

استخدام الطائرات المسيّرة "الدرونز" في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية - دراسة تطبيقية على الجزيرة الخضراء بدولة الكويت

د/ حسن الشافعي حسن¹

hassanelshafiey1977@gmail.com

أ/ محمود حسن محمد فياض²

Fayad_mahmoud@hotmail.com

ملخص

تُعد نماذج الارتفاعات الرقمية من أهم مصادر البيانات في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتعتبر المساحة التصويرية أحد أدوات إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية لذلك تعتمد عليها كثير من دول العالم في عمليات التخطيط والتنمية المستدامة وكثير من المشاريع والأبحاث المدنية والعسكرية، ولا يخفي أنّ دقة النماذج الرقمية من أهم التحديات التي تواجه نماذج الارتفاعات الرقمية؛ لذلك تسعى هذه الدراسة إلى استخدام الطائرات المسيّرة بوصفها أحد بدائل إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة وسرعة وتكاليف أقل عن الوسائل الأخرى.

وتهدف الدراسة إلى إنتاج نموذج ارتفاع رقمي بدقة 5 سم للبكسل الواحد، بالإضافة إلى شبكة من النقاط الغمامية Point cloud اعتماداً على مجموعة مركبة من الصور الجوية حوالي 272 صورة تغطي مساحة قدرها 182337.6 متر مربع بنسبة تداخل 80% من أجل تجنب التشوهات في الصور الجوية.

وقد نتج عن الدراسة إنتاج نموذج ارتفاعات رقمي لمنطقة الجزيرة الخضراء بدولة الكويت بدقة نسبية عالية، ومتوسط الخطأ التربيعي (RMSE) لم يتعد في محور X حوالي 0.55، وحوالي 0.56 في محور Y، وحوالي 0.146 في محور Z عند مقارنتها بمثيلاتها في نظام تحديد المواقع العالمي GPS.

الكلمات المفتاحية: الطائرات المسيّرة، نظم المعلومات الجغرافية، الصور الجوية، المساحة التصويرية، نماذج الارتفاعات الرقمية، النقاط الغمامية.

¹ مدرس الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية- قسم الجغرافيا - كلية الآداب- جامعة الزقازيق.

² باحث دكتوراة قسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الزقازيق.

مقدمة:

يُعدُّ علم المساحة التصويرية الجوية الرقمية ذا أهمية كبيرة؛ إذ تمثل منتجاته أهم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد؛ لما توفره من البيانات والمعلومات لكل من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد، ومسوحات الموارد الأرضية، والتطبيقات الهندسية، والبيئية، والعمرائية؛ إذ تتميز بالدقة العالية، وسرعة العمل، وإمكانية التصوير الدوري لمتابعة الظواهر، وعدم التأثر بالظروف المناخية أو التضاريسية في أثناء العمل، وسهولة التعامل مع البيانات، وتحرير المعلومات؛ ومن ثم تسهيل عمل النمذجة والمعالجة والتحليل واتخاذ القرار (الأسمرى، ٢٠١٩).

وتُعدُّ المركبات الجوية بدون طيار (UAVS)، والتي يشار إليها عادة باسم الطائرات بدون طيار أحد أهم التقنيات والأدوات المستخدمة حالياً في مجال المساحة التصويرية الجوية الرقمية، وهي طائرات صغيرة تطير بشكل مستقل يتم التحكم فيها من خلال مشغل أرضي، أو من خلال طيران آلي دون تدخل بشري، وقد طُورت في الأصل لأغراض عسكرية (Daud, et al.,2022,P31)

وغالبا ما تختلف الطائرات بدون طيار بشكل كبير في تكويناتها اعتماداً على النظام الأساسي، والمهمة التي ستقوم بها؛ إذ تختلف منصات الطائرات بدون طيار في الاستخدامات العلمية المدنية والعسكرية وفقاً للخصائص؛ مثل: الحجم، وتحمل الطيران، والقدرات (Hassanalian, et al.,2017)

وللطائرات بدون طيار مجموعة واسعة من التطبيقات المدنية والعسكرية، التي يمكنها ارتياد بيئات صعبة للغاية؛ إذ يمكن تجهيزها بأجهزة استشعار وكاميرات مختلفة للقيام بمهام الاستخبارات والمراقبة والاستطلاع، ومراقبة

مسرح الجريمة، والكشف عن الحيوانات البحرية، ومراقبة المحاصيل، ورسم خرائط الغطاء النباتي، بالإضافة الي ذلك عمليات البناء، والزراعة، والتعدين، وفحص البنية التحتية، وفي الأونة الأخيرة توسعت تطبيقاتها لتشمل حالات الكوارث، والإغاثة الإنسانية ومنها مهام البحث، والإنقاذ، والوقاية من الكوارث (Daud, et al.,2022).

ويمكن تصنيف التطبيقات بطرق مختلفة فمنها ما يعتمد علي نوع المهام (عسكرية/ مدنية)، ونوع مناطق الطيران (خارجية/ داخلية)، ونوع البيئات (تحت الماء/ علي الماء/ الأرض/ الهواء/ الفضاء)، إذ يمكن لهذه الطائرات تقديم نظرة عامة وسريعة حول المنطقة المستهدفة دون أي خطر، كما يمكنها استخدام كاميرات الأشعة تحت الحمراء من أجل أن تعطي صوراً حتي في الظلام علي سبيل المثال بسبب أبعادها المنخفضة، كما يمكن استخدامها للاستطلاع داخل المباني، كما تساعد في حمل أجهزة استشعار محددة لتحديد التهديدات البيولوجية، أو النووية، أو الكيميائية، أو غيرها (Hassanalian&Adelkefi,2017,P111).

وقد وفرت التطورات الأخيرة في تكنولوجيا الاستشعار عن بعد وتكنولوجيا المسح الأرضي الليزري (Terrestrial Laser Scanner (TLS) وسيلة للحصول على بيانات مكانية عالية الدقة عن تضاريس سطح الأرض، ومن عمليات المسح المتكررة يمكن فحص السطح الجيومورفولوجي بحثاً عن التغيير في المكان والزمان (Pintado et al., 2019).

كما أمكن استخدام تلك التقنية في البحوث الهيدرولوجية، ومنها إدارة وحماية موارد المياه الجوفية بكفاءة؛ إذ أمكن استخدام رصد LIDAR المحمولة بواسطة الطائرات بدون طيار؛ وقد أدى ذلك إلي الحصول المباشر على قياسات مستوي المياه الجوفية بدقة رأسية عالية وصلت إلي 5سم، وعلى العموم يوفر

الاستشعار عن بعد من الطائرات بدون طيار سلسلة من المزايا منها (López):
et. al.,2023)

- دقة مكانية محسنة بشكل كبير بسبب ارتفاع الطيران المنخفض؛ مما يلغي
- أيضاً - الحاجة إلى تصحيحات جوية معقدة.
- إمكانية الحصول على كميات كبيرة من البيانات حتى في الجو، للمناطق التي لا يمكن لكل البشر والأقمار الصناعية الوصول إليها.
- تنوع كبير من حيث مجموعات المعدات، وأجهزة الاستشعار التي تتطور سريعاً.
- المزيد من المرونة في تنفيذ عمليات المسح.
- الميزات الفعالة من حيث التكلفة بشكل متزايد لهذه التقنية.

لذا فقد أصبحت تقنية المساحة التصويرية باستخدام (UAV) مصدراً وثيراً لعدد كبير من المعلومات الجيومكانية؛ مثل: نماذج الارتفاعات الرقمية DEM التي تتميز بدقة عالية وسرعة في الحصول على البيانات ونقلها في الزمن الحقيقي، كما يمكن لبيانات (UAV) أن تملأ الفراغ بين البيانات الملتقطة من الجو والأرض وخاصة في حالة التقاط صور مائلة، وفي حالة التطبيقات صغيرة النطاق يمكن أن تكون مكملة أو بديلة للبيانات الأرضية، بالإضافة الي إمكانية أن توفر صوراً متعددة الأطياف بدقة تمييز فائقة (موسي، ٢٠٢٠).

مشكلة البحث:

اعتمد إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية بكافة أنواعها على المساحة التصويرية التقليدية والمساحة الأرضية لفترة طويلة من الزمن، بالإضافة إلى صور الأقمار الصناعية وعلي الرغم من نجاح هذه الوسائل في إنتاج وتحديث نماذج الارتفاعات الرقمية فإنها تعاني من كثير من المشكلات المتمثلة في ارتفاع

التكاليف المادية، والبطء في عمليات الإنتاج؛ لذلك ظهرت الحاجة الملحة للبحث عن وسائل أقل تكلفة وأسرع في عمليات إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية، وقد كان الاتجاه إلى بحث إمكانات استخدام الطائرات بدون طيار بوصفها مصدراً واعداً لإنتاج وتحديث نماذج الارتفاعات الرقمية ومقارنة دقتها بالوسائل الأخرى؛ مثل: نظام تحديد المواقع العالمي، من أجل توظيف إمكانياتها إيجابياً في مجال البحث والدراسات الجغرافية الحديثة.

أهداف البحث:

يهدف البحث بشكل رئيس إلى تحقيق الأهداف الآتية:

- إنتاج صور جوية مركبة (موزيك) بدقة ٥ سم للبكسل الواحد في الصورة الجوية.
- إنتاج نموذج ارتفاع رقمي بدقة ٥ سم للبكسل الواحد في الصور الجوية.
- مقارنة دقة نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة بواسطة الطائرات المسيّرة والنماذج المنتجة بالطرق الأخرى؛ مثل: نظام المواقع العالمية .G.P.S

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية من خلال استخدام الطائرات بدون طيار، ومقارنة دقتها بالنماذج المنتجة بواسطة الطرق الأخرى؛ مثل: نظام تحديد المواقع العالمي G.P.S، نظراً لقلّة توافر دراسات علمية في مجال المساحة التصويرية الرقمية الجوية بشكلٍ عامّ وندرته في استخدام الصور الجوية الرقمية بشكلٍ خاصّ.

مناهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة في التحليل على المناهج العلمية الآتية:

- **المنهج التطبيقي**، وذلك من خلال الدراسة التطبيقية على منطقة الجزيرة الخضراء بدولة الكويت، من خلال توظيف تقنيات المساحة التصويرية الجوية الرقمية لإنتاج نماذج رقمية عالية الدقة.
- **منهج دراسة الحالة**: الدراسة التفصيلية والمتكاملة للطائرات بدون طيار في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية، وتحديد الأسلوب الأمثل لاستخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية ومقارنتها بالوسائل الأخرى، ولهذا يُعدُّ منهجاً تشخيصياً وعلاجياً، وهنا يتجه منهج دراسة الحالة إلى دراسة مناطق محددة كنموذج لحالة مسح باستخدام الطائرات بدون طيار، وتمَّ اختيار منطقة الجزيرة الخضراء حيث تتفاوت مناسيب الارتفاعات والانخفاضات في هذه المنطقة.

أساليب الدراسة:

اعتمدت الدراسة على أسلوبين من الأساليب الكمية هما:

- **الأسلوب الكمي**، وذلك من خلال استخدام الأساليب الكمية في معالجة البيانات من خلال ترتيب، وتصنيف المعلومات والبيانات، واستخراج النسب والمعدلات.
- **الأسلوب الكارتوجرافي**، تُعدُّ الخرائط من أفضل أساليب التمثيل المكاني للظواهر الجغرافية، وتمثل البيانات كارتوجرافياً في شكل خرائط توضيحية لتحليل الظواهر الجغرافية وإظهار العلاقات المتبادلة بينهما.

التقنيات الحديثة التي استخدمت في الدراسة تتمثل فيما يلي:

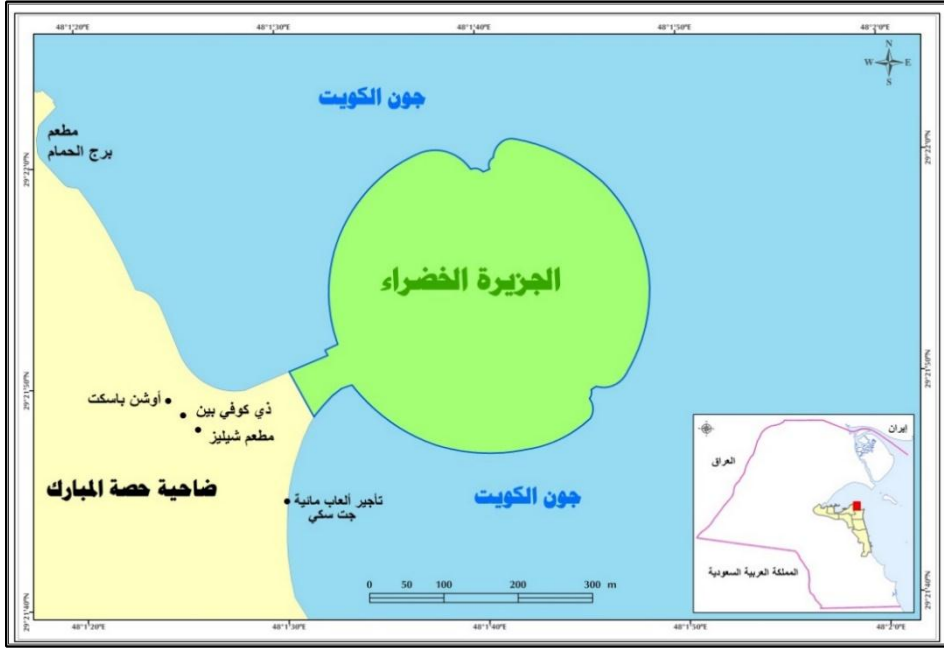
- الطائرة بدون طيار: استخدمت الدراسة طائرة بدون طيار من نوع (DJI Phantom 4RTK) لتصوير منطقة الدراسة لإنتاج صورة جوية بدقة ٥ سم، وبنسبة تداخل ٨٠% لإنتاج نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM).

- نظام الملاحة العالمي للأقمار الصناعية (GNSS): تم استخدام نظام الملاحة العالمي للأقمار الصناعية لعمل نقاط الربط الأرضي (GCP) في الطبيعة لحساب درجة دقة الصور الجوية بواسطة جهاز (Trimble R12).

- برامج نظم المعلومات الجغرافية والمساحة التصويرية الرقمية: استخدمت الدراسة برنامج ArcGIS 10.8، ومعه برنامج Pix4Dmapper 4.5.6 في إنتاج الموزيك بدقة ٥ سم، وتحديث الخرائط الرقمية لمنطقة الدراسة.

حدود منطقة الدراسة:

- الحدود الموضوعية: تقتصر الدراسة على استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج وتحديث نماذج الارتفاعات الرقمية.
- الحدود الزمانية: تجرى هذه الدراسة خلال الفترة بين عامي ٢٠٢٣-٢٠٢٤.
- الحدود المكانية: تتمثل في منطقة الجزيرة الخضراء بدولة الكويت، ويحدها من الشرق والشمال والجنوب جون الكويت، ومن الغرب ضاحية حصة المبارك، وتقع بين دائرتي عرض ٥٠° ١' ٢٩" و ٣٠° ١' ٢٩" شمالاً، وخطى طول: ٥٠° ١' ٤٨" و ٣٠° ١' ٤٨" شرقاً، انظر (شكل ١)



شكل (١) موقع الجزيرة الخضراء بالنسبة لمناطق دولة الكويت
(بلدية الكويت، ٢٠٢٤) المصدر: خريطة التقسيم الإداري

الدراسات السابقة:

فيما يأتي عرضٌ لأهم الدراسات السابقة مقسمة إلى مجموعتين، إحداهما الدراسات العربية والأخرى الدراسات الأجنبية على النحو الآتي:

١- الدراسات العربية:

- دراسة الخفاجي ٢٠٢٤م، وموضوعها "خرائط المسح الجوي ثلاثية الأبعاد باستخدام الطائرات المسيّرة "Drone"، وقد ركزت الدراسة على التطبيقات الجديدة للطائرات المسيّرة الناتجة من توافر البيانات ذات الدقة المكانية الفائقة، والتي تعمل تحت ظروف عمل متنوعة ومختلفة وبتكلفة منخفضة مقارنة بتقنيات المسح التقليدية.

- دراسة الخليل ٢٠١٦م، وموضوعها "معايير التحقق من الدقة الهندسية للتصحيح الهندسي للصور الفضائية"، وقد ناقش فيها الباحث الأساس الرياضي للحكم على الدقة الهندسية للتصحيح الهندسي للصور الفضائية القائم على استخدام نقاط الضبط، كما وجد أن طبوغرافية المنطقة المصورة عامل مهم جداً في تحديد نجاح أو فشل عملية التصحيح الهندسي.
- دراسة موسي ٢٠٢٠م، وموضوعها "التطورات الحالية في المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار مع أمثلة تطبيقية"، وركزت على تقنية المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار (UAV)، وذلك من خلال استعراض منصات (UAV) ومقارنتها مع المساحة التصويرية التقليدية. كما عرضت أحدث التطورات، والمنهجيات، والتطبيقات القائمة على منصات (UAV)، ثم وَصَّحَتْ خطوات المعالجة الفوتوغرافية للبيانات على أمثلة تطبيقية.

٢- الدراسات الأجنبية:

- دراسة (Aldayafleh, et al. (2020)، وموضوعها "Evaluating the Performance of Geographic Features Detection Approaches in Urban Areas Based on Unmanned Aerial Vehicle UAV Images"، وقد ركزت الدراسة على تقييم أداء طريقتي Harris, Fast (Fast-9, Fast-12) ودرجة الدقة وإمكانياتهما في استخلاص الظواهر الجغرافية من صور الطائرات المسيرة بدون طيار تحت الظروف المختلفة (درجة اللمعان، وموقع واتجاه الكاميرا، والتشوه في الصور)، وقد بينت الدراسة أن قيم مستوي القطع المستخدمة تقوم بدورٍ بارزٍ في تحديد عدد الظواهر الجغرافية المستخلصة؛ إذ كلما زادت قيم

مستوي القطع انخفض عدد الظواهر المستخلصة والعكس؛ لذلك فإن قيم التكاملية تزداد في حين تنخفض قيم الدقة مع ازدياد قيم مستوي القطع، كما توصلت الدراسة الي أن العلاقة بين طريقي (Fast-9) وطريقة Harris أفضل قليلاً من العلاقة بين (Fast-12) وطريقة Harris، لأن عدد الظواهر المشتركة بين (Fast-9) وطريقة Harris أكثر نسبياً مقارنة مع الأخرى.

- دراسة (Pintado et al., 2019) وموضوعها 3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a "temperate beach-dune zone"، وقد ركزت الدراسة على إمكانيات وفعاليات رسم الخرائط ثلاثية الأبعاد من خلال استخدام الطائرات بدون طيار في وجود ماسح أرضي لمنطقة الكثبان الرملية الشاطئية؛ مما يساعد في إمكانية مراقبة التغيرات الجيومورفولوجية من خلال المسوحات الطبوغرافية المتكررة، ويمكن الاستفادة من ذلك في مجالات البحوث المتنوعة؛ كالهيدرولوجيا، واستخدام الأراضي، وعلم الآثار، والمخاطر الطبيعية.

- دراسة (Anuar 2011) وموضوعها "Digital mapping using low altitude UAV"، وقد ركزت على استخدام الطائرات بدون طيار لإنتاج الخرائط الرقمية وتقييم دقتها، إذ استخدمت طائرة بدون طيار ثابتة الجناح خفيفة الوزن كمنصة مع استخدام كاميرا رقمية عالية الدقة بديلاً عن الكاميرات الكبيرة المستخدمة في الصور الجوية. وقد توصلت الدراسة الي إمكانية إنتاج صور رقمية متعامدة وخرائط رقمية دقيقة.

تسعى الدراسة إلى تسليط الضوء على أهمية الطائرات المسييرة في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة مكانية ٥ سم بتكلفة ووقت اقل من الوسائل الأخرى مثل المساحة التصويرية التقليدية، المحطة المساحية، وصور الأقمار الصناعية بالإضافة الي تعظيم القيمة المضافة لنماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة بواسطة الطائرات المسييرة من خلال وضع نقاط ربط أرضية بدقة ١ سم في الطبيعة وبالتالي توجيه أنظار هيئات المساحة العربية إلى الاستعانة بها في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية وكافة الأعمال المساحة الأخرى.

مصطلحات الدراسة:

- **الطائرات بدون طيار (UAV) Unmanned Aerial Vehicles** تُعرفُ بالطائرات المسييرة بالدرون، وتستخدم أساساً في الحالات التي تكون فيها الظروف الجوية جافة، أو غائمة، أو خطرة على الطيارين البشريين، وتختلف طائرات الدرون وفقاً لمكوناتها التي تشتمل على ما يأتي: (الخفاجي، ٢٠٢٤)
- **الإطار Frame**، وهو الجزء الأهم من الطائرة، ويصنع من البلاستيك أو الياف الكربون، ويصمم حسب طراز أذرع الطائرة، وتحمل كل ذراع محركاً ومروحة، في حين يحمل مركز الطائرة أجهزة التحكم في الطيران وذراع التثبيت الالكترونية للكاميرا، وكلما كان الإطار أثقل انخفض الارتفاع الذي تحققه الطائرة، ومع ذلك لا يجب أن يكون الإطار خفيفاً جداً لتكون الطائرة قوية؛ ولهذا يستخدم ألياف الكربون التي تجمع بين المتانة والخفة.
 - **المحركات Motors**: يوجد محرك مستقل لكل ذراع، وتعتمد وظائف المحرك على الطاقة المطلوبة.

• المراوح Propellers: وهي تعد أجنحة طائرات الدرون، وتصنع من البلاستيك، أو الياف الكربون، وتأتي المراوح عموماً في أزواج إحداها دعامة دوارة في اتجاه عقارب الساعة، والأخرى عكس دوران عقارب الساعة.

• وحدة التحكم الإلكترونية في السرعة ESCS: هي الجزء الأهم فيما يخص التحكم، وهي المسؤولة عن تشغيل المحركات؛ إذ تحدد السرعة من خلال تحديد قيمة التيار الذي يصل بثبات إلى نظام المحرك، ولأن المحركات تدور بسرعات مختلفة فهي بحاجة الي جهاز تحكم لتحديد هذه السرعات، وفي حالة الطائرات الدرون لا يتحقق التحكم في ميل الطائرة بالتحكم في ميل ذراع الدرون بل بالتحكم في الفرق بين سرعة المحركات، ويوصي بأربع وحدات متماثلة للتحكم الإلكتروني بالسرعة.

- نموذج الارتفاعات الرقمي Digital Elevation Model: تمثيل رقمي في صورة نقطية لتضاريس سطح الأرض؛ إذ تمثل كل نقطة متوسط ارتفاع سطح الأرض بالنسبة لمنسوب سطح البحر (عيد وآخرون، ٢٠١٧).

- المساحة التصويرية Photogrammetry: ذلك العلم الذي يهدف إلى الحصول على المعلومات الهندسية من الصور الجوية بالإضافة إلى معرفة كافة الظواهر الطبيعية والبشرية.

- نظام تحديد المواقع العالمي GPS: نظام تحديد النقاط المساحية وكافة الظواهر الطبيعية والبشرية على سطح الأرض باستخدام الأقمار الصناعية وأجهزة عالية الدقة.

- مسافة التمثيل الأرضية (الدقة الأرضية): المسافة التي تغطيها البيكسل Pixel الواحد في الطبيعة (الخليل، ٢٠٢٢).

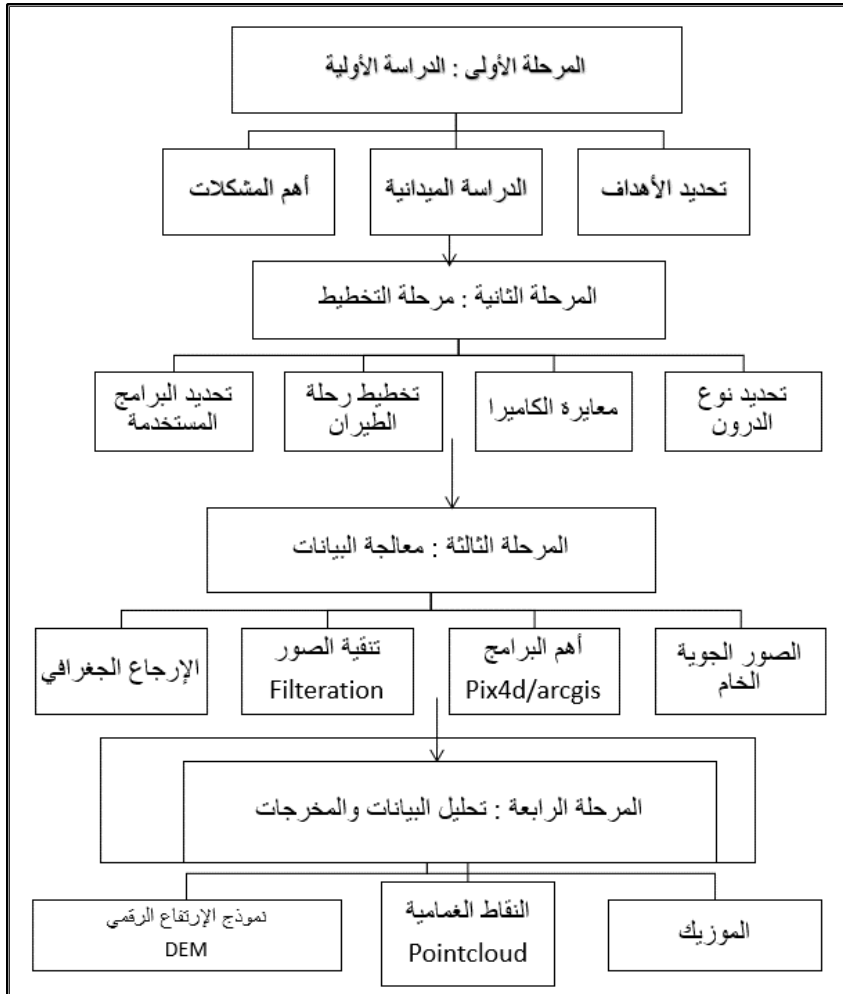
منهجية الدراسة:

تتمثل منهجية إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية من الطائرات بدون طيار؛ كما في شكل رقم (٢)، من خلال أربع مراحل، المرحلة الأولى (الدراسة الأولية) وتتمثل في تحديد أهداف المسح الجوي للطائرات بدون طيار، والدراسة الميدانية بالإضافة إلى تحديد أهم المشكلات التي تعوق عملية الطيران، أما المرحلة الثانية (التخطيط) تتمثل في تحديد نوع الطائرة الدرون المستخدمة في الطيران، ومعايرة كاميرا التصوير بالإضافة إلى تخطيط عملية الطيران، وتحديد نسبة التداخل الأمامي والجانبية، والمرحلة الثالثة مرحلة معالجة البيانات من خلال استخدام برنامج Pix4D في تنقية الصور الجوية الخام من أي شوائب بالإضافة إلى القيام بعملية الإرجاع الجغرافي للإحداثيات، المرحلة الرابعة (تحليل البيانات) من خلال القيام باستخدام برنامج ArcGIS - Pix4D للحصول على نموذج الارتفاعات الرقمي، ونموذج السطوح الرقمي بالإضافة إلى شبكة النقاط الغمامية.

المراحل العملية لإنتاج الخرائط الرقمية من الطائرات المسيّرة:

١- مرحلة التخطيط

تُعَدُّ مرحلة التخطيط للتصوير الجوي باستخدام الدرون من أهم مراحل التصوير وهناك أمور يجب مراعاتها أثناء عملية التخطيط للتصوير الجوي كالتالي:



شكل (٢) منهجية إنتاج الخرائط الرقمية من الطائرات بدون طيار
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على (Azmi,et al, 2014)

- تحديد نوع الطائرة بدون طيار المستخدمة في عملية التصوير الجوي، استخدمت الدراسة طائرة بدون طيار من نوع DJI Phantom 4 RTK من إنتاج شركة DJI الصينية كما في شكل رقم (٣) مجهزة بكاميرا رقمية ذات دقة ٢٠ ميجا بيكسل ذو البعد البؤري ٢٤ مم، وبدرجة وضوح مكاني ٤ سم، وتحتوي على بطارية ذات مدة طيران ٣٠ دقيقة.



اسم الطائرة	DJI, Phantom 4 RTK
دقة الكاميرا	٢٠ ميغا بيكسل
الوزن عند الإقلاع	١٣٩١ غراما
سرعة غالق الكاميرا الإلكتروني	8 - 1/8000 s
الوضوح المكاني	4CM
مدة الطيران	٣٠ دقيقة
البعد البؤري	٢٤ مم
دقة GPS	١ متر
شكل الصور الجوية	TIF-JPG

شكل (٣) الطائرة بدون طيار المستخدمة في التصوير الجوي وأهم خصائصها

المصدر: www.dji.com

• تحديد درجة الدقة المكانية GSD:

الدقة المكانية عبارة عن المسافة التي تغطيها البيكسل Pixel الواحدة في الطبيعة ويتم حسابها بالمعادلة الآتية (Gaurav, 2020):

$$GSD = (H * SW) / (F * IMW) \text{ in cm}$$

حيث إن:

GSD = الدقة المكانية للصورة الجوية بالسنتيمتر (سم)

H = ارتفاع الطائرات بدون طيار عن سطح الأرض

F = البعد البؤري لكاميرا التصوير بالمليمتر

SW = عرض المستشعر لكاميرا التصوير بالمليمتر

IMW = عرض الصورة بالبيكسل

ويتم حساب هذه المعادلات في مشاريع المساحة التصويرية بالطائرات بدون طيار بطريقة أوتوماتيكية من خلال برنامج Pix4d.

• التداخل الجانبي والأمامي بين الصور الجوية:

التداخل الجانبي بين الصور الجوية من أهم عناصر إنتاج خرائط رقمية ثلاثية الأبعاد، وتساعد التداخلات العالية بين الصور الجوية على تجنب حدوث تشوهات ناتجة عن حدوث اهتزازات للكاميرا في أثناء التصوير (Koeva, et al., 2016). وفي هذه الدراسة تم تحديد نسبة التداخل الأمامي ٨٠% ونسبة التداخل الجانبي ٧٠% من أجل إنتاج نماذج ارتفاعات رقمية لمنطقة الدراسة بالاعتماد على تقنية التصوير الضوئي من الوضع الحركي (SFM) وحساب النماذج ثلاثية الأبعاد من التداخلات بين الصور الجوية من خلال رؤية الظاهرات المشتركة في الصور من زوايا مختلفة.



شكل رقم (٤) نقاط الربط الأرضية GPS في الطبيعية

توقيع نقاط الربط الأرضية في الطبيعة Ground Control Point
يبلغ دقة نظام تحديد المواقع العالمي في الطائرة بدون طيار المستخدمة حوالي ١ متر، ومن أجل زيادة الدقة المكانية للصور الجوية إلى ١ سم قام الباحثون بوضع نقاط الربط الأرضية في الطبيعة (Giap,2019)، قبل عمليات التصوير الجوي، شكل رقم (٤) يوضح نقاط الربط الأرضية في الطبيعة.

٢- بدء عملية التصوير الجوي

بعد تحديد درجة الدقة المكانية للصور الجوية، وتحديد نسبة التداخل الجانبي والأمامي، بالإضافة إلى وضع نقاط الربط الأرضية في الطبيعة يتم إعطاء أمر للدرون بالإقلاع المباشر وبدء عمليات التصوير، وقبل انتهاء نفاذ شحن البطارية تعود الدرون مرة أخرى إلى نقطة الانطلاق ليتم استبدالها، والعودة من حيث انتهت (حماد، ٢٠٢٠).

٣- عمليات معالجة الصور الجوية

بعد الانتهاء من عمليات التصوير الجوي يتم نقل الصور الجوية ذات الامتداد TIF إلى جهاز الكمبيوتر من خلال وصلة USB من أجل البدء في عملية معالجة الصور الجوية من خلال برنامج Pix4Dmapper المتخصص في المساحة التصويرية الرقمية، وقد بلغ عدد الصور الجوية حوالي ٢٧٢ صورة تغطي مساحة قدرها متر مربع ١٨٢٣٣٧.٦٥ انظر شكل رقم (٥)، وهناك بعض الأمور يجب مراعاتها أثناء عملية المعالجة كالاتي:

- تحديد النقاط المشتركة في الصور الجوية Compute Key Point.
- ربط النقاط المشتركة مع الصور مع بعضها بعضاً بصورة أوتوماتيكية.

- استخدام بعض الفلاتر داخل البرنامج Filter Tie Point للتأكد من أكثر النقاط المشتركة بين الصور دقة واختيارها.
 - استخدام طريقة معالجة الصور Blur Photo في هذه الدراسة، كما استخدمها الباحث (Giap,2019) في علاج الدخان، والغبار، واهتزاز الكاميرا، والأوساخ الموجودة على عدسة التصوير.
 - إسقاط الصور الجوية بمواقعها الحقيقية على الأرض Initial Processing، وإدخال الإحداثيات المأخوذة بواسطة جهاز تحديد المواقع العالمي إلى الصور الجوية لزيادة دقتها.
- ٤- تقييم دقة نموذج الارتفاعات الرقمي المنتج بواسطة الطائرات بدون طيار مع نظام تحديد المواقع العالمي GPS

تمَّ أخذ عدد ١٠ نقاط في الطبيعة بواسطة جهاز GPS من نوع (Trimble R12) ذي الدقة المكانية ١ سم، جدول رقم (١) وقد روعي في اختيار هذه النقاط تغطية كافة حدود منطقة الدراسة بالإضافة إلي أن تكون واضحة يسهل التعرف عليها في الطبيعة.

- وقد تمَّ قياس درجة دقة الإحداثيات من خلال حساب متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) متوسط الخطأ التربيعي:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Z - Zi)}{n}}$$

حيث:

RMSE = متوسط الخطأ التربيعي

Z = القيمة المقاسة للبيانات (الطائرات بدون طيار)

Zi = قيمة الضبط (المسح الحقلي) نظام المواقع العالمي

n = عدد القياسات

- وقد توصلت الدراسة إلى إنتاج نماذج ارتفاعات رقمية بدقة نسبية عالية؛ إذ بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور X حوالي 0.55، وحوالي 0.56 في محور Y، وحوالي 0.146 في محور Z عند مقارنتها بمثيلاتها في نظام تحديد المواقع العالمي GPS.

جدول رقم (1) إحداثيات الطائرات بدون طيار ونقاط GPS

GPS (Z)	Drone (Z)	GPS (Y)	GPS (X)	Drone (Y)	Drone (X)	ID
7.37	7.42	249643.28	502521.91	249655.28	502511.91	1
7.94	7.99	249921.33	502719.32	249911.33	502727.32	2
6	6.08	249822.43	502826.21	249832.43	502833.21	3
5.89	5.94	249726.08	502843.85	249716.08	502857.85	4
5.85	5.88	249629.32	502848.01	249619.32	502851.01	5
6.61	6.65	249542.85	502751.49	249552.85	502761.49	6
6.12	6.16	249591.68	502617.87	249581.68	502627.87	7
22.49	22.53	249710.59	502560.62	249700.59	502570.62	8
12	12.05	249782.22	502533.46	249792.22	502545.46	9
9.94	9.97	249894.88	502613.92	249884.88	502603.92	10

٣- المخرجات Outputs

أولاً: السحابة الغمامية الكثيفة Point Cloud:

نمذجة ثلاثية الأبعاد لكافة الظواهر الطبيعية والبشرية على سطح الأرض، ويقوم برنامج PIX4Dmapper بحساب النقاط الغمامية بطريقة أتماتيكية من خلال نقاط الربط التلقائية المشتركة في الصور الجوية المتداخلة؛ إذ يقوم البرنامج بإنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي من خلال نقاط السحابة الغمامية،

ومن الناحية العملية تُعدُّ النقاط الغمامية بديلاً قليل التكلفة لتقنية الليدار Lee, et (al., 2019).

أولاً: الصور الجوية المركبة (الموزايك) Orthophoto العمودية المصححة عبارة عن تجميع مجموعة من الصور الجوية المتدخلة مع بعضها بعضاً من أجل تغطية مساحة واسعة من سطح الأرض، ومن ثمَّ توفير رؤية أوضح لتحليل كافة الظواهر الطبيعية والبشرية بالإضافة إلى سهولة دراسة تضاريس وديناميكية سطح الأرض.

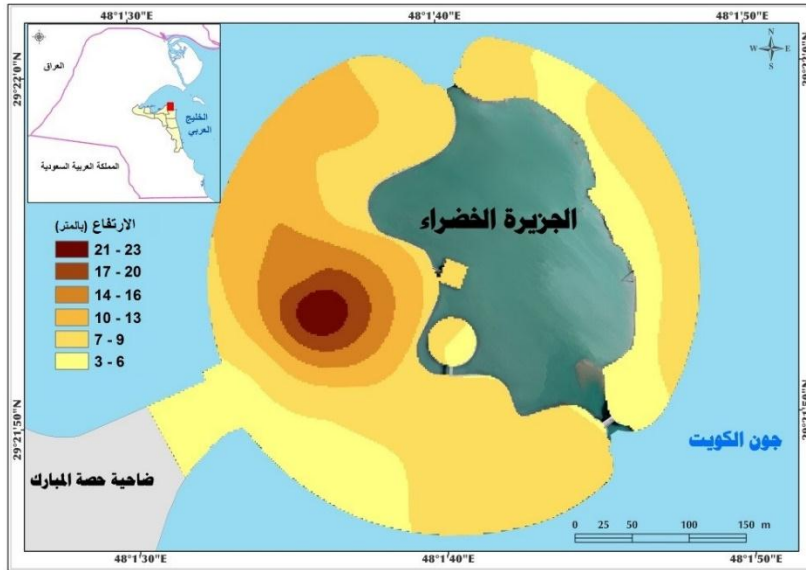


شكل (٦) موزيك بدقة ٥ سم

وقد استخدمت الدراسة برنامج PIX4Dmapper لإنتاج موزايك RGB Orthophoto بدرجة وضوح مكانية (GSD) ٥ سم، وقد بلغت دقة الموزيك نفس دقة الصور الجوية الخام، ووفقاً للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد تُعدُّ نتيجة جيدة؛ إذ من الأفضل أن تبلغ الدقة المكانية للموزيك ٩٥% من الدقة المكانية للصور الجوية الخام (ASPRS, 2014).

ثانياً: نموذج الارتفاعات الرقمي DEM

نموذج الارتفاعات الرقمي عبارة عن تمثيل ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض من منسوب سطح البحر (MSL)، وتساعد الباحثين على تفسير وتحليل سطح الأرض بصورة أكثر عمقاً، وتواجه نماذج الارتفاعات الرقمية كثيراً من التحديات المتمثلة في الدقة والتحديث المستمر، وتعتمد الطائرات دون طيار على تقنية التصوير الضوئي من الوضع الحركي (SFM) لإنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية ثلاثية الأبعاد من خلال التداخلات بين الصور الجوية ورؤية الظواهر الجغرافية من زوايا مختلفة، وتعدُّ الطائرات بدون طيار أحد الأدوات الحديثة المستخدمة في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية بكفاءة عالية وتكلفة ووقت أقل عن الوسائل الأخرى، مثل: نظام تحديد المواقع العالمي، والمساحة الجوية التقليدية، والليدار.



شكل (٧) نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة

النتائج:

١- إنتاج صورة جوية مجمعة (موزيك) بدرجة دقة مكانية ٥ سم بواسطة الطائرات بدون طيار باستخدام برنامج Pix4Dmapper 4.5.6 وبرنامج ArcGIS 10.8

٢- إنتاج نموذج ارتفاعات رقمي بواسطة الطائرات بدون طيار بدقة نسبية عالية؛ إذ بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور X حوالي 0.55، وحوالي 0.56 في محور Y، وحوالي 0.146 في محور Z عند مقارنتها بنظام تحديد المواقع العالمي GPS.

٣- تساعد نقاط الضبط الأرضية التي يتم وضعها في الطبيعة على زيادة دقة الصور الجوية.

٤- تُعدُّ الطائرات بدون طيار وسيلة فعالة في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة عالية وسرعة كبيرة وتكلفة أقل من الوسائل الأخرى؛ مثل: نظام تحديد المواقع العالمي.

٥- تُعدُّ الطائرات بدون طيار وسيلة فعالة في إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية خاصة في مناطق التضاريس الوعرة.

٦- تُعدُّ نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة بواسطة الطائرات بدون طيار وسيلة فعالة لمراقبة ديناميكية سطح الأرض على فترات متقاربة.

وفي ضوء تلك النتائج الأنفة الذكر يمكن الخروج بعدد من المقترحات والتوصيات:

١- زيادة دقة أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي على متن الطائرات بدون طيار من أجل تفادي وضع نقاط الضبط الأرضية في الطبيعة.

- ٢- إجراء مزيد من المقارنات مع نماذج الارتفاعات الرقمية العالمية؛ مثل: Srtm1، ومقارنتها مع نماذج الارتفاعات المنتجة بواسطة الطائرات بدون طيار.
- ٣- التوسع في استخدام الكاميرات الحرارية والليزر على الطائرات بدون طيار من أجل تعظيم الاستفادة منها.
- ٤- التوسع في تدريس مقررات المساحة التصويرية بالطائرات بدون طيار في أقسام الجغرافيا بالجامعات المختلفة وخصوصاً المصرية منها.
- ٥- تسهيل الحصول على التصاريح المختلفة قبل القيام بعمليات التصوير الجوي بواسطة الطائرات بدون طيار.

أولاً: المراجع باللغة العربية

- ١- أبو العلا، هاني سامي (٢٠١٩) "الخريطة الطبوغرافية"، الجمعية الجغرافية السعودية.
- ٢- أبو العلا، هاني سامي (٢٠٢٠) "الخريطة الرقمية-الطرق الفنية والتطبيق التفاعلي"، الجمعية الجغرافية السعودية.
- ٣- أبو العلا، هاني سامي (٢٠٢٣) "نظم المعلومات الجغرافية (الجزء الثاني) - التحليل المكاني والشبكي- الخرائط التفاعلية وأسس العرض".
- ٤- أبو العلا، هاني سامي (٢٠٢٤) "نظم المعلومات الجغرافية (الجزء الثالث) - نظم المعلومات عبر الويب WEB GIS والنظم المحمولة Mobile GIS".
- ٥- الأسمرى، عبدالله حسن (٢٠١٩) "أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وأهمية منتجاتها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد: دراسة نظرية"، مصر، جامعة المنوفية، مجلة بحوث كلية الآداب، الإصدار رقم (١١٧) شهر ابريل ٢٠١٩م.
- ٦- الأسمرى، عبدالله حسن (٢٠١٨) تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية (دراسة مقارنة مع نماذج محلية ونماذج عالمية)، مصر.
- ٧- الخليل، عمر (٢٠١٦) " معايير التحقق من الدقة الهندسية للتصحيح الهندسي للصور الفضائية"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (٣٨)، العدد (٢)، ٢٠١٦م.
- ٨- الخفاجي، جمعة مبارك عزيز (٢٠٢٤) "خرائط المسح الجوي ثلاثية الأبعاد باستخدام الطائرات المسيرة "Drone"، جامعة ذي قار، أنموذج مجلة الدراسات المستدامة، مجلد ٦، عدد ٢، ص ص ١٤٧٦ - ١٤٩٨.
- ٩- المجذوب، مساني نعمان بدر، وآخرون (٢٠٢٠) إنتاج الخرائط الرقمية من الصور الجوية المأخوذة بالطائرات المسيرة.
- ١٠- المسن، مبارك بن محمد ناصر (٢٠٠٤) انتاج الخرائط الطبوغرافية من ملفات المسح الجوي مباشرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- ١١- حماد، ولاء الدين جميل (٢٠٢٠) استعمال الصور الجوية بواسطة الطائرات المسيرة لإعداد خرائط سلاسل ترب منطقة عكر كوف شمال غرب بغداد. رسالة ماجستير. بغداد.
- ١٢- عيد، صفية وآخرون (٢٠١٧) إنشاء وتقييم نماذج الارتفاعات الرقمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- ١٣- موسي، وسيم توفيق (٢٠٢٠) "التطورات الحالية في المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار مع أمثلا تطبيقية"، مجلة البعث، المجلد ٤٢، العدد ١٠.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). 2015. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 81(3), A1–A26.
2. Aldayafleh ،O. et Al., (2020)"Evaluating the Performance of Geographic Features Detection Approaches in Urban Areas Based on Unmanned Aerial Vehicle UAV Images",
3. Anuar, Ahmed (2011) "Digital mapping using low altitude UAV", Pertanika J. Sci. & Technol. **19 (S)**: 51 - 58 (2011).
4. Daud, Sharifah Mastura Syed Mohd, et al., (2022) " Applications of drone in disaster management: A scoping review", Science & Justice 62 (2022) 30–42.
5. Dusseldorf, (2016). Digital Photogrammetry A Practise Course.Germany
6. Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. Ph.D. Thesis. Institute for Geodesy und Photogrammetry, ETH-Zürich. Zürich, Switzerland
7. Hassanalian, M., Abdelkefi, A. (2017) "Classifications, applications, and design challenges of drones: A review", Progress in Aerospace Sciences 91 (2017) 99–131.
8. López, S. García et. al., (2023) " UAV-borne LiDAR revolutionizing groundwater level mapping", Science of the Total Environment 859 (2023) 160272.
9. Lee, W. K., Park, K. J., (2019). Comparison of UAV Image and UAV LiDAR for Construction of 3D Geospatial Information. Sensors and Materials 31:1, MYU Tokyo.
10. Pintado, Emilia Guisado et al., (2019) "3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone", Geomorphology 328 (2019) 157–172.

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs) are among the most crucial data sources in Geographic Information Systems (GIS). Photogrammetry is one of the key tools for producing Digital Elevation Models (DEM), making it a fundamental method relied upon by many countries worldwide for planning, sustainable development, and various civil and military projects and research. It is undeniable that the accuracy of digital models is one of the most significant challenges facing DEMs. Therefore, this study aims to utilize Drones as an alternative method for producing Digital Elevation Models with greater accuracy, speed, and lower costs compared to other methods.

The study aims to produce a DEM with a resolution of 5 cm per pixel, along with a point cloud network, based on a composite dataset of approximately 272 aerial images covering an area of 182,337.6 square meters with an 80% overlap ratio to minimize distortions in the aerial images (aerial photogrammetry).

The study resulted in the production of a high-accuracy DEM for the Green Island in Kuwait. The relative accuracy was found to be high, with a Root Mean Square Error (RMSE) of approximately 0.55 in the X-axis, around 0.56 in the Y-axis, and about 0.146 in the Z-axis when compared to their counterparts of corresponding data from Global Positioning System (GPS).

Key Words: Drones, Geographic Information Systems (GIS), aerial photos, Photogrammetry, Digital Elevation Models, Point cloud.