

دور الطائرات المسيّرة "الدرونز" في إنتاج الخرائط الرقمية
دراسة تطبيقية على منطقة السالمية بدولة الكويت

بحث مستخرج من رسالة ماجستير

اعداد الباحث / محمود حسن فياض

المستخلص

تعتبر المساحة التصويرية أساساً لإنتاج الخرائط المختلفة في معظم دول العالم، ونتيجة للتكلفة العالية لإنتاج الصور الجوية من الطائرات التقليدية ابتعدت دول العالم وخاصة النامية عن تنفيذ مشاريع المساحة التصويرية على فترات زمنية متقاربة، وتُعد المساحة التصويرية باستخدام الطائرات المسيّرة إحدى الوسائل الحديثة في توفير البيانات المكانية بدقة نسبية عالية وبتكاليف أقل بالنسبة للوسائل الأخرى مثل المسح الجوي بالطائرات المأهولة والمرئيات الفضائية ونظام تحديد المواقع العالمي.

ومن هنا جاءت دراسة استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الخرائط الرقمية لمنطقة السالمية بدولة الكويت كدراسة حالة؛ لإظهار أهمية الطائرات المسيّرة في إنتاج الخرائط الرقمية وتحديث البيانات العمرانية لمنطقة الدراسة، وإنتاج صور جوية (موزايك) بالإضافة إلى إنتاج شبكة من النقاط الغمامية Point Cloud (الليدار).

وتوصل البحث إلى إنتاج صورة جوية موزيك بدقة مكانية 4 cm بالإضافة إلى إنتاج خرائط رقمية بواسطة الطائرات بدون طيار بدقة نسبية عالية، حيث بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور X حوالي 0.00274، وحوالي 0.0033 في محور Y ، وحوالي 0.0059 في محور Z عند مقارنتها بنظام تحديد المواقع العالمي GPS ، وبلغ متوسط الخطأ التربيعي في محور X حوالي 0.14 ، ومحور Y حوالي 0.15 عند مقارنتها بمرئية فضائية (World View 50 cm, 2022) مما يدل على الدقة العالية للطائرات بدون طيار في التصوير الجوي والاعتماد عليها في الدراسات والأبحاث العلمية بالإضافة إلى المشاريع الهندسية والجغرافية.

الكلمات المفتاحية: الطائرة بدون طيار، الخرائط الرقمية، الصور الجوية (الموزايك)،

Abstract

Photogrammetry is essential for producing various maps worldwide. Due to the high cost of aerial photography from traditional airplanes, countries – especially developing ones – have moved away from implementing photogrammetry projects in close periods. Photogrammetry, using unmanned aerial vehicles (UAVs), is one of the modern methods for providing high-resolution spatial data at lower costs than other methods such as manned aerial surveillance, satellite imagery, and global positioning system (GPS).

Thus came the study of using drones in producing digital maps of the Salmiya area in Kuwait as a case study; to demonstrate the importance of drones in producing digital maps and updating urban data for the study area. This in turn helps in producing aerial images (mosaics) in addition to producing a network of point clouds (Lidar).

The research concludes with the production of a 4cm spatially accurate aerial mosaic image, in addition to the production of high relative accuracy digital maps using unmanned aerial vehicles. Where the mean squared error (RMSE) on the X-axis was about 0.00274, about 0.0033 on the Y-axis, and about 0.0059 on the Z-axis. On the other hand, in the global positioning system (GPS), the mean squared error (RMSE) on the X-axis was about 0.14, and the Y-axis was about 0.15 when compared to a satellite image (World View 2022, 50cm). This indicates the high accuracy and reliability of drones in aerial photography in academic studies, scientific research, engineering, and geographical projects.

Keywords: UAVs, Digital Cartography, Aerial Photos (mosaic), Lidar.

أولاً: الإطار العام للدراسة

١- مقدمة:

تعتبر المعلومات المكانية المرجعية العمود الفقري لعمليات التخطيط والتنمية المستدامة، وتوفر الطائرات بدون طيار مصدراً وافراً لعدد كبير من المعلومات المكانية، مثل الصور الجوية، الموزيك، نماذج الارتفاعات ونقاط السحابة الغمامية، بالإضافة إلى سرعة الحصول عليها في الزمن الحقيقي (موسى، ٢٠٢٠)، في حين من المرجح أن تعمل الطائرات بدون طيار على إعادة إحياء مشاريع المساحة التصويرية من جديد خاصة في المناطق التي يصعب الوصول إليها مثل مناطق التضاريس الوعرة والغابات ومناطق الكوارث الطبيعية ومناطق انتشار الفيروسات مثل (كورونا) والبراكين بالإضافة إلى أنه تُعد الصور المأخوذة من الطائرات بدون طيار سجل مصور لسطح الأرض يمكن الرجوع إليه في أي وقت للتحقق من ظاهرة ما أو إجراء دراسات المقارنة للمناطق والظواهر على فترات زمنية مختلفة (Nex, et al., 2022).

يتناول البحث منطقة (السالمية) الواقعة شرق دولة الكويت، إحدى المناطق التابعة لمحافظة حولي وتتكون من ١٢ قطاعاً سكنياً (بلوك)، وتعتبر من أهم المناطق السياحية والتجارية في دولة الكويت. ويرجع تسمية منطقة الدراسة بهذا الاسم نسبة إلى الشيخ سالم المبارك الصباح الحاكم التاسع لدولة الكويت، وكانت تسمى قديماً (الدمنة) نسبة إلى دمن الغنم وتم تغيير اسم الدمنة لقبحه إلى العنبرة سنة ١٩٥٢، وصدر قرار عام ١٩٥٣ بتسميتها باسم السالمية (بلدية الكويت، ٢٠١١) وتبلغ مساحة منطقة السالمية حوالي ١٣,٩ كيلومتراً مربعاً وعدد سكانها نحو ١٦٨,٩ ألف نسمة عام ٢٠٢٢ (وزارة التخطيط - الكويت-٢٠٢٢).

٢- مشكلة البحث:

اعتمد إنتاج الخرائط بكافة أنواعها لفترة طويلة من الزمن على المساحة التصويرية التقليدية والمساحة الأرضية وبالرغم من نجاح هذه الوسائل في إنتاج وتحديث الخرائط فإنها تعاني من العديد من المشكلات المتمثلة في ارتفاع التكاليف المادية والبطء في عمليات الإنتاج، لذلك ظهرت الحاجة الملحة للبحث عن وسائل أقل تكلفة وأسرع في عمليات إنتاج الخرائط، وقد كان الاتجاه إلى بحث إمكانات استخدام الطائرات بدون طيار كمصدر واعد لإنتاج وتحديث الخرائط الرقمية ومقارنة دقتها بالوسائل الأخرى مثل المرئيات الفضائية ونظام تحديد المواقع العالمي.

٣- أهداف البحث:

يهدف البحث بشكل رئيسي إلى تحقيق الأهداف الآتية:

- إنتاج صور جوية (موزيك) بدقة ٤ سم للبكسل الواحد في الصورة الجوية.
- إنتاج وتحديث الخرائط الرقمية لمنطقة الدراسة.
- مقارنة دقة الخرائط المنتجة بواسطة الطائرات المسيّرة والخرائط المنتجة بالطرق الأخرى مثل الاستشعار من بُعد، ونظام المواقع العالمية G.P.S والطيران التقليدي (طيار بشري).

٤- أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الصور الجوية (الموزيك) بدقة نسبية عالية وإنتاج وتحديث الخرائط الرقمية ومقارنة دقتها بالخرائط المنتجة بواسطة الطرق الأخرى مثل المرئيات الفضائية ونظام تحديد المواقع العالمي G.P.S .

٥- مناهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة في التحليل على ثلاثة مناهج علمية كالتالي:

- **المنهج التجريبي:** يعتبر أقرب مناهج البحث العلمي لحل المشكلات العلمية (مقرب، ٢٠٢١)، حيث تعتمد الدراسة على تجربة إنتاج خريطة رقمية مصدرها ملفات المسح الجوي بالطائرات المسيّرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومقارنة دقتها بالطرق الأخرى (صور أقمار صناعية - ونظام تحديد المواقع العالمي).
- **المنهج التطبيقي:** وذلك من خلال الدراسة التطبيقية على منطقة السالمية بدولة الكويت، وتوظيف نتائج الدراسة لخدمة المجتمع من خلال وضع النتائج تحت نظر القائمين على التخطيط والتنمية، وبالتالي توفير المناخ المناسب الذي يساعد على دعم اتخاذ القرار، ولعل قضية النفعية من القضايا المهمة والتي تعني بأن يكون لأي علم جوانبه التطبيقية، وهذا الاتجاه هو اتجاه محمود في الوقت الحالي (عبد الوهاب، ٢٠٢١).
- **منهج دراسة الحالة:** الدراسة التفصيلية والمتكاملة للطائرات بدون طيار من حيث الأهمية والخصائص والآفاق المستقبلية، وتحديد الأسلوب الأمثل لاستخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الخرائط ومقارنتها بالوسائل الأخرى، ولهذا يعتبر منهجاً تشخيصياً وعلاجياً (عقيل، ١٩٩٩) ويتجه منهج دراسة الحالة إلى دراسة مناطق محددة كنموذج لحالة مسح باستخدام الطائرات بدون طيار، وتم اختيار قطاعات رقم (١، ٣، ٨، ١٢) بمنطقة الدراسة شكل (١)، حيث يتوفر في هذه القطاعات كافة استخدامات الأراضي بمنطقة السالمية.

٦- 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، وتنتهي هذه المرحلة بعمليات التحليل والربط ويتم ذلك من خلال الحاسب الآلي بمساعدة برامج التحليل الإحصائي للعلوم الاجتماعية (SPSS -Excel).

- الأسلوب الكارتوجرافي: تعتبر الخرائط من أفضل أساليب التمثيل المكاني للظواهر الجغرافية، تمثيل البيانات كارتوجرافيا في شكل خرائط توضيحية لتحليل الظواهر الجغرافية وإظهار العلاقات المتبادلة بينهم.

٧- التقنيات الحديثة التي استخدمت في الدراسة تتمثل فيما يلي:

- الطائرة بدون طيار: استخدمت الدراسة طائرة بدون طيار من نوع (DJI Phantom 4RTK) لتصوير منطقة السالمية لإنتاج صورة جوية بدقة ٤ سم ونسبة تداخل ٧٠% لإنتاج نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) ونماذج مجسمة لمنطقة الدراسة (3D Model).

- 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 ٤ سم وتحديث الخرائط الرقمية لمنطقة الدراسة.

٥- حدود منطقة الدراسة:

- الحدود الموضوعية: تقتصر الدراسة على استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الصور الجوية (الموزيك) وإنتاج وتحديث الخرائط الرقمية.
- الحدود الزمانية: تجرى هذه الدراسة خلال الفترة بين عامي ٢٠٢٢ - ٢٠٢٣.
- الحدود المكانية: تتمثل في منطقة السالمية بدولة الكويت، والتي يحدها من الشرق والشمال الخليج العربي ومن الغرب طريق الفحيحيل، ومن الجنوب طريق الدائري

الخامس، وتقع بين دائرتي عرض $29^{\circ}18'01.098$ و $29^{\circ}21'10.464$ شمالاً، وخطى طول: $56^{\circ}01'48$ و $56^{\circ}11'48$ شرقاً، انظر (شكل رقم ١).



شكل رقم (١) موقع منطقة السالمية بالنسبة لمناطق دولة الكويت

المصدر : عمل الباحث بالاعتماد على خريطة التقسيم الإداري (بلدية الكويت، ٢٠٢١)

-٦-

الدراسات السابقة:

فيما يلي عرضاً لأهم الدراسات السابقة مقسمة إلى مجموعتين، الأولى الدراسات العربية والثانية الدراسات الأجنبية:

٦-١ الدراسات العربية:

- دراسة ولاء الدين جميل حماد (٢٠٢٠) تناولت هذه الدراسة استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج خرائط التربة وتوصلت إلى فاعلية استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج خرائط التربة الرقمية حيث أنها توفر الوقت والجهد عند مقارنتها بالوسائل التقليدية الأخرى بالإضافة إلى أنها أكثر دقة من المرئيات الفضائية.

٦-٢ الدراسات الأجنبية:

- دراسة (Koeva, et al., 2016) تناولت هذه الدراسة الخطوات العملية لاستخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الخرائط الرقمية وقد توصلت إلى إنتاج صورة جوية موزيك بدقة ٦ سم بالإضافة إلى زيادة دقة الصور الجوية من خلال وضع نقاط ربط أرضية قبل علمية التصوير الجوي.

• دراسة (El Meouchea, et al, 2016) تناولت هذه الدراسة أهمية استخدام الطائرات بدون طيار في مسح المواقع والمناطق الصغيرة وقد توصلت إلى صعوبة استخدام الطائرات بدون طيار في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف بالإضافة إلى زيادة دقة التصوير الجوي يتوقف على عدد ودقة نقاط الربط الأرضية GCP.

• دراسة (Honarmand, et al., 2021) تناولت استخدام الطائرات بدون طيار في إنتاج الخرائط الجيولوجية وقد توصلت إلى فاعلية استخدام الطائرات بدون طيار في مناطق التضاريس الوعرة التي يصعب على الإنسان الوصول إليها وقد توصلت إلى كفاءة الطائرات بدون طيار في إنتاج نموذج الإرتفاع الرقمي DEM.

٧- مصطلحات الدراسة:

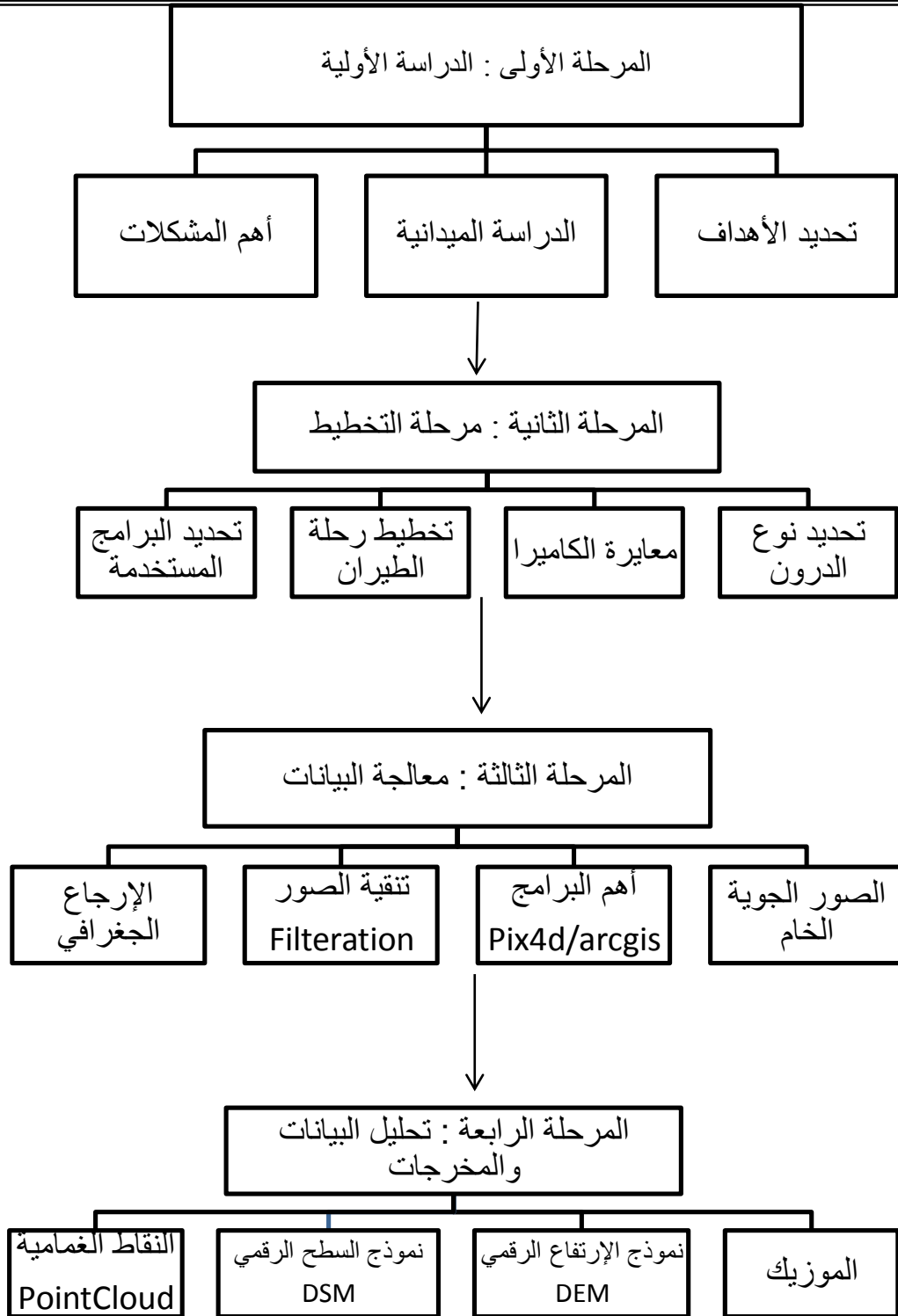
- **الإنتاج الرقمي للخريطة Digital production of the map**
العملية التي تعتمد على إنتاج الخرائط من الحاسب الآلي والوسائط الرقمية المختلفة، وتساعد على إجراء عمليات التصميم والإعداد الرقمي للوصول للهيئة النهائية للخريطة (عبد الوهاب، ٢٠٢١).
- **الطائرات بدون طيار Unmanned Aerial Vehicles**
طائرات ذاتية القيادة تعمل عن بُعد مزودة بكاميرات تصوير وأجهزة استشعار ومعدات اتصالات وملاحة.
- **الدرونز Drones**
من الناحية التقنية فإن الدرونز يشمل كل الآلات والمركبات التي يتم التحكم فيها عن بُعد مع العلم أن هذا المصطلح يعتبر الأكثر استخداماً في إطلاقه على الطائرات بدون طيار.
- **الصور الجوية Aerial Photo**
الصور المأخوذة بواسطة طائرات تطير على ارتفاع معين من سطح الأرض في مسار محدد مع وجود تداخلات طولية وعرضية بين الصور (أحمد، ٢٠١٨)
- **المساحة التصويرية Photogrammetry**
علم الحصول على البيانات الهندسية من الصور الجوية (الخليل، ٢٠٢٢)
- **محطة التوجيه والتحكم Ground Control Station**
من أهم مكونات نظام الطائرات بدون طيار وتختلف من طائرة إلى أخرى، وقد تكون أرضية أو جوية، ويمكن تزويدها بكثير من النظم مثل نظام الطيار الآلي ونظم الاتصالات الملاحة لتوجيه الطائرة ذاتياً (عمر الخليل، ٢٠٢٢).
- **خط الطيران Strip**
جميع الصور المتداخلة ضمن خط طيران واحد (Dusseldorf, 2016)
- **البعد البؤري Focal Length**
المسافة بين مركز العدسة ونقطة تجمع الأشعة، وكلما كانت قيمته كبيرة زادت قدرة الكاميرا على تكبير الظواهر المختلفة على سطح الأرض (Pacheco, 2003)
- **الطيار الآلي Autopilot**

نظام يساعد على سهولة الاتصال بين المستشعرات الموجودة على الطائرات بدون طيار ومحطة التحكم الأرضية (Liu, 2013).

- **مسافة التمثيل الأرضية Ground Sampling Distance**
الطول الأرضي الذي يغطيه البيكسل الواحد في الطبيعية (الخليل، ٢٠٢٢).
- **ليدار Lidar**
تقنية الاستشعار من بعد النشاط التي تعتمد على استخدام الضوء أو أشعة الليزر لتصوير سطح الأرض (نوفل، ٢٠١٩)
- **النقاط الغمامية Pointcloud**
عبارة عن عملية مسح ثلاثي الأبعاد لكافة الظواهر الطبيعية والبشرية علي سطح الأرض نظام تحديد المواقع العالمي **GPS**، وتعتبر النقاط السحابية الغمامية بديلاً رخيصاً لتقنية المسح بواسطة الليدار المتطورة (Liu, et al., 2021).
- **نظام تحديد المواقع العالمي GPS**
نظام عالمي لتحديد المواقع لرصد المعالم والنقاط المساحية باستخدام الأقمار الصناعية وأجهزة رصد عالية الدقة.
- **نظم المعلومات الجغرافية GIS**
النظام الذي يتكون من خمسة مكونات رئيسة للمتخصصين يشتمل: البيانات (مكانية - وصفية)، الأجهزة، البرامج، والإجراءات (التحليلات)، مقدمة لنظم المعلومات الجغرافية. (شركة إيزري، ٢٠٢٢).

8- منهجية الدراسة:

تتمثل منهجية إنتاج الخرائط الرقمية من الطائرات بدون طيار، كما في شكل رقم (٢)، من خلال أربع مراحل، المرحلة الأولى (الدراسة الأولية) تتمثل في تحديد أهداف المسح الجوي، الدراسة الميدانية بالإضافة إلى تحديد أهم المشكلات التي تعوق عملية الطيران، أما المرحلة الثانية (التخطيط) تتمثل في تحديد نوع الطائرة 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 Pix4D - ArcGis للحصول نموذج الارتفاعات الرقمي، نموذج السطوح الرقمي بالإضافة إلى شبكة النقاط الغمامية.



شكل رقم (٢) منهجية إنتاج الخرائط الرقمية من الطائرات بدون طيار

المصدر : عمل الباحث بالاعتماد على (Azmi,et al, 2014)

ثانياً: المراحل العملية لإنتاج الخرائط الرقمية من الطائرات المسيّرة:

١- مرحلة التخطيط:

هناك أمور يجب مراعاتها أثناء التخطيط لعملية الطيران بالطائرات المسيّرة كالتالي:

- التعرف على المناطق محظورة الطيران:

تعتبر عملية التعرف على المناطق محظورة الطيران بالدولة أولى عمليات التصوير الجوي وذلك من خلال وزارة الدفاع، الداخلية، الطيران المدني أو أي جهة مسؤولة عن الطيران بالدولة وذلك تجنباً للمساءلة القانونية.

- تحديد ارتفاع الطيران:

يجب الإلتزام بالإرتفاع الذي تحدده الجهات المسؤولة عن الطيران بالدولة وذلك تجنباً للمساءلة القانونية (Giap,2019)، حيث يبلغ أقصى ارتفاع للمباني المرخصة بمنطقة الدراسة ١٢٠ متر (بلدية الكويت، ٢٠٢٢) ونتيجة لإحتمال وجود بعض المباني المخالفة وأبراج التليفون المحمول تم التصوير بالدرون على ارتفاع ١٤٥ متر.

- تحديد نوع الطائرة بدون طيار:

قام الباحث باستخدام 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 ميغا بيكسل وتحتوي على بطارية ذات مدة طيران ٣٠ دقيقة.



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

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

• معايرة الطائرة بدون طيار:

يجب معايرة الطائرة بدون طيار للتأكد من كفاءتها للتصوير الجوي من خلال الوكيل المحلي للشركة المصنعة للدرون.

• التداخل الجانبي والأمامي بين الصور الجوية:

يعتبر تحديد نسبة التداخل الأمامي والجانبي بين الصور الجوية من أهم شروط الإبصار الجسم لإنتاج خرائط رقمية ذات دقة نسبية عالية (الحسناوي، ٢٠١٨)، وتساعد التداخلات العالية بين الصور الجوية على تجنب حدوث تشوهات بين الصور الجوية الناتجة عن إهتزاز الكاميرا أثناء التصوير (Koeva, et al., 2016). وفي هذه الدراسة تم تحديد نسبة التداخل الأمامي ٨٠% ونسبة التداخل الجانبي ٧٠%، بغرض إنتاج صور مزدوجة للحصول على أفضل نماذج ثلاثية الأبعاد لجميع المظاهر الجغرافية الطبيعية والبشرية في منطقة الدراسة، ويتم ذلك بصورة أوماتيكية من خلال برنامج (PIX 4D).

• تحديد درجة الدقة المكانية GSD:

الدقة المكانية للصورة الجوية 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

H = ارتفاع الطائرات بدون طيار عن سطح الأرض

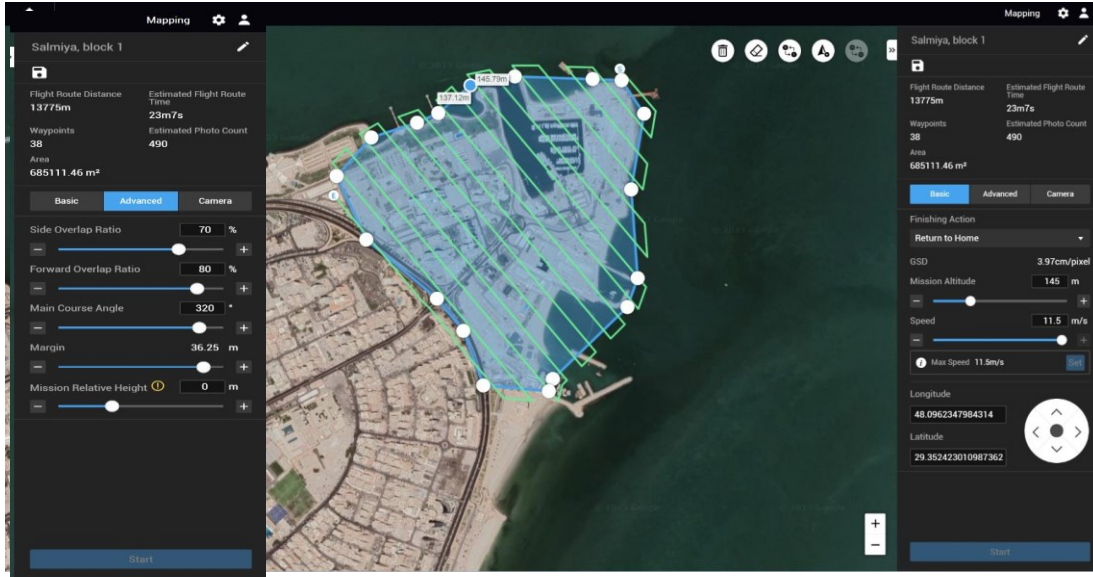
F = البعد البؤري لكاميرا التصوير بالمليمتر

SW = عرض المستشعر لكاميرا التصوير بالمليمتر

IMW = عرض الصورة بالبيكسل

وهذه المعادلة يتم حسابها بطريقة أوتوماتيكية من خلال برنامج تشغيل الدرون Pix4d

- تحديد منطقة إنطلاق وعودة الطائرة بدون طيار:
من الأفضل أن تكون منطقة إنطلاق وعودة الطائرة بدون طيار بعيدة عن المباني العالية والأشجار العالية بالإضافة إلى أبراج المحمول حتى لا تؤثر على كفاءة عمل الطائرة بدون طيار، وتعتبر الأراضي المستوية أفضل مناطق إنطلاق وعودة الدرون (Giap,2019).
- تحديد بداية ونهاية التصوير الجوي:
يساعد استقرار الظروف المناخية على نجاح عملية التصوير الجوي ، حيث بلغت متوسط درجة الحرارة ٢٥ درجة مئوية والسماء صافية خالية من الغيوم وقد تم اختيار يوم ٥ أبريل ٢٠٢٢ للتصوير الجوي خلال الفترة بين الساعة ١٠ صباحاً وإلى الساعة ١٢ ظهراً، وذلك لتقليل تأثير الظل على الصور الجوية (Strecha, et al., 2012).
- حساب عدد خطوط الطيران وشكلها:
يتم حساب عدد وشكل خطوط الطيران بصورة أوتوماتيكية من خلال البرنامج المتحكم في الدرون مثل Pix4d حيث يتم رسم حدود منطقة الدراسة في صيغة رقمية Shape File وإدخال البعد البؤري لكاميرا التصوير بالإضافة إلى ارتفاع الطيران كما في شكل (٤)



شكل رقم (٤) تخطيط رحلة طيران الطائرات بدون طيار

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج Pix4d

٢- توزيع وتوقيع نقاط الربط الأرضي في الطبيعة:

جميع الطائرات بدون طيار مزودة بنظام تحديد المواقع العالمي GPS وبالتالي التصحيح المباشر والآني للصور الجوية بالإضافة إلى توفير الوقت والجهد في عمليات المعالجة اللاحقة، حيث تم وضع ٦ نقاط في القطع السكنية (١ - ٣ - ٨) وعدد ٨ نقاط في القطعة رقم ١٢ وذلك لكبر مساحتها كما في جدول رقم (١)، وذلك من أجل زيادة دقة إحداثيات الصور الجوية، ويجب أن تكون نقاط الربط الأرضية مرئية واضحة في الطبيعة بالإضافة إلى سهولة رؤيتها في الصور الجوية كما في شكل رقم (٥)، (Koeva,et al,2016).

خصائص نقاط الربط الأرضية	
النوع	نقاط ربط أرضية GCP
الإحداثيات	شرقيات، شماليات، ارتفاع (X,Y,Z)
الدقة الأفقية	٣ مم
الدقة الرأسية	٥ مم
شكل النقطة في الطبيعة	٦٠ سم * ٦٠ سم



شكل رقم (٥) شكل وخصائص نقاط الربط الأرضية

المصدر: المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات بلدية الكويت - إدارة المساحة

GPS-Z	GPS-Y	GPS-X	رقم القطعة	رقم النقطة
5.68	3247707.37	509296.36	1	1
5.05	3247896.03	509509.95	1	2
5.05	3247918.64	509698.07	1	3
5.95	3248194.16	509373.49	1	4
4.93	3248044.60	508910.90	1	5
5.14	3246980.64	509381.32	1	6
7.16	3246644.76	508447.43	3	7
5.04	3246984.08	508131.60	3	8
4.61	3247260.05	508626.08	3	9
4.67	3247408.07	508905.23	3	10
5.10	3247074.49	508815.36	3	11
4.96	3246978.54	508490.00	3	12
6.38	3245374.43	507856.30	8	13
6.51	3245695.88	507268.64	8	14
5.87	3246173.04	506730.77	8	15
5.91	3246266.19	507021.45	8	16
5.82	3245998.26	507570.46	8	17
5.74	3245302.10	508188.54	8	18
11.29	3244406.88	505302.03	12	19
11.41	3244849.16	505035.91	12	20
12.00	3245834.80	504276.99	12	21
10.06	3246031.78	504836.94	12	22
12.46	3245612.76	504852.87	12	23
9.96	3245149.91	505244.62	12	24
9.41	3245205.85	505554.20	12	25
9.15	3244676.69	505717.87	12	26
م ٥	م ٣	م ٣	معدل الخطأ	

جدول رقم (١) إحداثيات نقاط الربط الأرضية (GPS) في منطقة الدراسة (السالمية)

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على جهاز TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM

٣- بدء عملية التصوير الجوي:

بعد تحديد درجة الدقة المكانية للصور الجوية، وارتفاع الطيران بالإضافة إلى نسبة التداخل الأمامي والجانبى بين الصور الجوية، يتم إعطاء الأمر للدرون بالإقلاع القائم على نظام الطيران الآلي المعتمد على نظام تحديد المواقع العالمي GPS ، وقبل انتهاء نفاذ شحن البطارية تعود الدرون مرة أخرى إلى نقطة الانطلاق ليتم استبدالها والعودة من حيث انتهت (حماد، ٢٠٢٠).

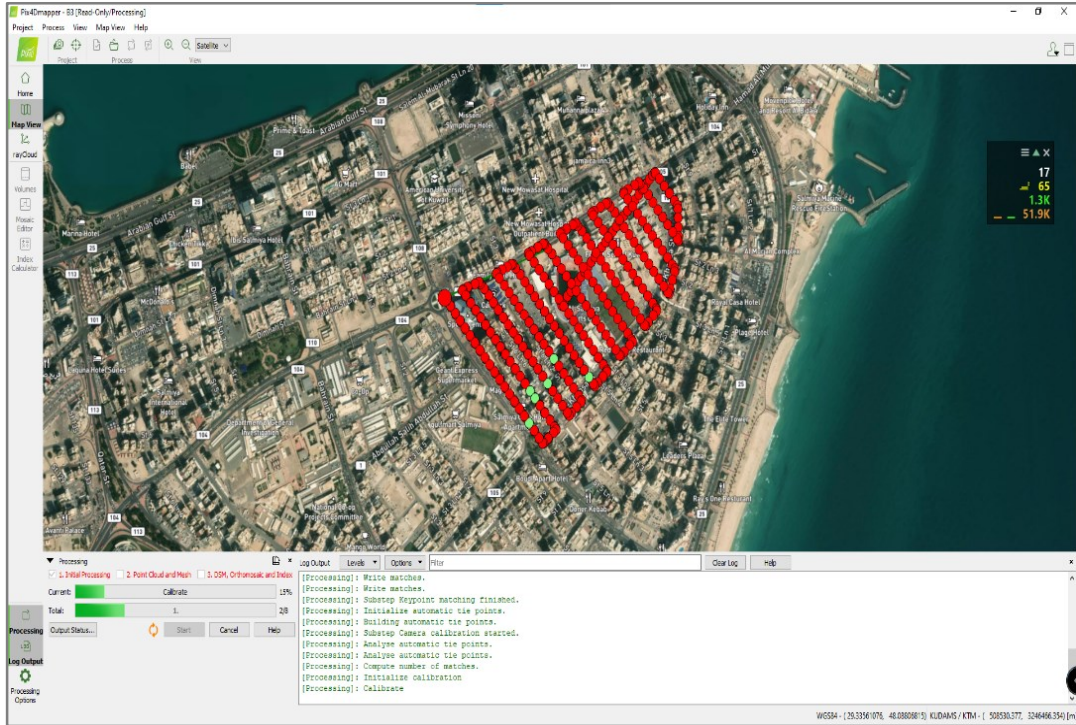


شكل رقم (٥) بدء عملية التصوير بمنطقة الدراسة

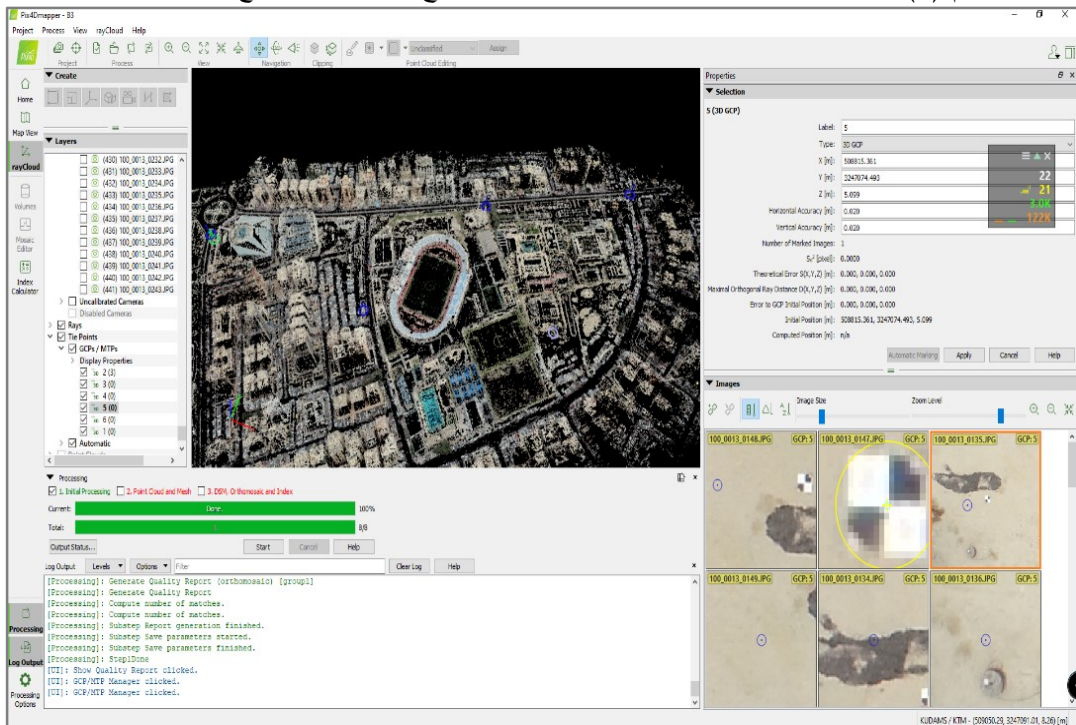
٤- عمليات معالجة الصور الجوية:

بعد الإنتهاء من عمليات التصوير الجوي يتم نقل الصور ذات الإمتداد JPG من أجل البدء في عمليات معالجة الصور الجوية من خلال برنامج Pix4d المتخصص في المساحة التصويرية الرقمية وفي هذه المرحلة تتم مراعاة ما يلي:

١. حدود منطقة الدراسة حتى لا تحدث تشوهات على جوانب الصور الجوية.
٢. تحديد النقاط المشتركة في الصور الجوية Compute Key Point .
٣. ربط النقاط المشتركة مع الصور مع بعضها البعض بصورة أوتوماتيكية.
٤. استخدام بعض الفلاتر داخل البرنامج Filter Tie Point للتأكد من أكثر النقاط المشتركة بين الصور دقة واختيارها.
٥. استخدام طريقة معالجة الصور BlurPhoto في هذه الدراسة، كما استخدمها الباحث (Giap,2019) في علاج الدخان، والغبار واهتزاز الكاميرا والأوساخ الموجودة على عدسة التصوير، انظر شكل رقم (6).
٦. إسقاط الصور الجوية بمواقعها الحقيقية على الأرض InitialProcessing وإدخال الإحداثيات المأخوذة بواسطة جهاز تحديد المواقع العالمي إلى الصور الجوية لزيادة دقتها، انظر شكل رقم (٧).



شكل رقم (٦) المعالجة الأولية للصور الجوية لمنطقة الدراسة قطاع ٣ من خلال برنامج PIX4Dmapper



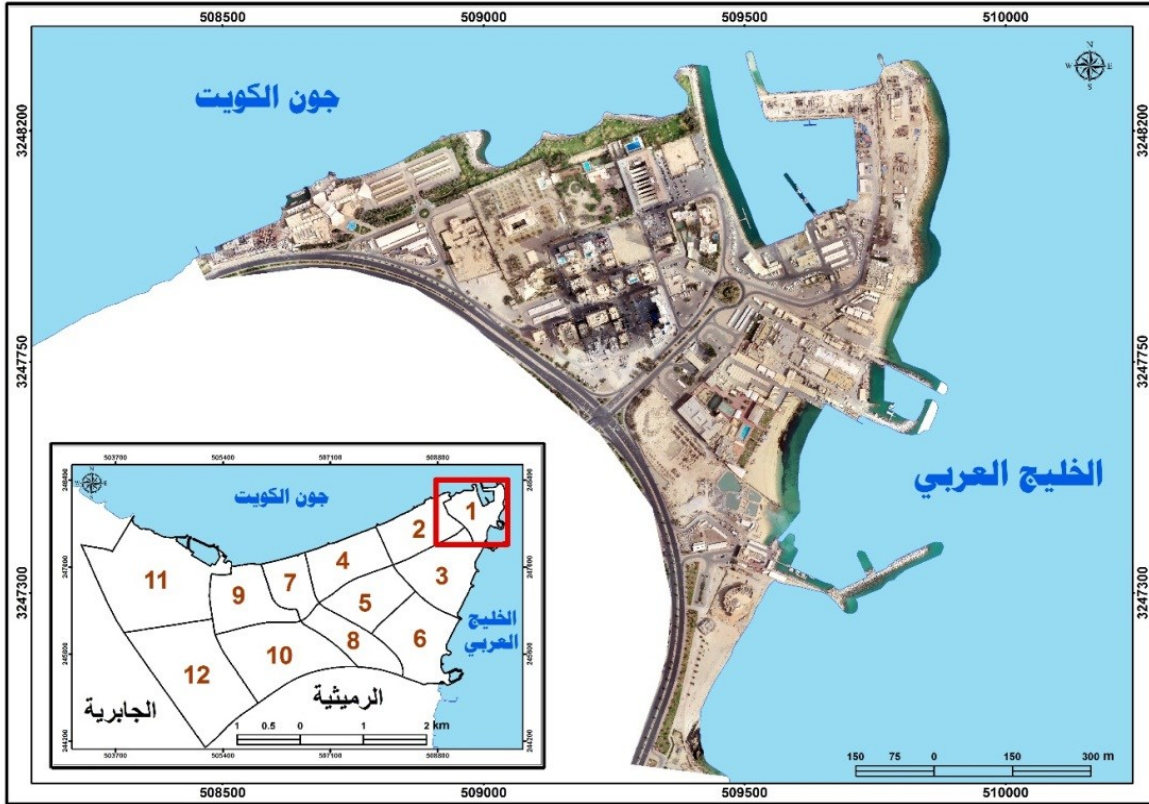
شكل رقم (٧) إدخال إحداثيات نقاط الربط الأرضية في منطقة الدراسة قطاع ٣ من خلال برنامج PIX4Dmapper

المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامج PIX4Dmapper

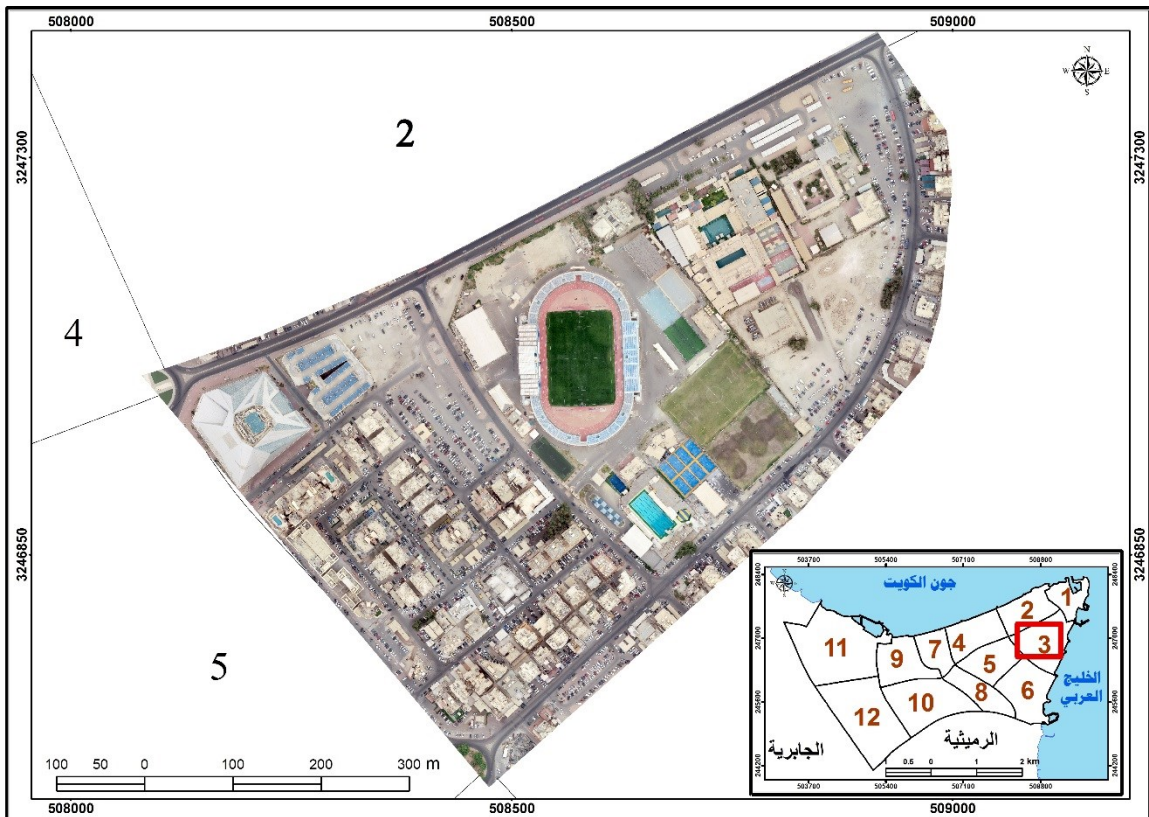
ثالثاً: المخرجات النهائية:

١- الموزيك:

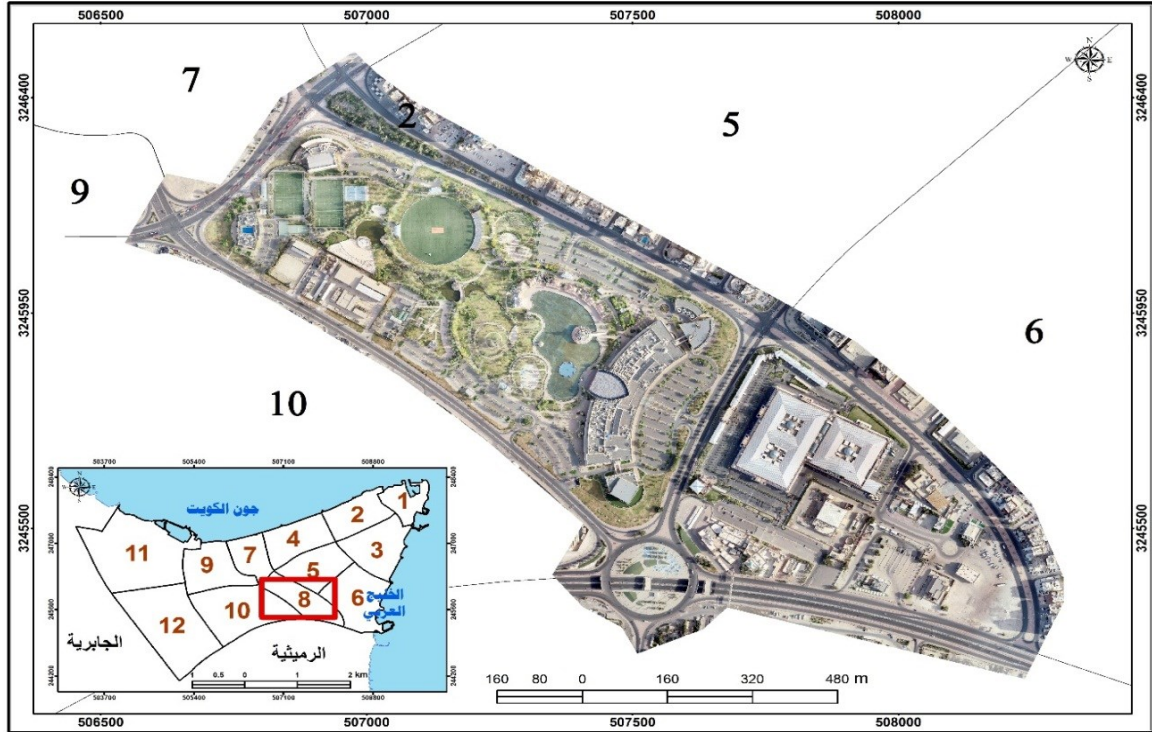
وقد نتج عن خطوات المعالجة للصور الجوية باستخدام برنامج Pix4d، صور موزيك بدرجة وضوح مكانية حوالي ٤ سم ، حيث تبلغ دقة الموزيك نفس دقة الصور الخام، ووفقاً للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والإستشعار عن بعد تعتبر نتيجة جيدة، حيث من الأفضل أن تبلغ الدقة المكانية للموزيك ٩٥% من الدقة المكانية للصور الجوية الخام (ASPRS, 2014) ويشير الفحص البصري للصورة إلى أنها مناسبة للتفسير المرئي، حيث تظهر كل الظواهر الطبيعية والبشرية بصورة واضحة ويمكن استخراجها بسهولة، كما هو واضح في أشكال رقم (١١، ١٠، ٩، ٨).



شكل رقم (٨) صورة موزاييك لقطاع ١ بمنطقة السالمية
المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامجي ArcGIS 10.8-PIX4Dmapper

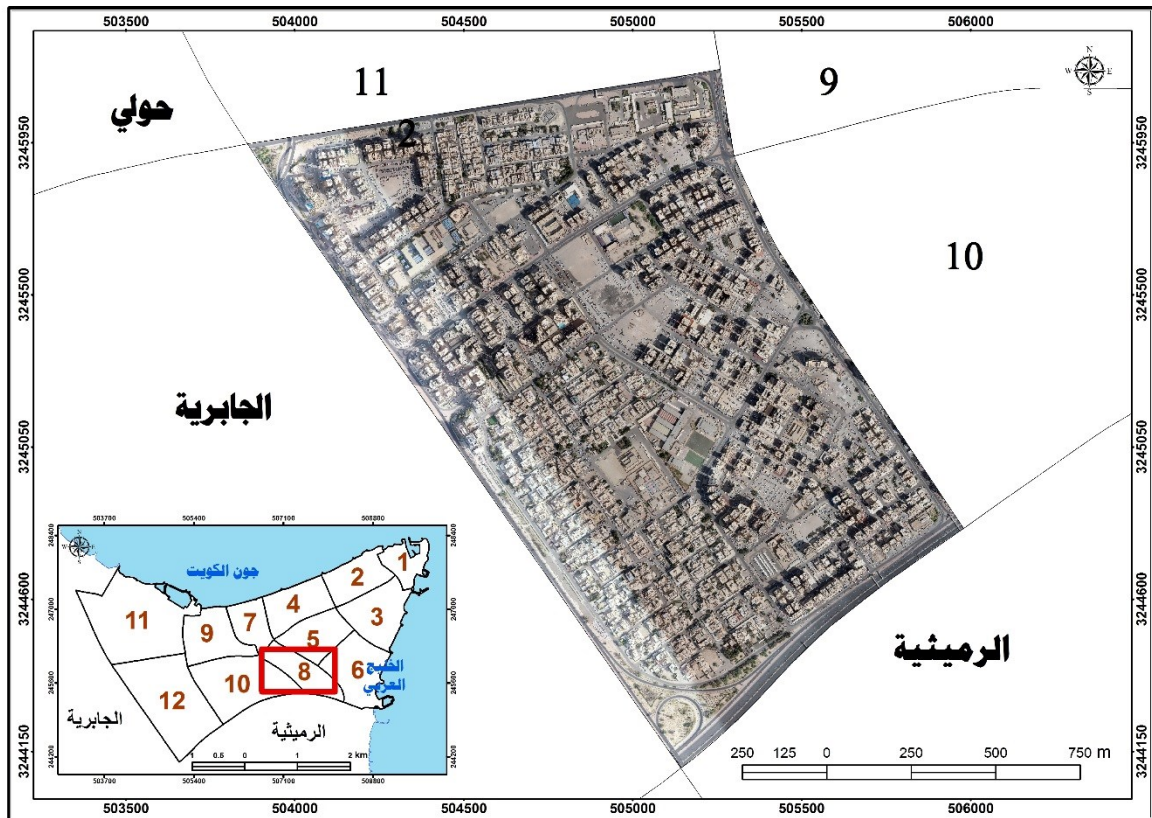


شكل رقم (٩) صورة موزاييك لقطاع ٣ بمنطقة السالمية
المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامجي ArcGIS 10.8-PIX4Dmapper



شكل رقم (١٠) صورة موزايك لقطاع ٨ بمنطقة السالمية

المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامجي ArcGIS 10.8-PIX4Dmapper

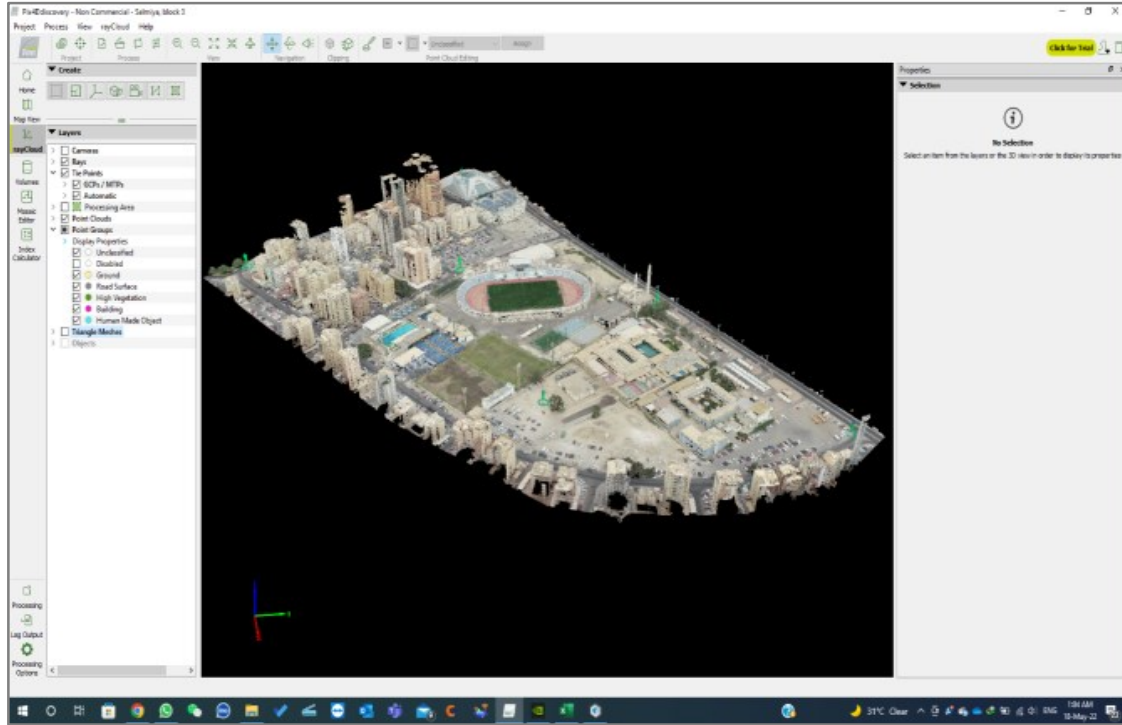


شكل رقم (١١) صورة موزايك لقطاع ١٢ بمنطقة السالمية

المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامجي ArcGIS 10.8-PIX4Dmapper

٢ - النقاط الغمامية:

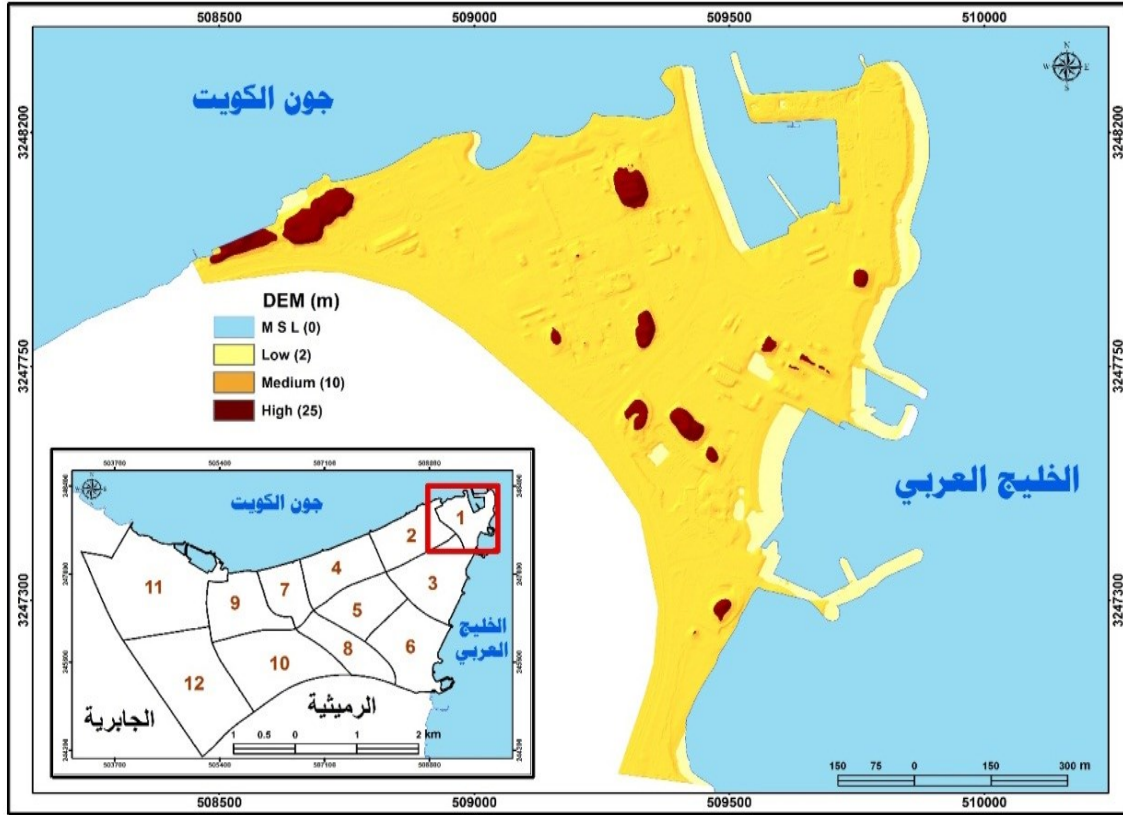
عبارة عن عملية مسح ثلاثي الأبعاد لكافة الظواهر الطبيعية والبشرية علي سطح الأرض، شكل رقم (١٢) ويتم حساب هذه النقاط من نقاط الربط التلقائية المشتركة بين الصور الجوية (Automatic Tie point) وتعتبر النقاط السحابية الغمامية بديلاً رخيصاً لتقنية المسح بواسطة الليدار المتطورة (Liu, et al., 2021).



شكل رقم (١٢) النقاط الغمامية السحابية في قطاع ٣ بمنطقة

٣- نموذج الارتفاعات الرقمي DEM: السالمية

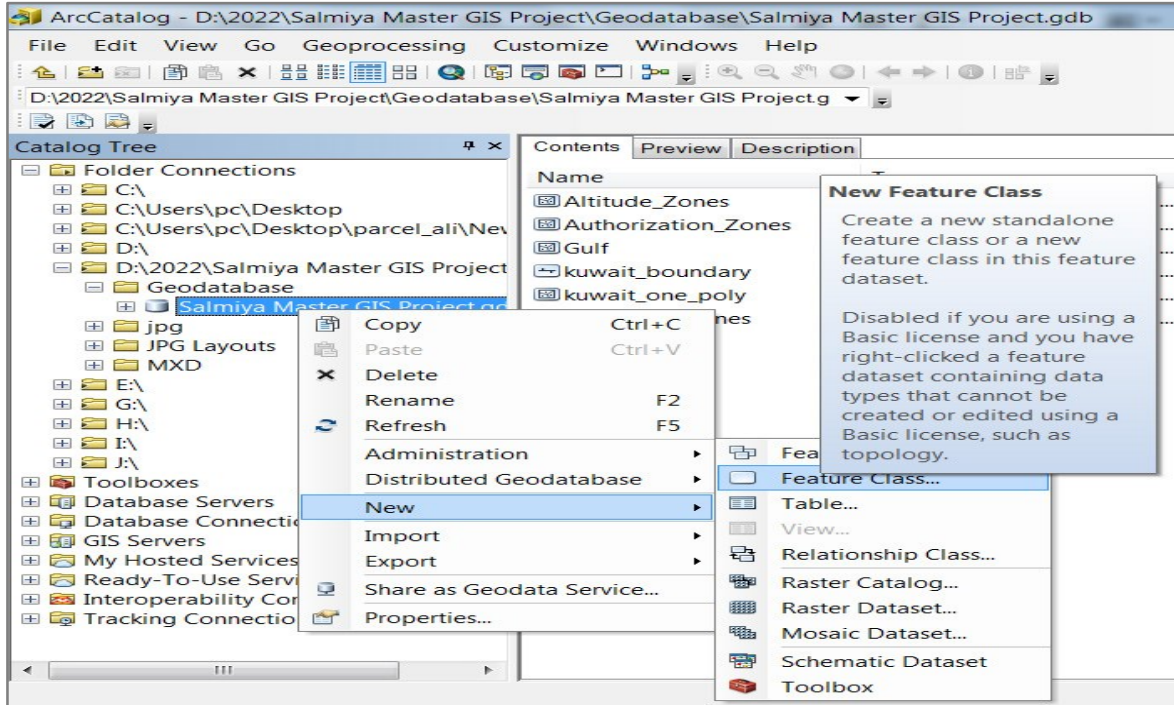
تمثيل ثلاثي الأبعاد XYZ لسطح الأرض في صورة شبكية Raster وكل خلية تمثل الارتفاع من منسوب سطح البحر MSL (الأسمرى، ٢٠١٩)، وتعتبر الطائرات بدون طيار إحدى الوسائل الحديثة في إنتاج نماذج الارتفاعات بدقة نسبية عالية، انظر شكل رقم (١٣)، حيث تدخل في العديد من التطبيقات الجغرافية، المدنية والعسكرية ومن أمثلتها الدراسة الاستكشافية لكل المشاريع وخطط التنمية، رسم خطوط الكنتور، خرائط الميول، بالإضافة إلى التحليل الهيدرولوجي وتصنيف ورسم شبكات التصريف وعمل المجسمات ثلاثية الأبعاد.



شكل رقم (١٣) نموذج الارتفاعات الرقمي في قطاع ١ بمنطقة السالمية
المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.8

٤- خريطة الأساس (إنتاج وتحديث الخرائط):

ساعدت الدقة العالية للصورة الجوية الموزيك (4CM) على رؤية كافة الظواهر الطبيعية والبشرية في منطقة الدراسة مثل حدود المباني والطرق بشكل تفصيلي واضح وبالتالي سهولة رسم وترقيم الظواهر داخل بيئة برنامج Arcgis 10.8 حيث تم إنشاء قاعدة بيانات Geodatabase تحتوي علي طبقات Layer كما في شكل رقم (١٤) لكافة استخدامات الأراضي بمنطقة الدراسة وحساب مساحتها وقد تم تحديد أنواع استخدامات الأراضي بمنطقة الدراسة بناءً على خريطة بلدية الكويت إدارة المخطط الهيكلي ٢٠٢٠ والدراسة الميدانية، شكل رقم (١٥).



شكل رقم (١٤) إنشاء الطبقات داخل قاعدة البيانات الجغرافية
المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.8



شكل رقم (١٥) خريطة استخدامات الأراضي في قطاع ١ بمنطقة السالمية ٢٠٢٣.
المصدر: عمل الطالب بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.8

رابعاً: أبعاد الدقة للصور الناتجة عن الطائرات بدون طيار:

تهدف الدراسة الحالية إلى إنتاج الخرائط الرقمية بواسطة الطائرات بدون طيار، ومقارنة دقتها بالوسائل الكارتوجرافية الأخرى سواء الرفع الأرضي التقليدي بواسطة (GPS - Total Station)، أو المساحة التصويرية التقليدية (الطائرات بواسطة طيار) بالإضافة إلى المرئيات الفضائية والخرائط الطبوغرافية، وتحديد إلى أي حد يمكن الاعتماد على الطائرات بدون طيار كبديل فعالٍ دقيقٍ عمليٍّ في إنتاج الخرائط الرقمية في العصر الحديث (M.Koeva, et al,2016) ينتج عن عملية تحويل الخرائط الورقية إلى رقمية بعض الأخطاء واختلاف في دقة الإحداثيات، لذلك برزت العديد من الأصوات التي تدعو الي الإنتاج المباشر للخرائط الرقمية من خلال المساحة التصويرية (المسن، ٢٠٠٤).

للتحقق من صحة إحداثيات الطائرات بدون طيار، اختار الباحث ٢٦ نقطة GPS في أربع قطاعات بمنطقة السالمية (قطاع ١٢،٨،٣،١) تقع كلها بين الإحداثيات ٥٠٥٠٩١، ٥١٥١٧١، شريقيات و ٢٤٤٠٧٥، ٢٤٧٤٠٢، شماليات من نظام الإحداثيات الكويتي (KTM)، جدول رقم (٢) يوضح عدد نقاط GPS المناسبة للتحقق من دقة الإحداثيات في إنتاج الموزيك (الأورثوفوتو)، والخرائط الرقمية وفقاً للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار من بعد (ASPRS,2014).

م	مساحة المشروع بالكيلومتر مربع	العدد الكلي لنقاط اختبار الدقة الأفقية للأورثوفوتو والخرائط على السواء
١	$500 \geq$	٢٠
٢	٧٥٠ - ٥٠١	٢٥
٣	١٠٠٠ - ٧٥١	٣٠
٤	١٢٥٠ - ١٠٠١	٣٥
٥	١٥٠٠ - ١٢٥١	٤٠
٦	١٧٥٠ - ١٥٠١	٤٥
٧	٢٠٠٠ - ١٧٥١	٥٠
٨	٢٢٥٠ - ٢٠٠١	٥٥
٩	٢٥٠٠ - ٢٢٥١	٦٠

جدول رقم (٢) العدد الموصي به لنقاط الفحص للتحقق من دقة الأورثوفوتو والخرائط

المصدر : عمل المصدر : الجمعية الجغرافية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار من بعد

وقد تم الاعتماد على هذه القوانين الرياضية في التحليل الإحصائي لاكتشاف الفروقات بين القياسات لتحديد مقدار دقة البيانات ونسبة الخطأ المختلفة كالتالي:

- الإزاحة = الإحداثي السيني في GPS - الإحداثي السيني في Drone
- الإزاحة = الإحداثي الصادي في GPS - الإحداثي الصادي في Drone

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (|Z, x \text{ or } y_{\text{drone}} - Z, x \text{ or } y_{\text{GCP}}|)}{n}$$

Where: حيث أن:

MAE= Mean Absolute Error متوسط الخطأ المطلق

X,Y,Z drone= Measured Elevation by drone بدون طيار الإحداثيات المقاسة بالطائرات بدون طيار

X,Y,Z GCP = Actual Elevation of Ground control Point ;GPS الإحداثيات المقاسة بـ GPS

N = number of points عدد النقاط

- متوسط الخطأ التربيعي:

$$RMSE = \sqrt{\sum (Z - Z_i)}$$

حيث:

RMSE = متوسط الخطأ التربيعي
Z = القيمة المقاسة للبيانات (الطائرات بدون طيار)
Z_i = قيمة الضبط (المسح الحثلي) نظام المواقع العالمي
n = عدد القياسات

١- مقارنة إحداثيات نظام تحديد المواقع العالمي مع إحداثيات الطائرات بدون طيار:
يُعد نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من أفضل وأدق الوسائل الحديثة المستخدمة في تحديد إحداثيات أي نقطة على سطح الأرض (X,Y,Z) وإنتاج الخرائط بكافة أنواعها (الحمامي، ٢٠١٨)، لذلك تم الاعتماد عليه في الدراسة كأساس مرجعي لقياس دقة إحداثيات الخرائط الرقمية المنتجة بواسطة الطائرات بدون طيار، انظر جدول رقم (٣).

بعد إجراء التحليل الإحصائي على جدول رقم (٣) المستخدم بواسطة برنامج SPSS بفترة ثقة ٩٥%، بلغ متوسط الخطأ المطلق في محور X حوالي 0.127، وحوالي 0.0190 في محور Y، وحوالي 0.0347 في محور Z. بعد إجراء التحليل الإحصائي المستخدم بواسطة برنامج SPSS بفترة ثقة ٩٥%، بلغ الانحراف المعياري في محور X حوالي 0.0139، وحوالي 0.0169 في محور Y، وحوالي 0.0302 في محور Z.

بعد إجراء التحليل الإحصائي المستخدم بواسطة برنامج SPSS بفترة ثقة ٩٥%، بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور X حوالي 0.00274، وحوالي 0.0033 في محور Y، وحوالي 0.0059 في محور Z.

ونستنتج مما سبق أن الفرق بين متوسطات الخطأ المطلق والتربيعي بين GPS والدرون ضئيل جداً ولا يتعدى ١ سم مما يدل على الدقة العالية للطائرات بدون طيار في التصوير الجوي والاعتماد عليها في الدراسات، والأبحاث العلمية بالإضافة إلى المشاريع الهندسية والجغرافية. فالحد الأقصى المسوح به للخطأ في الدقة الموضوعية وفقاً للجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار من بعد حوالي 7.5CM (ASPRS,2015).



Drone-z(m)	Drone-y(m)	Drone-X(m)	GPS-Z(m)	GPS-Y(m)	GPS-X(m)	رقم القطعة	رقم النقطة
5.755	3247707.39	509296.35	5.68	3247707.37	509296.36	1	1
4.973	3247896.05	509509.94	5.05	3247896.03	509509.95	1	2
5.056	3247918.65	509698.07	5.05	3247918.64	509698.07	1	3
5.877	3248194.17	509373.45	5.95	3248194.16	509373.49	1	4
4.957	3248044.59	508910.91	4.93	3248044.60	508910.90	1	5
5.108	3246980.63	509381.32	5.14	3246980.64	509381.32	1	6
7.196	3246644.71	508447.42	7.16	3246644.76	508447.43	3	7
5.069	3246984.09	508131.59	5.04	3246984.08	508131.60	3	8
4.604	3247260.07	508626.09	4.61	3247260.05	508626.08	3	9
4.680	3247408.08	508905.24	4.67	3247408.07	508905.23	3	10
5.096	3247074.48	508815.37	5.10	3247074.49	508815.36	3	11
5.013	3246978.54	508490.00	4.96	3246978.54	508490.00	3	12
6.351	3245374.40	507856.29	6.38	3245374.43	507856.30	8	13
6.438	3245695.83	507268.61	6.51	3245695.88	507268.64	8	14
5.859	3246173.03	506730.78	5.87	3246173.04	506730.77	8	15
5.788	3246266.21	507021.46	5.91	3246266.19	507021.45	8	16
5.808	3245998.31	507570.46	5.82	3245998.26	507570.46	8	17
5.653	3245302.05	508188.58	5.74	3245302.10	508188.54	8	18
11.260	3244406.85	505302.07	11.29	3244406.88	505302.03	12	19
11.398	3244849.16	505035.96	11.41	3244849.16	505035.91	12	20
12.022	3245834.81	504277.00	12.00	3245834.80	504276.99	12	21
10.055	3246031.79	504836.91	10.06	3246031.78	504836.94	12	22
12.450	3245612.75	504852.87	12.46	3245612.76	504852.87	12	23
9.983	3245149.91	505244.61	9.96	3245149.91	505244.62	12	24
9.381	3245205.79	505554.19	9.41	3245205.85	505554.20	12	25
9.119	3244676.69	505717.87	9.15	3244676.69	505717.87	12	26
			٥مم	٣مم	٣مم	درجة الدقة المكانية	

٢- تحليل الدقة الهندسية للصورة:

تُعد الدقة الهندسية للصورة الجوية نقطة في غاية الأهمية ولتحديدها اتبع الباحث طريقة التحري الموقعي Site Investigation من خلال العمل الميداني نفس طريقة (Koeva, et al., 2016) ، حيث قاس الباحث بعض الظواهرات في الطبيعة بواسطة شريط القياس ومقارنتها بمثيلاتها في الصور الجوية (الموزيك)، من خلال قياس جوانب أحد المباني في قطعة ١ بمنطقة الدراسة باستخدام شريط القياس، شكل رقم (١٦) وقياس نفس المبني في الصور الجوية (الموزيك) كما في

شكل رقم (١٧) ، تشير القياسات إلى أن نسبة الخطأ أقل من 0.4 % من القياسات الفعلية في الطبيعة، وتعتبر نسبة جيدة بالنسبة للدرون، فقد بلغت نسبة الخطأ أقل من 0.6 % عند (nex, et) .(al., 2016).



شكل رقم (١٦) قياس الأبعاد في الطبيعة بواسطة شريط القياس التاريخ: 2023/3/4
المصدر: من عمل الباحث أثناء الدراسة الميدانية



صورة رقم (١٧) مقارنة بين الأبعاد المقاسة في الطبيعة ومثيلاتها في الصور الجوية (الموزيك)

٣- مقارنة التطابق بين المرئيات الفضائية والطائرات بدون طيار:

تُعتبر المرئيات الفضائية أحد الأدوات المهمة في إنتاج الخرائط الرقمية، وبمقارنة الصور الجوية الناتجة عن الدرون مع المرئيات الفضائية، يعتبر الاتجاه العام للمرئية الفضائية (Worldview 2020, 50cm) متطابق بشكل كبير مع الموزيك المنتج بواسطة الطائرات بدون طيار، انظر شكل رقم (١٨) وبالرغم من وجود بعض الاختلافات في الإزاحة في المحورين (X, Y) حيث تم مقارنة ٢٦ نقطة في المرئية الفضائية بمثلاتها في الطائرات بدون طيار، بعد إجراء التحليل الإحصائي علي جدول رقم (٤) المستخدم بواسطة برنامج SPSS بفترة ثقة ٩٥% ، بلغ متوسط الخطأ المطلق في محور X حوالي 0.29، ومحور Y حوالي 0.42 ومتوسط الخطأ التربيعي في محور X حوالي 0.14 ، ومحور Y حوالي 0.15، ويتضح مما سبق أن الفرق بين متوسطات الخطأ المطلق والتربيعي بين المرئيات الفضائية والدرون صغير نسبياً ولا يتعدى ٥٠ سم مما يدل على الدقة العالية للطائرات بدون طيار في التصوير الجوي والاعتماد عليها في الدراسات، والأبحاث العلمية بالإضافة إلى المشاريع الهندسية والجغرافية.

رقم النقطة	رقم القطعة	Satellite Image-X	Satellite Image-Y	Drone-X	Drone-y	مقدار الإزاحة X	مقدار الإزاحة Y
1	1	509296.36	3247707.37	509296.35	3247707.39	0.430	0.158
2	1	509509.95	3247896.03	509509.94	3247896.05	0.476	0.073
3	1	509698.07	3247918.64	509698.07	3247918.65	0.150	0.511
4	1	509373.49	3248194.16	509373.45	3248194.17	0.024	0.450
5	1	508910.90	3248044.60	508910.91	3248044.59	0.480	0.238
6	1	509381.32	3246980.64	509381.32	3246980.63	0.114	0.527
7	3	508447.43	3246644.76	508447.42	3246644.71	0.396	0.428
8	3	508131.60	3246984.08	508131.59	3246984.09	0.652	0.239
9	3	508626.08	3247260.05	508626.09	3247260.07	0.337	0.353
10	3	508905.23	3247408.07	508905.24	3247408.08	0.585	0.033
11	3	508815.36	3247074.49	508815.37	3247074.48	0.444	0.297
12	3	508490.00	3246978.54	508490.00	3246978.54	0.264	0.413
13	8	507856.30	3245374.43	507856.29	3245374.40	0.000	0.471
14	8	507268.64	3245695.88	507268.61	3245695.83	0.130	0.543
15	8	506730.77	3246173.04	506730.78	3246173.03	0.222	0.523
16	8	507021.45	3246266.19	507021.46	3246266.21	0.547	0.166
17	8	507570.46	3245998.26	507570.46	3245998.31	0.283	0.373
18	8	508188.54	3245302.10	508188.58	3245302.05	0.036	0.639
19	12	505302.03	3244406.88	505302.07	3244406.85	0.255	0.487
20	12	505035.91	3244849.16	505035.96	3244849.16	0.166	0.721

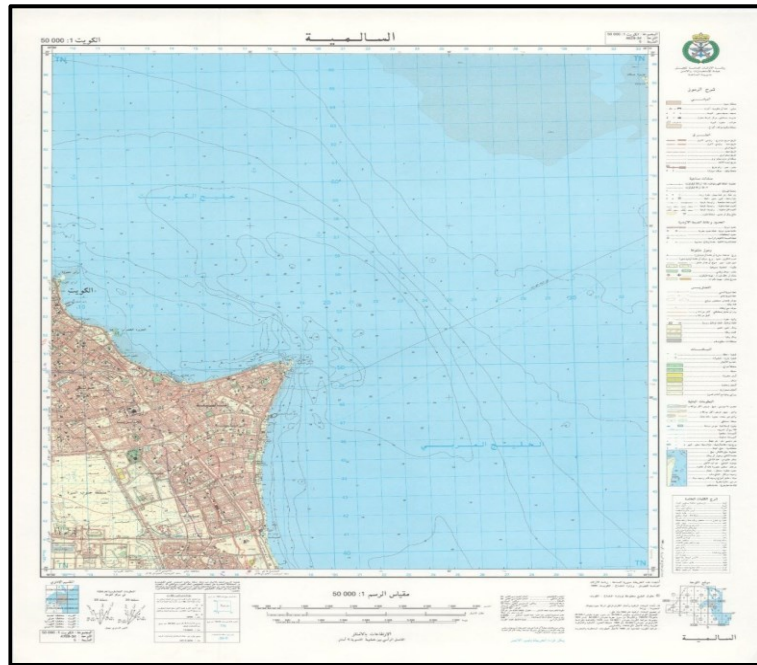
0.702	0.014	3245834.81	504277.00	3245834.80	504276.99	12	21
0.669	0.171	3246031.79	504836.91	3246031.78	504836.94	12	22
0.291	0.552	3245612.75	504852.87	3245612.76	504852.87	12	23
0.663	0.135	3245149.91	505244.61	3245149.91	505244.62	12	24
0.370	0.429	3245205.79	505554.19	3245205.85	505554.20	12	25
0.715	0.130	3244676.69	505717.87	3244676.69	505717.87	12	26
0.42	0.29	متوسط الخطأ المطلق (MAE)					
0.63	0.49	متوسط مربع الخطأ (MSE)					
1.98	1.95	Standard Deviation الانحراف المعياري					
0.15	0.14	متوسط الخطأ التربيعي (RMSE)					

جدول رقم (٤) إحداثيات المرئيات الفضائية ومثيلاتها بالطائرات بدون طيار



شكل رقم (١٨) التوزيع الجغرافي لنقاط الربط الأرضية (الدرون) مع المرئية الفضائية
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على المرئية الفضائية (Worldview 50cm,)

٤- مقارنة مناسيب نقاط الارتفاع في الطائرات بدون طيار مع الخرائط الطبوغرافية: تهتم الجهات المختصة بإنتاج الخرائط الطبوغرافية بأخذ مناسيب نقاط الارتفاع بدقة عالية، وذلك لأهميتها في إنتاج الخرائط الطبوغرافية (الأسمري، ٢٠١٨)، انظر شكل رقم (١٩) لذلك سعت الدراسة إلى استخدام هذه النقاط في مقارنة وقياس دقة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الناتج عن الطائرات بدون طيار، وبعد إجراء التحليل الإحصائي على جدول رقم (٥) المستخدم بواسطة برنامج SPSS بفترة ثقة ٩٥% ، بلغ متوسط الخطأ المطلق في محور Z حوالي 3.01، ومتوسط الخطأ التربيعي حوالي 2.53 ، والانحراف المعياري حوالي 1.47 .



شكل رقم (١٩) خريطة طبوغرافية لمنطقة الدراسة

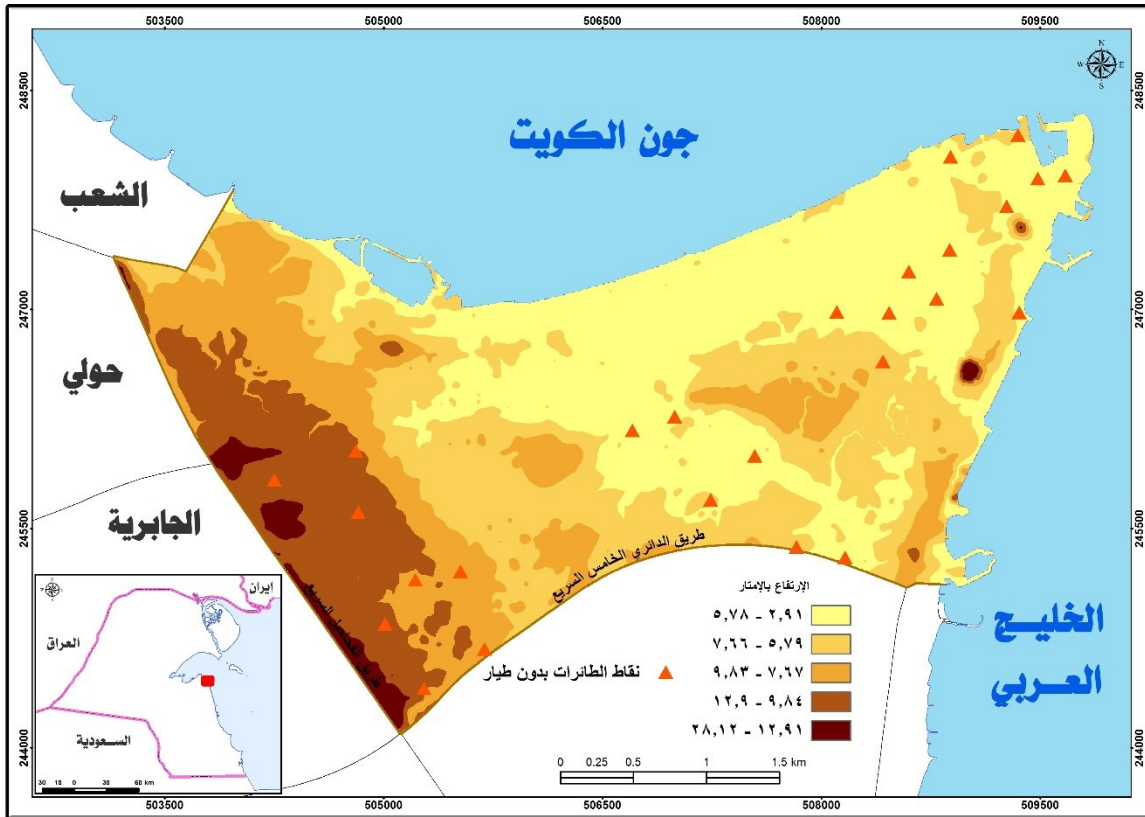
المصدر: وزارة الدفاع الكويتية ١٩٩٥

رقم النقطة	رقم القطعة	X(m)	Y(m)	الارتفاع في الدرون (Z) (m)	الارتفاع في الخرائط الطبوغرافية (Z)	فرق قيم الارتفاع	
1	1	509296.35	3247707.39	5.755	9.82	4.065	
2	1	509509.94	3247896.05	4.973	9.8	4.827	
3	1	509698.07	3247918.65	5.056	9.8	4.744	
4	1	509373.45	3248194.17	5.877	9.48	3.603	
5	1	508910.91	3248044.59	4.957	9.3	4.343	
6	1	509381.32	3246980.63	5.108	9.37	4.262	
7	3	508447.42	3246644.71	7.196	9.08	1.884	
8	3	508131.59	3246984.09	5.069	9.09	4.021	
9	3	508626.09	3247260.07	4.604	9.990	5.386	
10	3	508905.24	3247408.08	4.680	9.490	4.81	
11	3	508815.37	3247074.48	5.096	9.470	4.374	
12	3	508490.00	3246978.54	5.013	9.130	4.117	
13	8	507856.29	3245374.40	6.351	7.8	1.449	
14	8	507268.61	3245695.83	6.438	8.04	1.602	
15	8	506730.78	3246173.03	5.859	9.470	3.611	
16	8	507021.46	3246266.21	5.788	9.440	3.652	
17	8	507570.46	3245998.31	5.808	8.990	3.182	
18	8	508188.58	3245302.05	5.653	8.770	3.117	
19	12	505302.07	3244406.85	11.260	12.390	1.13	
20	12	505035.96	3244849.16	11.398	12.750	1.352	
21	12	504277.00	3245834.81	12.022	14.770	2.748	
22	12	504836.91	3246031.79	10.055	11.329	1.274	
23	12	504852.87	3245612.75	12.450	12.070	0.38	
24	12	505244.61	3245149.91	9.983	11.450	1.467	
25	12	505554.19	3245205.79	9.381	10.530	1.149	
26	12	505717.87	3244676.69	9.119	10.890	1.771	
		متوسط الخطأ المطلق (MAE)					3.01
		متوسط مربع الخطأ (MSE)					1.67
		Standard Deviation الانحراف المعياري					1.47
		متوسط الخطأ التربيعي (RMSE)					.253

جدول رقم (٥) مقارنة نقاط الارتفاع في الطائرات بدون طيار والخريطة الطبوغرافية بمنطقة السالمية

٥- مقارنة نقاط الارتفاع في الطائرات بدون طيار مع التصوير الجوي التقليدي (بواسطة طيار بشري):

تعتبر المساحة التصويرية التقليدية أحد الأدوات المهمة في إنتاج الخرائط بكافة أنواعها، ونتيجة للتكلفة العالية لها، فقد ابتعدت غالبية دول العالم عن تنفيذ هذه المشاريع في فترات زمنية متقاربة، لذلك سعت الدراسة إلى استخدام هذه النقاط المنتجة بواسطة برنامج MicroStation, Image analyst (تصوير جوي تقليدي بلدية الكويت ، ٢٠٠٤) في مقارنة وقياس دقة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) الناتج عن الطائرات بدون طيار، انظر شكل رقم (٢٠) وبعد إجراء التحليل الإحصائي على جدول رقم (٦) بفترة ثقة ٩٥% ، بلغ متوسط الخطأ المطلق في محور Z حوالي 0.476، ومتوسط الخطأ التربيعي حوالي 0.159 ، والانحراف المعياري حوالي 0.267 . ويتضح مما سبق أن ناتج معدلات متوسطات الخطأ المطلق والخطأ التربيعي والانحراف المعياري بين التصوير الجوي التقليدي والطائرات بدون طيار صغير نسبياً ولا يتعدى ١% مما يدل على الدقة العالية في قياس الارتفاعات من التصوير بالدرون والاعتماد عليها في الدراسات، والأبحاث العلمية بالإضافة إلى المشاريع الهندسية والجغرافية.



شكل رقم (٢٠) التوزيع الجغرافي لنقاط الربط الأرضية(الدرون) مع نموذج الارتفاعات الرقمي بواسطة التصوير الجوي التقليدي

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على التصوير الجوي التقليدي (بلدية الكويت، ٢٠٠٤)

رقم النقطة	رقم القطعة	X	Y	الارتفاع في الدرون (Z)	الارتفاع في الخرائط الطبوغرافية (Z)	فرق قيم الارتفاع	
1	1	509296.35	3247707.39	5.755	5.500	0.255	
2	1	509509.94	3247896.05	4.973	4.580	0.393	
3	1	509698.07	3247918.65	5.056	4.320	0.736	
4	1	509373.45	3248194.17	5.877	6.980	1.103	
5	1	508910.91	3248044.59	4.957	4.600	0.357	
6	1	509381.32	3246980.63	5.108	5.420	0.312	
7	3	508447.42	3246644.71	7.196	7.070	0.126	
8	3	508131.59	3246984.09	5.069	4.820	0.249	
9	3	508626.09	3247260.07	4.604	3.930	0.674	
10	3	508905.24	3247408.08	4.680	4.340	0.34	
11	3	508815.37	3247074.48	5.096	4.870	0.226	
12	3	508490.00	3246978.54	5.013	4.610	0.403	
13	8	507856.29	3245374.40	6.351	6.070	0.281	
14	8	507268.61	3245695.83	6.438	6.240	0.198	
15	8	506730.78	3246173.03	5.859	5.810	0.049	
16	8	507021.46	3246266.21	5.788	5.190	0.598	
17	8	507570.46	3245998.31	5.808	4.840	0.968	
18	8	508188.58	3245302.05	5.653	5.040	0.613	
19	12	505302.07	3244406.85	11.260	10.760	0.5	
20	12	505035.96	3244849.16	11.398	10.590	0.808	
21	12	504277.00	3245834.81	12.022	11.450	0.572	
22	12	504836.91	3246031.79	10.055	9.940	0.115	
23	12	504852.87	3245612.75	12.450	11.810	0.64	
24	12	505244.61	3245149.91	9.983	9.400	0.583	
25	12	505554.19	3245205.79	9.381	8.640	0.741	
26	12	505717.87	3244676.69	9.119	8.570	0.549	
		متوسط الخطأ المطلق (MAE)					0.476
		متوسط مربع الخطأ (MSE)					0.660
		Standard Deviation الانحراف المعياري					0.267
		متوسط الخطأ التربيعي (RMSE)					0.159

جدول رقم (٦) إحداثيات نقاط الارتفاع في الطائرات بدون طيار ومثيلاتها في الطيران

النتائج:

١. إنتاج صور جوية (موزيك) عالية الدقة بدرجة دقة مكانية ٤ سم بواسطة الطائرات بدون طيار باستخدام برنامج (Pix4d 4.5.6) وبرنامج (Arcgis 10.8).
٢. إنتاج خرائط رقمية بواسطة الطائرات بدون طيار بدقة نسبية عالية، حيث بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور X حوالي 0.00274، وحوالي 0.0033 في محور Y، وحوالي 0.0059 في محور Z عند مقارنتها بنظام تحديد المواقع العالمي GPS.
٣. إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بواسطة الطائرات بدون طيار بدقة مكانية نسبية عالية (٤ سم)، حيث بلغ متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) في محور Z حوالي 0.159 عند مقارنته بالتصوير الجوي التقليدي (الطيار البشري).
٤. إنتاج شبكة من النقاط الغمامية (PointCloud) بدقة ٤ سم باستخدام برنامج (Pix4d) والتحقق من دقتها من خلال مقارنتها بصور الموزيك.

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

- ✓ يُفضل استخدام أكثر من طائرة بدون طيار في التصوير الجوي خاصة في المساحات الكبيرة من أجل الحفاظ على درجة التباين (Contrast – Brightness) والإضاءة بالصور الجوية، وقد حدث ذلك في قطاع ١٢ بمنطقة الدراسة، حيث يوجد اختلاف في درجة الإضاءة بالصور الجوية نتيجة كبر مساحة المنطقة وتغير درجة إضاءة الشمس أثناء التصوير الجوي.
- ✓ زيادة القيمة المضافة لبيانات الطائرات بدون طيار من خلال بناء نظام معلومات جغرافي يحتوي على كافة بيانات استخدامات الأراضي لمنطقة الدراسة.
- ✓ إجراء المزيد من دراسات المقارنة للبحث في الإضافات التي تقدمها الطائرات بدون طيار والطيران على ارتفاعات مختلفة للحصول على دقة مكانية مختلفة.
- ✓ استخدام كاميرات حرارية في الطائرات بدون طيار من أجل تعظيم الاستفادة منها في العديد من المجالات.
- ✓ تشجيع الشركات المصنعة للطائرات بدون طيار على زيادة دقة أجهزة (GPS) على متن الطائرات بدون طيار من أجل تقادي وضع نقاط ربط أرضية في الطبيعة لزيادة دقة الصور الجوية.
- ✓ تدريس مقررات المساحة التصويرية باستخدام الطائرات بدون طيار في مناهج أقسام الجغرافيا بالجامعات العربية.
- ✓ تعتبر المدن الذكية مشروعا قائما على المعلومات الرقمية والسحابية، وتمثل الطائرات بدون طيار الحل المثالي للتحويل الرقمي الذي تحتاجه المدن الذكية.

- ✓ قيام الدول العربية بتشجيع شركات الطائرات بدون طيار على زيادة الاستثمار في مجال تطوير الطائرات المسيّرة في مجال المساحة التصويرية الرقمية.
- ✓ إذا تعرضت الطائرات المسيّرة لأي حادث يؤدي إلى تلفها فلن يكون هناك حل سوى شراء طائرة جديدة لذلك يجب على الشركات المصنعة لهذه الطائرات توفير قطع صيانة لها وبأسعار رخيصة.
- ✓ تشجيع الدول العربية على إنشاء أكاديميات لتعليم صناعة الطائرات بدون طيار للاستفادة من استخداماتها العسكرية والمدنية المختلفة.
- ✓ تجنب الأماكن التي يحظر فيها التصوير وهناك مناطق ينبغي مراعاة خصوصيتها مثل المناطق العسكرية والمطارات.
- ✓ يجب الحصول على التصاريح القانونية قبل التصوير الجوي تجنباً لحصول مشاكل مع الجهات الحكومية.
- ✓ ضرورة قيام الحكومات بتزويد الجهات البحثية والعلمية بالطائرات بدون طيار وتسهيل استخدام الدرون وفقاً لقوانين وضوابط معينة.

أولاً: الدراسات باللغة العربية

١. أبو راضي، فتحي عبد العزيز (١٩٩٦) المساحة والخرائط دراسة في الطرق المساحية وأساليب التمثيل الكارتوجرافي. القاهرة .
٢. أبو راضي، فتحي عبد العزيز (٢٠٠٣) الاستشعار عن بعد أسس وتطبيقات. مصر. الإسكندرية .
٣. آل طعمه، حسام صاحب (٢٠١٨) الأخطاء الشائعة في خرائط البحوث الجغرافية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية. بغداد.
٤. الأزرق، فوزي عبد الله (٢٠١٩) طائرات التحكم عن بعد. عمان. الأردن .
٥. الأسمرى، عبدالله حسن (٢٠١٨) تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية (دراسة مقارنة مع نماذج محلية ونماذج عالمية) . مصر.
٦. الأسمرى، عبدالله حسن (٢٠١٦) إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من الصور الجوية دراسة حالة الجزء الأعلى من عقبة المخواة، رسالة ماجستير . السعودية.
٧. الجوهري، يسرى (١٩٩٧) الخرائط الجغرافية. مصر. الإسكندرية .
٨. الحسن، عصمت محمد (٢٠٠٠) مبادئ المساحة التصويرية الجوية . السودان.
٩. الحسن، عصمت محمد (٢٠١١) المساحة التصويرية التجسيمية . الرياض.
١٠. الحديثي، هالة صلاح، وآخرون (٢٠٢٠) المسؤولية المدنية عن اضرار الطائرات المسيّرة دراسة تحليلية العراق.
١١. الخليل، عمر محمد (٢٠٢٢) المساحة التصويرية باستخدام الطائرات بدون طيار . سوريا.
١٢. الخليل، عمر محمد (٢٠١٤) النمذجة ثلاثية الأبعاد للمناطق الحضرية باستخدام برامج المساحة التصويرية القريبة ونظم المعلومات الجغرافية . سوريا.
١٣. الخزامى، عزيز محمد (١٩٩٢) قاموس مصطلحات نظم المعلومات الجغرافية. مصر .
١٤. الخزامى، عزيز محمد (١٩٩٨) نظم المعلومات الجغرافية (أساسيات وتطبيقات للجغرافيين العرب). مصر. الإسكندرية .
١٥. الأزهرى ، محمد ايهاب صلاح (٢٠٠٩) تطبيقات عملية في نظم المعلومات الجغرافية . القاهرة .
١٦. الراوي، طارق (٢٠١٥) الطائرات المسيّرة – الطائرات بلا طيار . العراق.
١٧. الساعدي، حسين، والوائل، وائل (٢٠١٤) الطائرات المسيّرة وتطبيقاتها العسكرية . الأردن.
١٨. الشريعي، أحمد البدوي (١٩٩٧) الخرائط الجغرافية تصميم وقراءة وتفسير . القاهرة .
١٩. الشريعي، أحمد البدوي محمد (٢٠٠٣) الخرائط العملية نماذج وتطبيقات. مصر. القاهرة .
٢٠. الشواء، مجد ، أخرون، تقدير كميات الأنقاض في المناطق العمرانية المدمرة اعتماداً على المساحة التصويرية بالطائرات المسيّرة.
٢١. الشافعي، شريف فتحي (٢٠٠٤) المساحة التصويرية . القاهرة .
٢٢. الصغير، أحمد حسين (٢٠٢١) الجامعات المصرية وتحقيق متطلبات وظائف المستقبل في ضوء الثورة الصناعية الرابعة .
٢٣. العمران، علي إبراهيم (٢٠١٢) مقدمة في الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقمياً. الرياض.
٢٤. العتبي، سامي عزيز، والطائي، إياد عاشور (٢٠١٢) الإحصاء والنمذجة في الجغرافية. بغداد .
٢٥. الغزالي، محمد شوقي (١٩٨٥) إنتاج الخرائط الطبوغرافية من الصور الجوية باستخدام الفوتوجرامتري . الكويت.
٢٦. الغامدي، سعد أبو راس (٢٠٠٨) التصوير الجوي: أسس وتطبيقات . مكة المكرمة .
٢٧. القليح، عصام (٢٠١٧) النمذجة بطرق الأوليات الهندسية للغامات النقطية ثلاثية الأبعاد . دمشق.
٢٨. المحمودي، محمد سرحان علي (٢٠١٩) مناهج البحث العلمي . صنعاء.

٢٩. الجاسم، كاظم عبادي حمادي (٢٠٢٣) الأساليب الإحصائية في الجغرافيا . بغداد.
٣٠. الدليمي ، خلف حسين على (٢٠٠٧) الاتجاهات الحديثة في البحث العلمي الجغرافي . عمان.
٣١. الدليمي، عصام حسن، وصالح، علي عبد الرحيم (٢٠١٤) البحث العلمي أسسه ومناهجه . عمان.
٣٢. الرجال ، محمد عبد الرحيم (٢٠٠٨) نظم المعلومات الجغرافية . القاهرة.
٣٣. المجنوب، مساني نعمان بدر، وآخرون (٢٠٢٠) إنتاج الخرائط الرقمية من الصور الجوية المأخوذة بالطائرات المسيّرة.
٣٤. المسن، مبارك بن محمد ناصر(٢٠٠٤) انتاج الخرائط الطبوغرافية من ملفات المسح الجوي مباشرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
٣٥. الخروصي، خالد بن سليمان(٢٠٠٦) الطبوغرافيا وتطور علم الخرائط. بيروت.
٣٦. الفقهي ، أشرف عبد السلام (٢٠٠٧) خرائط التوزيعات بين الطرق التقليدية واستخدام برامج أنظمة المعلومات الجغرافية – دراسة تطبيقية على سكان منطقة مصراته . رسالة ماجستير غير منشورة . طرابلس.
٣٧. بنجامن، ميديا، ترجمة الصباغ، أيهم (٢٠١٤) حرب الطائرات بدون طيار. الدوحة.
٣٨. حماد، ولاء الدين جميل (٢٠٢٠) استعمال الصور الجوية بواسطة الطائرات المسيّرة لإعداد خرائط سلاسل ترب منطقة عركوف شمال غرب بغداد . رسالة ماجستير . بغداد.
٣٩. داود، جمعة محمد (٢٠١٢) مدخل الي الخرائط الرقمية، مكة المكرمة.
٤٠. داود، جمعة محمد (٢١٠٣) مقدمة في الصور الجوية والمرئيات الفضائية. مكة المكرمة.
٤١. داود، جمعة محمد (٢٠١٤) دراسات تطبيقية في الجيوماتكس. مصر.
٤٢. رضوان، علي (١٩٧٩) المساحة التصويرية . الرياض .
٤٣. سليمة ، بن تومي ، وآخرون (٢٠١٥) الإستخدامات المدنية للطائرات بدون طيار . ماجستير . الجزائر :
- كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية.
٤٤. كمال، سارة عبدالله (٢٠٢٠) التنظيم القانوني للاستخدام المدني للطائرات بدون طيار، رسالة ماجستير. قطر.
٤٥. سعيد، هالة محمد، وهادي، خلود علي (٢٠١٠) أهمية دراسة نموذج الإرتفاعات الرقمي وتطبيقاته المختلفة . بغداد.
٤٦. سيف، محمود محمد (١٩٩٨) أسس البحث الجغرافي . القاهرة .
٤٧. صالح، أحمد سالم (٢٠٠٠) مقدمة في نظم المعلومات الجغرافية . مصر.
٤٨. صيام، يوسف مصطفى. (٢٠٠٦) مبادئ في التقنيات المساحية الحديثة، المساحة التصويرية والإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. عمان.
٤٩. صادق، علي عبدالله (٢٠٠٦) مقدمة في المساحة التصويرية التحليلية والرقمية . الرياض.
٥٠. عبد الوهاب، سامح (٢٠١٢) أسس البحث الجغرافي . القاهرة .
٥١. عبد الوهاب، سامح (٢٠٠٢) الكارتوجرافيا الحديثة ودعم قضايا التنمية، حلقة السابعة لمنظمة العواصم والمدن الإسلامية حول تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.
٥٢. عبد الحكيم، محمد صبحي، ماهر عبد الحميد، كتاب علم الخرائط.(١٩٩٦). مصر.
٥٣. عبداللاه، عبد الفتاح صديق (٢٠٠٥) أسس الصور الجوية والإستشعار عن بعد. الرياض.
٥٤. عوده، سميح أحمد (١٩٨٥) استخدام الصور الجوية في إعداد الخرائط المساحية غير الكمية مع تطبيق على خرائط استعمال الأرض الريفي . الأردن .
٥٥. عطية، أحمد (٢٠١٩) إنتاج الخرائط الطبوغرافية الرقمية لمركز المنيا . مصر.

٥٦. فالح، علي، وجمال شعوان (٢٠١٢) نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد : مبادئ وتطبيقات . المغرب.
٥٧. فتحي، محمد فريد (١٩٩٣) المساحة للجغرافيين – المساحة المستوية والتصويرية . مصر.
٥٨. مزياني، فيروز (٢٠٢٢) الطائرات بدون طيار: تغيير الحرب باستخدام الذكاء الاصطناعي.
٥٩. فريدة، إسماعيل (١٩٨٢) الصور الجوية – تفسيرها وتطبيقاتها . الكويت.
٦٠. الجاسم، كاظم عبادي حمادي (٢٠٢٣) الأساليب الإحصائية في الجغرافيا. العراق.
٦١. مصطفى، أحمد (١٩٨٧) الخرائط الكنتورية – تفسيرها وقطاعاتها . مصر.
٦٢. موسى، وسيم توفيق (٢٠٢٠) التطورات الحالية في المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار مع أمثلة تطبيقية . سوريا.
٦٣. نسور، هديل احمد (٢٠٢٢) تحديث الخرائط في صور الأقمار الصناعية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية . الأردن .

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Agüera, F., Carvajal, F., & Pérez, M. (2011): Measuring sunflower nitrogen status from an unmanned aerial vehicle-based system and an on the ground device. In ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci, XXVIII-1/C2, pp.33-37.
2. Ali, Z., Tuladhar, A., and Zevenbergen, J. (2012). An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. In International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, pp. 386-398.
3. 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.
4. Barnes, G., Volkmann, W., Sherko, R., Kelm, K., (2014). Drones for Peace: Part 1 of 2 Design and Testing of a UAV-based Cadastral Surveying and Mapping Methodology in Albania. In: World Bank Conference on Land and Poverty, Washington DC, USA, 24-27 March 2014.
5. Barnes, G., et al., (2014). Part 1 of 2 Design and Testing of a UAV-based Cadastral Surveying and Mapping Methodology in Albania. In: World Bank Conference on Land and Poverty, Washington DC, USA, 24-27 March 2014.
6. Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Giulio Tonolo, F., Marenchino, D., Piras, M., (2008). Low Cost UAV for Post- Disaster Assessment. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 37(B8), pp.1373-1379.
7. Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., and Rinaudo, F (2011): UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas, two tests in the Piedmont region (Italy). Journal of Archaeological Science, 38(3), pp. 697-710.
8. Choi, K. and Lee, I. (2011). A UAV-based close-range rapid aerial monitoring system for emergency responses. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011, pp.247-252.

9. Colomina, I. and Molina, P. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 92, pp. 79-97.
10. Costa, F.G. Ueyama, J. Braun, T. Pessin, G. Osório, F.S. and Vargas, P.A. 2012. The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Munich, Germany, 22-27 July 2012.
11. Cramer, M. Bovet, S. Gültlinger, M. Honkavaara, E. McGill, A. Rijsdijk, M. Tabor, M. and Tournadre, V. 2013. On the use of RPAS in national mapping—The EUROSDR point of view. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013, pp.93-99.
12. Cunningham, K. Walker, G. Stahlke, E. and Wilson, R. 2011. Cadastral Audit and Assessments Using Unmanned Aerial Systems.' In: UAV-g: Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics. Zurich, Switzerland, 14-16 September 2011.
13. Dolan, A.M. and Ii, R.M.T. (2013). Integration of Drones into Domestic Airspace: Selected Legal Issues. Current Politics and Economics of the United States, Canada and Mexico, 15(1), pp. 107-137.
14. Düsseldorf, (2016). Digital Photogrammetry A Practise Course. Germany
15. Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. Ph.D. Thesis. Institute for Geodesy und Photogrammetry, ETH-Zürich. Zürich, Switzerland
16. Falanga, D., Kleber, K., Mintchev, S., Floreano, D. and Scaramuzza, D., (2018). The Foldable Drone: A Morphing Quadrotor That Can Squeeze and Fly. IEEE Robotics and Automation Letters, 4(2), pp.209-216.
17. Federman, A., Shrestha, S., Quintero, M., Mezzino, D., Gregg, J., Kretz, S. and Ouimet, C., (2018). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry in the Conservation of Historic Places: Carleton Immersive Media Studio Case Studies. Drones, 2(2), p.18.
18. Feng, Y., Zhang, C., Baek, S., Rawashdeh, S. and Mohammadi, A., (2018). Autonomous Landing of a UAV on a Moving Platform Using Model Predictive Control. Drones, 2(4), p.34.
19. Fitzpatrick, Brayan phillip, (2016). Unmanned Aerial Systems for Surveying and Mapping.
20. Fahlstrom, Paul Gerin and Gleason, Thomas James (2012). Introduction to Uav Systems.
21. Gerke, M., and Przybilla, H.J. (2016). Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns. . 'Geoinformation-Fernerkundung-Photogrammetrie.
22. Gonçalves J.A. and Henriques R. (2015): UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 104. 101–111.

23. Gerke, M., (2018). Developments in UAV-Photogrammetry. Journal of Digital Landscape Architecture, 3-2018, pp. 262-272.
24. González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J. and Bueno, M., (2017). Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A review. Drones, 1(1), p.2.
25. Haitao, X. and Lei, T. (2010). Method for automatic georeferencing aerial remote Sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. •Biosystems Engineering
26. Jenkins, Nathan Alexander Lindo.(2015). An Application of Aerial Drones in Zoning and Urban Land Use Planning in Canda
27. Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M & F. Nex (2016): Using UAVs for map creation and updating A case study in Rwanda, Survey Review.
28. Küng, O. Strecha, C. Beyeler, A. Zufferey, J.-C. Floreano, D. Fua, P. and Gervais, F. (2012). The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-Light Uav Imagery. In: UAV-g: Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics. ١٦-١٤ Zurich, Switzerland, .
29. Kohoutek, T. and Eisenbeiss, H., (2012). Processing of UAV Based Range Imaging Data to Generate Detailed Elevation Models of Complex Natural Structures. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 39(B1), pp.405-410.
30. Keane, John, F. and Car, Stephen S., (2013). A Brief History of Early Unmanned Aircraft.
31. Luhmann, T., (2019). Recent developments in Close-Range Photogrammetry. GIM International, February 2019, pp. 14-19.
32. Lucieer, A., Robinson, S., Turner, D., Harwin, S. and Kelcey, J. (2012). Using a micro-UAV for ultra-high-resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1, pp. 429-433.
33. 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.
34. Luhmann, T., Chizhova, M., Gorkovchuk, D., Hastedt, H., Chachava, N. and Lekveishvili, N., (2019). Combination of Terrestrial Laser scanning, UAV and Close-Range Photogrammetry for 3D Reconstruction of Complex Churches in Georgia. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 42(2/W11).
35. Liu Dichen, (2013), 3D Mapping wih UAV.Unsw.Australia.
36. Manyoky, M. Theiler, P. Steudler, D. and Eisenbeiss, H. 2011. Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. In: UAV-g: Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics. Zurich, Switzerland, 14-16 September 2011.
37. Molina, P. Parés, M. Colomina, I. Vitoria, T. Silva, P. Skaloud, J. Kornus, W. Prades, R. and Aguilera, C. 2012. Drones to the Rescue! Unmanned aerial search missions based on thermal imaging and reliable navigation. Inside GNSS, 7, pp. 36-47

38. Mueller, M. and Jutzi, B., (2018). UAS Navigation with SqueezePoseNet—Accuracy Boosting for Pose Regression by Data Augmentation. *Drones*, 2(1), p.7.
39. Nex, F., and Remondino, F. 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), pp. 1–15.
40. Nex, F. and Remondino, F., (2019). Preface: Latest Developments, Methodologies, and Applications Based on UAV Platforms. *Drones 2019*, 3(1), 26.
41. Neitzel, F. and Klonowski, J., (2011). Mobile 3D Mapping with a Low-Cost UAV System. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 38(I/C22), pp.1-6.
42. Pailk, Matyas,(2019). Brief History of UAV Development.
43. Rinaudo, F. Chiabrandò, F. Lingua, A.M. and Spanò, A.T. 2012. Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIX n. B5, pp. 583-588
44. Skarlatos, D. Procopiou, E. Stavrou, G. and Gregoriou, M. 2013. Accuracy assessment of minimum control points for UAV photography and georeferencing. In: *First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2013)*. Paphos, Cyprus, 8-10 April 2013.
45. Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M. and Zevenbergen, J., (2017). Review of The Current State of UAV Regulations. *Remote sensing*, 9(5), p.459.
46. Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M. and Gerke, M., (2017). Quality Assessment of Combined IMU/GNSS Data for Direct Georeferencing in The Context of UAV-Based Mapping. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 42, pP.355- 361.
47. Nex, F., Duarte, D., Steenbeek, A. and Kerle, N., (2019). Towards Real-Time Building Damage Mapping with Low-Cost UAV Solutions. *Remote sensing*, 11(3), p.287.
48. Natesan, S., Armenakis, C., Benari, G. and Lee, R., (2018). Use of UAV-Borne Spectrometer for Land Cover Classification. *Drones*, 2(2), p.16.
49. Palazzolo, E. and Stachniss, C., (2018). Effective Exploration for MAVs Based on The Expected Information Gain. *Drones*, 2(1), p.9.
50. Turner, D. Lucieer, A. and Watson, C. 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SFM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5), pp. 1392–1410.
51. Watts, A.C. Ambrosia, V.G. and Hinkley, E.A. 2012. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), pp. 1671–1692.
52. Zarco-Tejada, P., and Berni, J. 2012. Vegetation monitoring using a micro-hyperspectral imaging sensor onboard an unmanned aerial vehicle (UAV). In:

- Proceedings of the EuroCOW 2012, European Spatial Data Research (EuroSDR), Castelldefels, Spain, 8-10 February 2012.
53. Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 2016; 8(6) 501.
54. Reva PL, Filipova SL , Filipov DG.(2016). Volume computation of a stockpile - a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress.
55. Ruzgiene, B. & Aksamitauskas, C. (2013): The use of UAV systems for mapping of built-up area. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W2, pp 349-353.
56. Vallet, J., Panissod, F., Strecha, C. and Tracol, M., (2012). Photogrammetric Performance of an Ultra-Light Weight Swinglet UAV. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 38(1), pp.253-258.