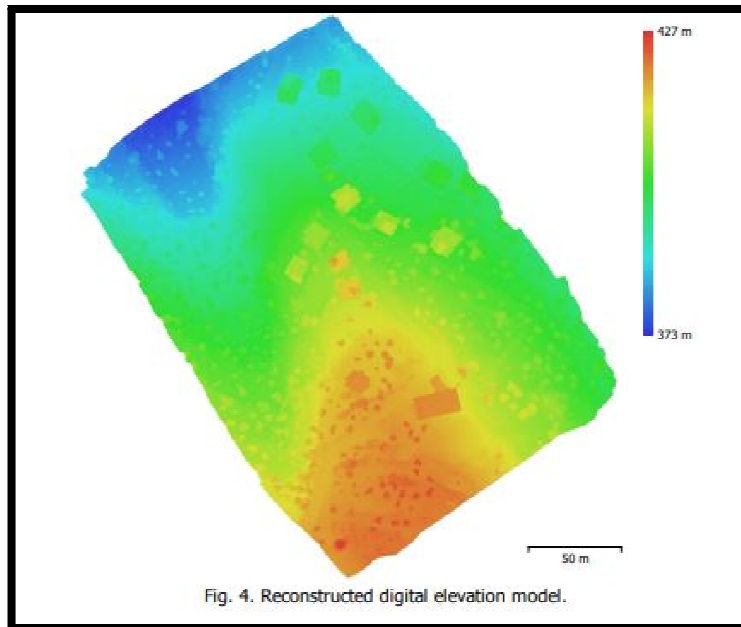
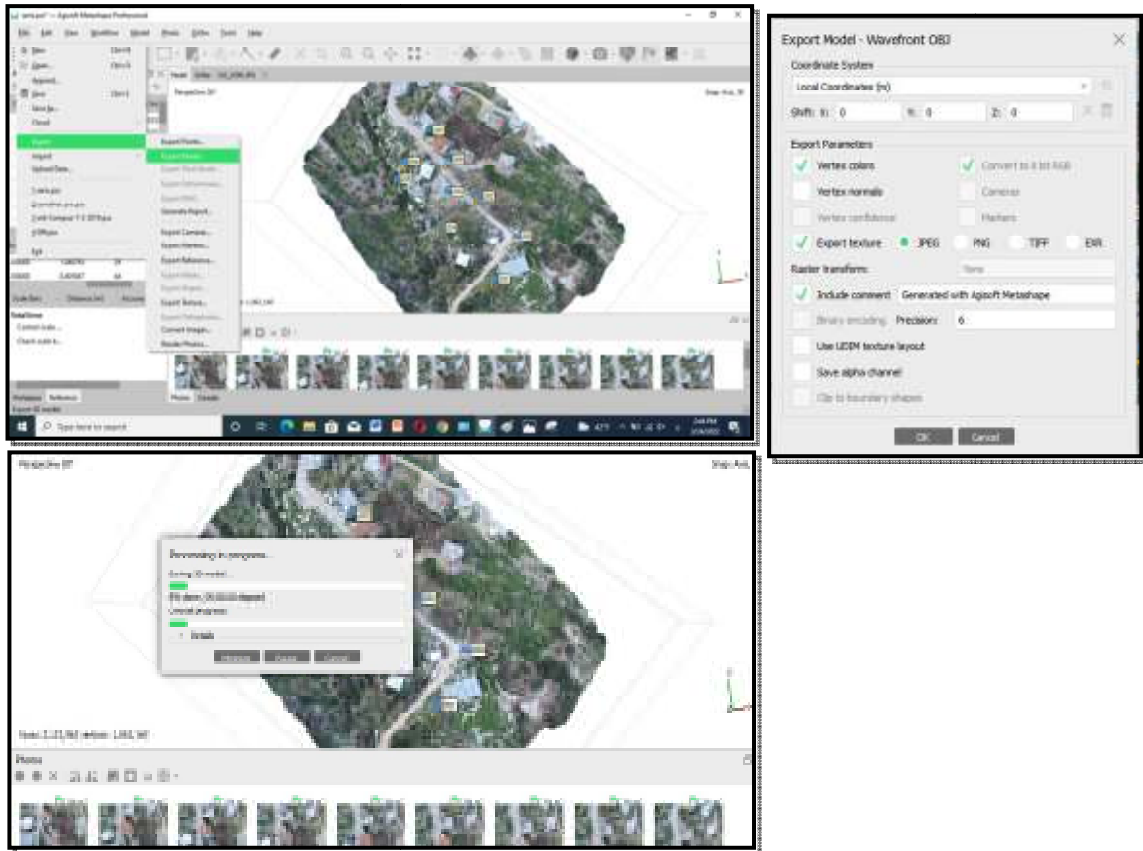


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

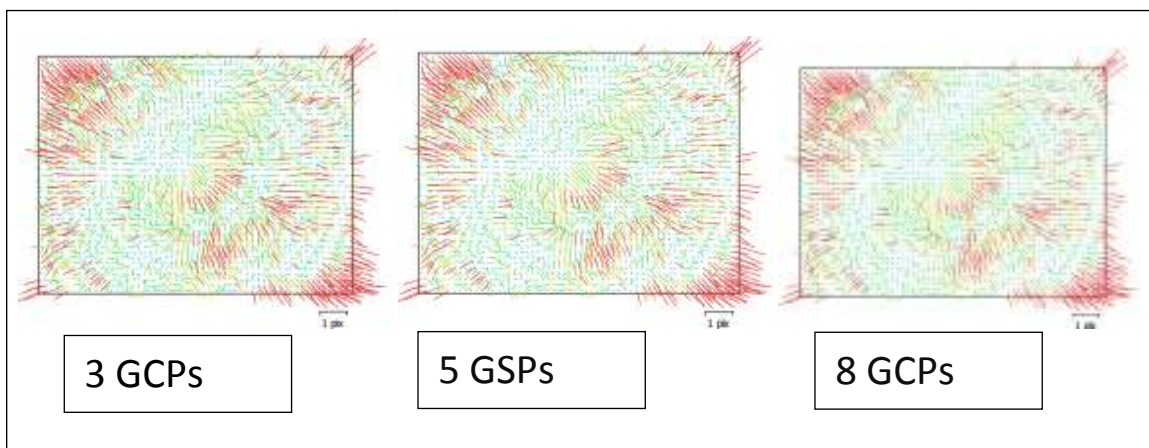
شكل (23)

إخراج نموذج الارتفاعات والصورة العمودية Export



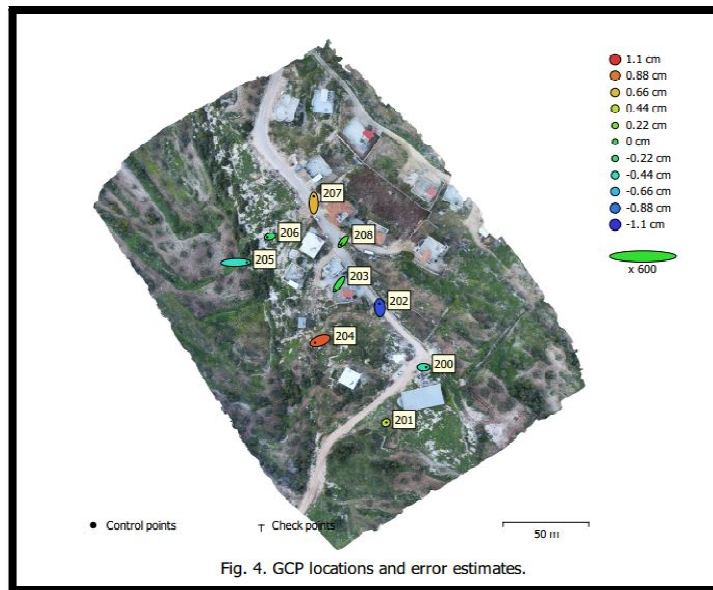
شكل (24)

تشوه العدسات



شكل (25)

توزيع نقاط الضبط الأرضي في منطقة الدراسة (سيريس)



شكل (26)

توزيع 20 نقطة اختبار (Gheck Points) على منطة الدراسة (منطقة صغيرة المساحة نسبيا في قرية

سيريس)



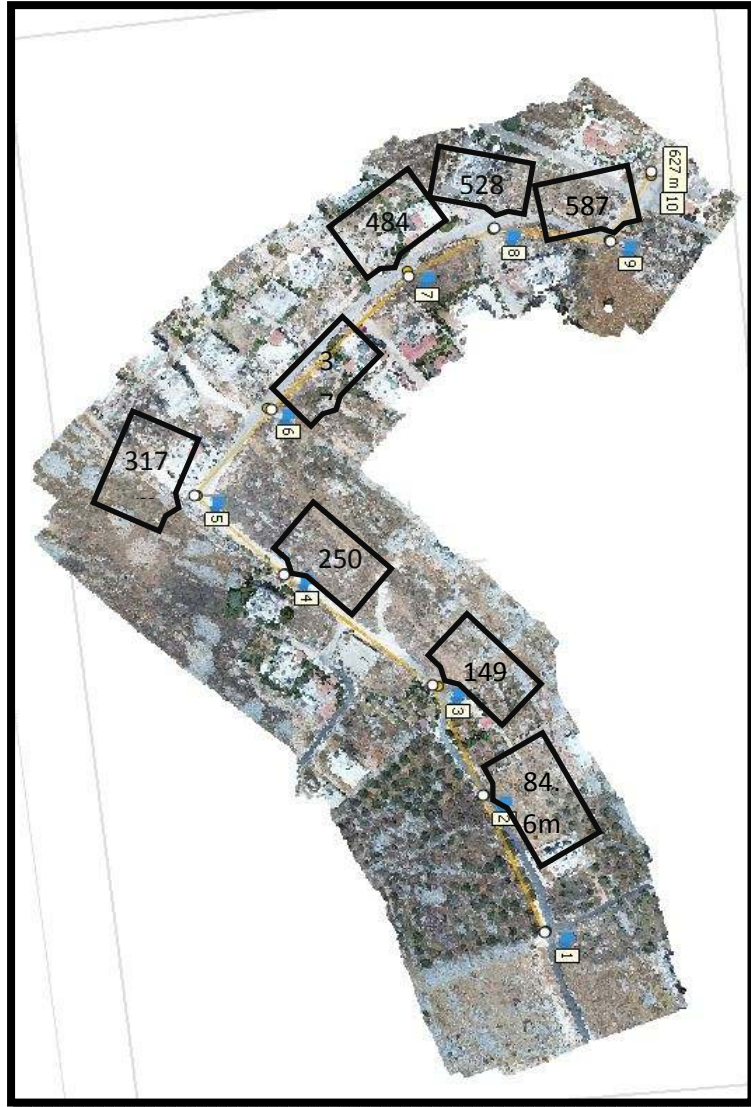
شكل (27)

منطقة الدراسة: طريق في قرية عراق بورين



شكل (28)

قياس طول الطريق في (المشروع الثاني) بالاعتماد على أمر (Ruler)



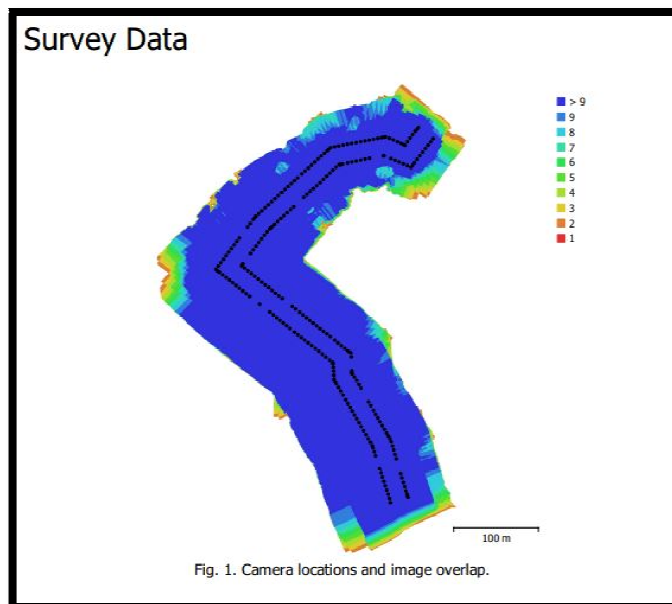
شكل (29)

توزيع نقاط الضبط الأرضية على منطقة الدراسة (طريق في قرية عراق بورين)



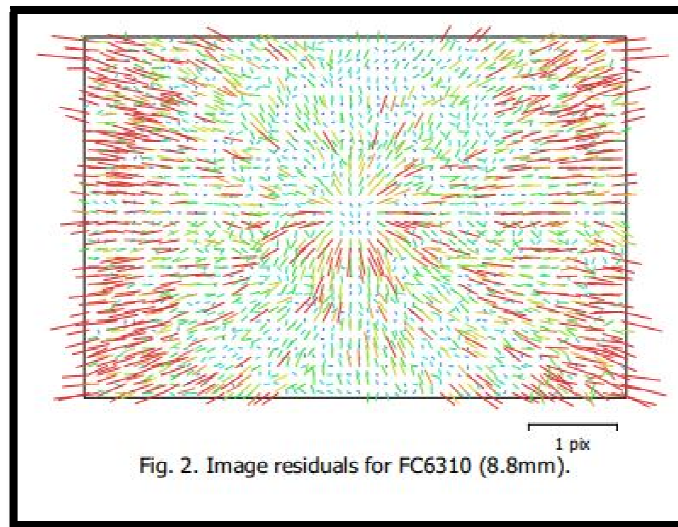
شكل (30)

Camera Location and Image Overlap



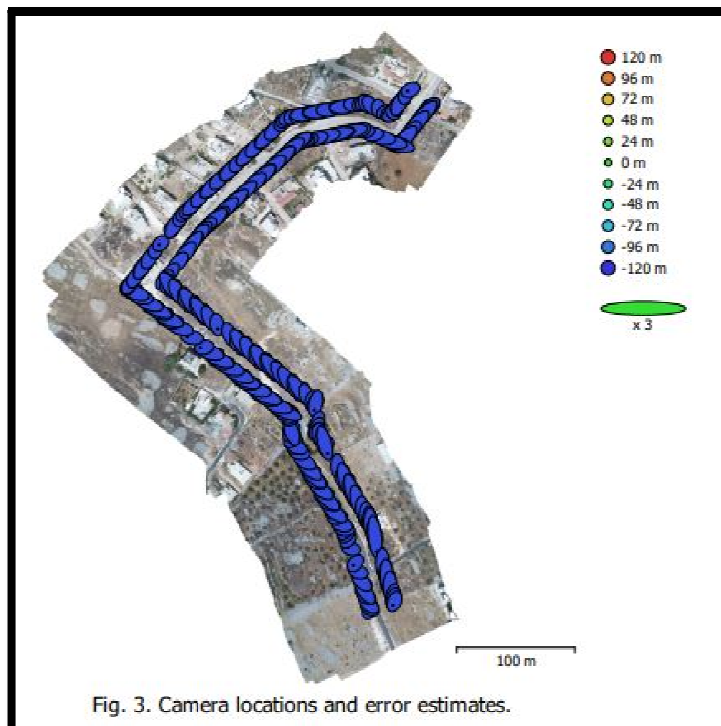
شكل (31)

Camera Calibration



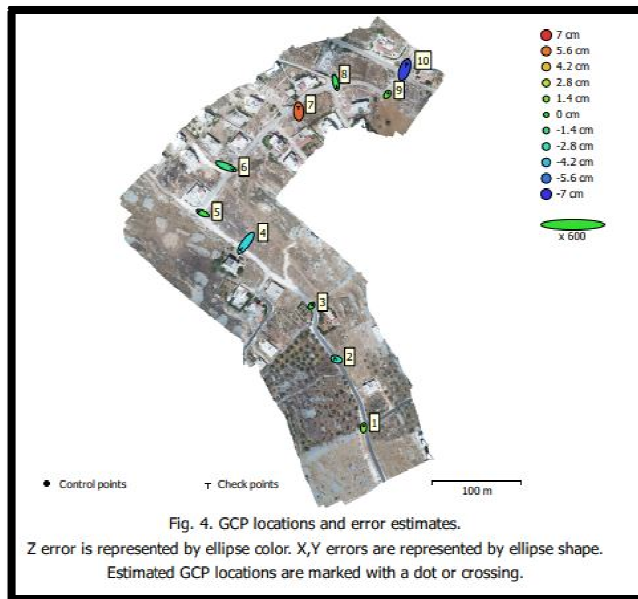
شكل (32)

Camera Locations



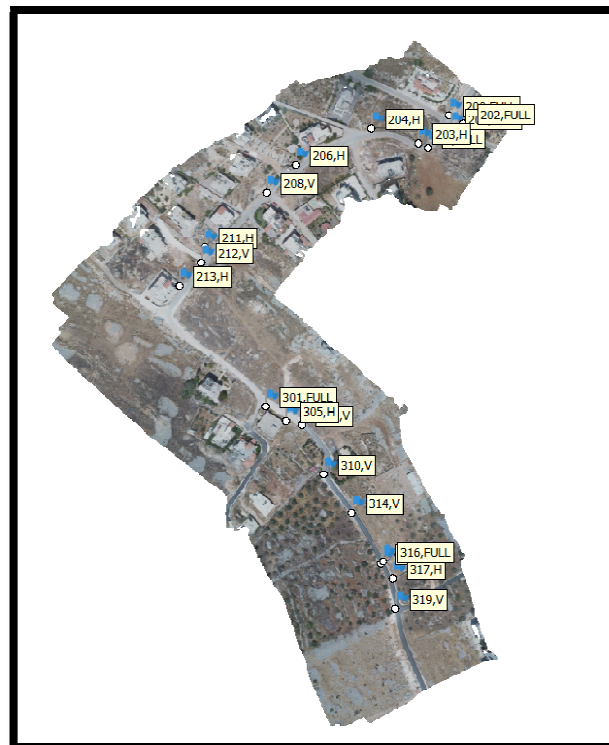
شكل (33)

موقع نقاط الضبط الأرضي (GCPs) وتقديرات الخطأ فيها



شكل (34)

توزيع 20 نقطة تحقق على منطقة الدراسة (طريق في قرية عراق بورين)





An-Najah National University
Faculty of Graduate Studies

**DEVELOPING METHODOLOGY
FOR UTILIZATION OF DRONS IN
SURVEYING APPLICATIONS**

By
Samaher abdallah Ebrahim Alaraj

Supervisor
Dr. Ahmad Taha

**This Thesis is Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Geography, Faculty of Graduate Studies,
An-Najah National University, Nablus, Palestine.**

2024

DEVELOPING METHODOLOGY FOR UTILIZATION OF DRONS IN SURVEYING APPLICATIONS

By
Samaher abdallah Ebrahim Alaraj
Supervisor
Dr. Ahmad Taha

Abstract

Surveying methods have experienced significant changes due to modern technology which meets current market requirements for specific and economical solutions with high efficiency. The methodical survey technique delivers correct results yet requires significant labor together with expensive costs and prolonged durations before producing results in mountainous plus wetland locations. Aerial imaging has become established as a data collection method that provides accurate data while eliminating the need for extensive human labor and reducing obstacles in inaccessible terrain assessment. The presented study establishes a complete scientific foundation for UAVs to be employed in surveying activities. The research targets three distinct inspection sites that show diverse features and dimensions. The sports field area primarily served experimental purposes since engineers did not consider it as a main engineering design. Professional engineers conducted drone-based precise surveys on the second and third regions. The first engineering project analyzed a small land area through combination of three ground control points and six checkpoints which produced precision results of 0.18 cm and 4.3 cm. The analysis showed ground control points reached 1.26 cm precision and the checkpoint accuracy amounted to 2.08 cm. During road surveying the project used three ground control points together with seven checkpoints which produced error rates of 0.51 cm and 3.9 cm, respectively. The additional testing used nine ground control points and one checkpoint which showed 1.3 cm error in the first data set and 1.6 cm error in the second. Accurate survey outcomes depended on hand-picking control points throughout both surveying projects. The results from three-control-point analyses produced high accuracy levels but provided weak confidence in the acquired data. The data reliability improved through reducing the number of checkpoints used as ground control points.

Keywords: Drons,GNSS, Orthomosaic