

## Effectiveness Evaluation of Using Unmanned Aerial Vehicles (Drones) in Topographic Maps Production – Case study: steep area

Dr. Omar Al Khalil\*  
Dr. Mouhsen Ahmad\*\*  
Lemar Zalkha\*\*\*

(Received 3 / 4 / 2024. Accepted 25 / 6 / 2024)

### □ ABSTRACT □

With the increasing use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) (Drones) in various fields nowadays, especially in mapping, there is a need for organized mechanisms and methodologies to assess the accuracy of this technology, as it is influenced by various factors. This study discusses the latest developments in processing drones' images for photogrammetric applications and mapping, focusing on using the latest standards to evaluate the accuracy of products derived from drones' images, such as Digital Terrain Models (DTM) used to generate contour lines and orthophotos that represent the necessary base map for drawing the vector map .and some theoretical concepts related to the use of drones for producing topographic maps were presented. The results of a case study conducted in Ain Al-Fijah area in Syria demonstrated the effectiveness of this technology, with overall accuracy of aerial triangulation 9.7 cm. Regarding vertical accuracy of Digital Terrain Model, and horizontal accuracy of orthophoto, they reached 23.7 cm and 15.5 cm respectively meeting American standards (ASPRS), which are the latest available standards for evaluating the accuracy of drones' products. This is an acceptable accuracy for obtaining topographic maps at a scale of 1:10000.

**Key words:** Unmanned Aerial Vehicles, UAV-Photogrammetry, Positional Accuracy Standards (ASPRS), Digital Terrain Model (DTM), Digital Surface Model (DSM), Orthophoto.

**Copyright**



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

---

\* Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* Postgraduate Student (Master), Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Lemarzalkha@gmail.com

## تقييم فعالية استخدام الطائرات دون طيار (الدرونات) في إنتاج الخرائط الطبوغرافية - حالة الدراسة: منطقة شديدة الانحدار

د. عمر الخليل\*

د. محسن أحمد\*\*

ليمار زلخا\*\*\*

(تاريخ الإيداع 3 / 4 / 2024. قُبِلَ للنشر في 25 / 6 / 2024)

### □ ملخص □

مع تزايد استخدام الطائرات دون طيار (الدرونات) في الوقت الحاضر في المجالات المختلفة وبخاصة في مجال رسم الخرائط لابد من وجود آلية ومنهجية للحكم على دقة هذه التقنية، باعتبار أنها تتأثر بالعديد من العوامل المختلفة. تتناول هذه الدراسة أحدث التطورات في طرائق معالجة صور الدرونات لتطبيقات المساحة التصويرية ورسم الخرائط وتركز على استخدام أحدث المعايير في تقييم دقة المنتجات المشتقة من معالجة صور الدرونات والتي أهمها النموذج الرقمي للأرض المستخدم لتوليد خطوط الكونتور والصورة المصححة عمودياً (الأورثوفوتو) و التي تمثل خريطة الأساس اللازمة لرسم الخريطة المتجهية. وتم عرض بعض المفاهيم النظرية المرتبطة باستخدام الطائرات دون طيار لإنتاج الخرائط الطبوغرافية. وقد بينت نتائج حالة الدراسة التي قمنا بها في منطقة عين الفيحة في سوريا فعالية هذه التقنية حيث بلغت الدقة الكلية للتثليث الجوي 9.7 cm. وفيما يخص الدقة الشاقولية للنموذج الرقمي للأرض والدقة الأفقية للأورثوفوتو كانت على التوالي 23.7 cm و 15.5 cm ووفق المعايير الأمريكية ASPRS وهي أحدث المعايير المتوافرة الآن لتقييم دقة منتجات الدرونات وهي دقة مقبولة من أجل الحصول على خرائط طبوغرافية بالمقياس 1:10000.

**الكلمات المفتاحية:** الطائرات دون طيار، المساحة التصويرية باستخدام الطائرات دون طيار، معايير الدقة المكانية (ASPRS)، النموذج الرقمي للسطح، النموذج الرقمي للتضاريس، الأورثوفوتو.



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

CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

\*\* أستاذ. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير). قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة تشرين. اللاذقية. سورية.

Lemarzalkha@gmail.com

**مقدمة:**

قبل ظهور تقنية الطائرات دون طيار (UAVs) Unmanned Aerial Vehicles كان يتم الحصول على الخرائط الطبوغرافية كبيرة المقياس لمنطقة الدراسة بتطبيق الطرائق المساحية التقليدية التي توجب اتباع العديد من الإجراءات المعقدة والتي تستمر فترة طويلة من الزمن قبل الحصول على النتائج [1].

تعد الطائرات دون طيار في الوقت الحاضر مصدراً قيماً للبيانات المتعلقة برسم الخرائط والنمذجة ثلاثية الأبعاد حيث تعتبر بدائل منخفضة التكلفة عن الطائرات المأهولة، ويمكن للطائرات دون طيار ذات الأجنحة الثابتة أو الدوارة والقادرة على الحصول على البيانات باستخدام آلات تصوير رقمية أن تطير وفق أوضاع يدوية أو نصف آلية أو آلية. ويمكن الحصول من معالجة صور هذه الطائرات على عدة منتجات مثل النموذج الرقمي للارتفاع (DEM) Digital Elevation Model والنموذج الرقمي للسطح (DSM) Digital Surface Model وخطوط الكونتور والنماذج ثلاثية الأبعاد وبيانات شعاعية وما إلى ذلك [2].

تسمح إمكانية النقاط الصور من الطائرات دون طيار بالإضافة إلى التطورات الحديثة في الرؤية بمعونة الحاسب (Computer-Aided Vision (CAD والمساحة التصويرية بإجراء تمثيلات لسطح الأرض بطريقة سريعة واقتصادية ومع ذلك نادراً ما يتم تقييم الدقة الهندسية لمثل هذه التمثيلات بشكل كامل [3].

تتأثر الدقة النهائية للمسح باستخدام الطائرات دون طيار بالعديد من المتغيرات المتنوعة بما في ذلك تخطيط الرحلة وجودة آلة التصوير وخوارزميات واستراتيجية الإرجاع الجغرافي Georeferencing. تتم المعالجة اللاحقة لصور الدرونات باستخدام تقنية اقتطاع البنية من الحركة (Structure from Motion (SfM والتي تمت أتمتها بدرجة عالية باستثناء بعض المهام مثل اختيار مستوى المعالجة المناسب ووضع علامات على نقاط الضبط المستخدمة [3].

تشمل المزايا المهمة لتقنية الطائرات دون طيار مقارنة بالطرائق التقليدية انخفاض التكلفة ورسم الخرائط بشكل أسرع والدقة الزمانية والمكانية الأعلى والمراقبة الآمنة للمناطق الخطرة والتي يتعذر الوصول إليها والاستجابة السريعة في حالات الطوارئ. وفي الآونة الأخيرة كان هناك انتشار لدراسات تقييم الدقة والتحقق من صحة المسح القائم على تقنية الطائرات دون طيار ومع ذلك تختلف دراسات التحقق الكمي قليلاً وللكشف عن الحدود الحقيقية لهذه التقنية لا بد من تجميع مجموعة كبيرة من الدراسات الفردية السابقة. ومناقشة العوامل الرئيسية التي تؤثر على دقة منتجات هذه التقنية [4].

ومن العوامل الأساسية التي تعتمد عليها الدقة بشكل أساسي دقة المستشعر وارتفاع الطيران وتداخلات الصور وعدد نقاط الضبط الأرضية وتوزيعها ودقتها بالإضافة إلى أن برامج المعالجة تلعب دوراً رئيسياً، فخطة الطيران الجيدة واستخدام برنامج المعالجة المناسب يوفران دقة أفقية ورأسية أعلى. بالإضافة إلى أن نتائج التحليل الإحصائي من غالبية الدراسات الكمية أكدت أن الخطأ المتوسط التربيع على الموقع الشاقولي يلبي متطلبات معيار رسم الخرائط من معايير (ASPRS) American Society for Photogrammetry and Remote Sensing [4].

وتمت الإشارة في أحد الأبحاث إلى أحدث ما توصلت إليه الطائرات دون طيار في تطبيقات الجيوماتكس مع توضيح أحدث التطورات في معالجة صور الطائرات دون طيار والإضاءة على المشكلات المتعلقة بمعالجة البيانات وشرح هذا البحث سير عمل المعالجة المساحية التصويرية وأكد أن صور الطائرات دون طيار تستخدم جنباً إلى جنب مع المسح الأرضي من أجل إغلاق فجوات النمذجة ثلاثية الأبعاد وإنشاء صور مصححة عمودياً [5].

وبدراسة أخرى تم تحديد طرائق تقييم الدقة ومناقشة مزايا وعيوب كل طريقة من حيث إمكانية تطبيقها على بيانات الطائرات دون طيار ليكون ذلك بمثابة أساس لتنفيذ الأساليب الأكثر ملاءمة في سير عمل رسم الخرائط المساحية

باستخدام تقنية الطائرات دون طيار وتم التأكيد على ميزات هذه الأخيرة بأنها تتحرك بشكل مرن وتلتقط صور عالية الدقة وتخلق تحت الغيوم بالإضافة إلى سهولة إقلاعها وهبوطها وأنه يلزم لتحديد الدقة وجود بيانات مرجعية للمقارنة معها [6]. ونجد في بحث آخر لمحة عامة عن معالجة بيانات الطائرات دون طيار. والذي تم التطرق فيه أيضا إلى الجوانب الجديدة في بيانات الطائرات دون طيار والتي تكمن في الدقة العالية والتوافر العالي للبيانات الطيفية والهندسية (DSM) والمرونة في التكامل مع أجهزة الاستشعار عن بعد الأخرى [7]. وقد بدأت بعض القطاعات في الجمهورية العربية السورية مؤخرا باستخدام تقنية المساحة التصويرية باستخدام الطائرات دون طيار UAV-Photogrammetry في مشاريع المسح الطبوغرافي بهدف الحصول على مخططات طبوغرافية ذات مقاييس كبيرة، مما يطرح العديد من التساؤلات التي تخص هذه التقنية وخاصة فيما يتعلق بدقة منتجاتها ومنهجية تقييمها. ولعل أهم هذه المنتجات هي الصورة المصححة عموديا (الأورثوفوتو) والتي تمثل خريطة الأساس اللازمة لرسم الخريطة المطلوب إنجازها.

### أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من أنه يحاول وضع منهجية مفصلة لتقييم دقة المنتجات المشتقة من صور الطائرات دون طيار باستخدام معايير دقة مختلفة مع الأخذ بعين الاعتبار طبوغرافية المنطقة المدروسة بالإضافة إلى توضيح المفاهيم النظرية الأساسية المتعلقة بهذه المنتجات والعرض المفصل لمراحل معالجة صور الدرونات، أما أهداف البحث فهي:

- اقتراح منهجية عملية لتقييم دقة المنتجات المشتقة من معالجة صور الطائرات دون طيار.
- عرض سير العمل لعملية معالجة صور الدرونات بشكل كامل.

وفي هذا البحث سيتم عرض تطبيق عملي لاستخدام الدرونات في المسح الطبوغرافي لمنطقة عين الفيحة التابعة لمحافظة ريف دمشق في الجمهورية العربية السورية.

### طرائق البحث ومواده:

#### 1- المساحة التصويرية باستخدام اقتطاع البنية من الحركة

وهي تقنية سهلة الاستخدام، منخفضة التكلفة، تستخدم للحصول على بيانات عالية الدقة من مختلف المقاييس، ولتحديد المواقع ثلاثية الأبعاد للنقاط في المشهد المصور، تتطلب طرائق المساحة التصويرية البرمجية التقليدية موقع وتوجيه آلة التصوير أو المواقع ثلاثية الأبعاد لسلسلة من نقاط الضبط الأرضية بالمقابل أسلوب ال SfM لا يتطلب معرفة أي مما سبق لإعادة بناء المشهد، حيث يتم تحديد مواقع وتوجيه آلات التصوير وإعادة بناء هندسية المشهد المصور بشكل متوافق وذلك عبر التحديد الآلي للسمات المرتبطة في الصور المتعددة. حيث يتم تتبع هذه السمات من صورة إلى أخرى، مما يسمح بتقدير أولي لمواقع آلة التصوير وإحداثيات العنصر والتي يتم لاحقاً تحديدها النهائي باستخدام طريقة المربعات الصغرى [8].

وفيما يلي نعرض تسلسل العمل في معظم خوارزميات اقتطاع البنية من الحركة والذي يطبق في كل البرمجيات التي تستخدم هذه الخوارزميات ومنها البرنامج Agisoft Metashape [9]:

- a. تصوير العنصر بحيث تظهر كل نقطة منه على صورتين على الأقل، هذا الجزء من العمل يدوي.
- b. توجيه الصور ومعايرة آلة التصوير بشكل آلي.

- c. استشعار السمات على الصور بشكل آلي.
- d. ربط السمات المتشابهة على الصور بشكل آلي.
- e. تحديد أولي لمواقع آلة التصوير في نظام إحداثيات حيز الصورة بشكل آلي.
- f. بناء غمامة كثيفة من النقاط بشكل آلي وذلك بتطبيق طريقة ربط الصورة.
- g. توليد النموذج الشبكي للعنصر بشكل آلي.
- h. إعادة إسقاط الصور على سطوح النموذج الشبكي وتوليد النموذج الصوري بشكل آلي.
- i. وضع النموذج في جملة إحداثيات حيز العنصر بمساعدة نقاط ضبط بشكل نصف آلي.
- j. تصدير النموذج بصيغ متعددة لاستخدامه في تطبيقات لاحقة

## 2- مسافة الاعتيان الأرضية (GSD) Ground Sample distance ، التثليث الجوي وآلية تقييم دقته.

من المفاهيم الأساسية التي يجب معرفتها عند التعامل مع تقنية المساحة التصويرية باستخدام الدرونات هي مسافة الاعتيان الأرضية التي يمكن استخدامها التعبير عن مقياس الصورة، تحديد ارتفاع الطيران المناسب، التعبير عن مقياس الأورثوفوتو وكذلك تحديد قيمة التغطية الأرضية للصورة. وتمثل المسافة بين مركزي بكسلين متتاليين يتم قياسهما على الأرض، وعادةً ما تعطى قيمة GSD بالسنتيمتر/البكسل [10].

التثليث الجوي هو مصطلح يشير إلى عملية تحديد الإحداثيات الأرضية Z و Y و X للنقاط الفردية بناء على قياسات مأخوذة من سلسلة من الصور الجوية المتداخلة. تقلل هذه العملية من أعمال المسح الميداني ومراقبة نقاط الضبط المطلوبة لنقل نظام الإحداثيات الصوري إلى نظام الإحداثيات الأرضي. لذا، فإن التثليث الجوي هو ببساطة توفير للوقت وتقليل لتكلفة المشاريع. لهذه الأسباب وغيرها التثليث الجوي يمكن اعتباره خطوة حاسمة تتعلق بجودة المشروع، وهو أساس جميع العمليات التصويرية. ويزودنا التثليث الجوي بمعاملات التوجيه الخارجي لجميع الصور الفوتوغرافية والإحداثيات ثلاثية الأبعاد لجميع نقاط العنصر المقاسة التي تستخدم لتوليد النماذج ثلاثية الأبعاد عالية الدقة [11]. لتقييم الدقة المطلقة للتثليث الصوري المنجز بطريقة التعديل بالحزم للصور الملتقطة باستخدام طائرة دون طيار، فإن المعايير العالمية الخاصة بالبيانات المكانية [12]، تقترح استخدام مفهوم GSD حيث يمكن لنا توقع دقة أفقية تتراوح من  $1 \times GSD$  إلى  $2 \times GSD$  ودقة شاقولية تتراوح من  $1 \times GSD$  إلى  $3 \times GSD$  من أجل منتجات المسح التصويري باستخدام تقنية UAV-photogrammetry المحسوبة بشكل صحيح.

## 3- النماذج الرقمية للارتفاعات وتقييم دقتها

يمكن نمذجة سطح الأرض بثلاثة أبعاد باستخدام النماذج الرقمية للارتفاعات DEMs، النماذج الرقمية للتضاريس Digital Terrain Models (DTMs)، النماذج الرقمية للسطح DSMs. وال DTM مجموعة من النقاط التي تمثل التوزيع المكاني لأنواع مختلفة من التضاريس [13].

يطلق على ال DEM اسم DTM عندما يرتبط بتمثيل الأرض الجرداء (التربة المكشوفة) بغض النظر عن الموجودات فوق سطح الأرض (المباني، الجسور والغطاء النباتي وما إلى ذلك) أما عندما تتم نمذجة ما يوجد فوق سطح الأرض يطلق على ال DEM اسم ال DSM [13].

لتقييم دقة هذه المنتجات اقترحت معايير ال (ASPRS) استخدام عدد محدد من نقاط الاختبار يتبع لمساحة المنطقة المدروسة وللتغطية النباتية في هذه المنطقة، وهي نقاط معلومة الإحداثيات لا تدخل بالحساب أثناء عملية التثليث الصوري. وتبنى هذه المعايير على افتراض أن الأخطاء تتبع التوزيع الطبيعي ولا تحوي قيم شاذة. حيث يوجد

عدة طرق لمعرفة هذه القيم والتخلص منها ومنها طريقة الربيعات التي تقوم على حساب الربيعين الأول Q1 والثالث Q3 لعينة القياسات.

فإذا كان من الممكن توزيع الأخطاء توزيعاً طبيعياً ولا توجد قيم شاذة في مجموعة البيانات يمكن حساب الدقة الشاقولية المطلقة من العلاقة التالية [14]:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2} \quad (1)$$

$$\Delta Z_i = Z_{reference(i)} - Z_{DEM(i)} \quad (2)$$

حيث  $Z_{reference(i)}$  هو الارتفاع المرجعي لنقطة الاختبار  $Z_{DEM(i)}$  هو ارتفاع نقطة الاختبار المقطع من نموذج الأرض الرقمي.

#### 4- الصورة المصححة عمودياً (الأورثوفوتو) وتقييم دقتها

يعبر الأورثوفوتو عن صور السمات في مواقعها الحقيقي من خلال عملية تسمى التقويم التفاضلي والتي تطبق على الصور الجوية و تتخلص من الإزاحات الناتجة عن الميلان وعن التضاريس الأرضية ، وعيب الأورثوفوتو هو أنه لا يستطيع نمذجة مواقع السمات المرتفعة مثل المباني والجسور لأن الـDTM المستخدم يحتوي على ارتفاعات النقاط الأرضية فقط وبالتالي قد تظهر جميع الارتفاعات الأعلى من سطح الأرض بشكل غير صحيح على الأورثوفوتو ، أما الأورثوفوتو الحقيقي يستخدم النموذج الرقمي للسطح DSM لنمذجة السمات المرتفعة بشكل صحيح مثل المنشآت التي صنعها الإنسان [15].

والخرائط الصورية المصححة عمودياً (الأورثوفوتو) هي منتج فعال في التعبير عن المشاهد المصورة وذلك لأنها ذات دقة هندسية مقبولة إضافة إلى الغنى البصري الذي تملكه الصورة في آن واحد وبفضل هذه الخاصية، يمكن أن تزودنا بمعلومات كمية (أي مترية) وكيفية (أي وصفية) [16].

يتم اختبار الدقة الأفقية للأورثوفوتو بقياس مجموعة من نقاط الاختبار على هذا الأورثوفوتو والتي يتم الحصول على إحداثياتها من مصدر أعلى دقة (قياسات أرضية، وغيرها) ومن ثم دراسة فروق الإحداثيات وتحليلها إحصائياً. ويفرض أن الأخطاء تتبع توزيعاً طبيعياً وأنها مستقلة في الاتجاهين X و Y، فإننا نستطيع استخدام المعامل 2.4477 لحساب الدقة الأفقية المطلقة ضمن مجال ثقة 95% [12].

وبفرض تحقق الشروط السابقة، يمكن حساب الدقة الأفقية بتطبيق العلاقة التالية:

$$Accuracy_r = \frac{2.4477 \cdot \sqrt{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2}}{2} \quad (3)$$

وتحسب مركبتا الخطأ متوسط التربيع الأفقي من خلال العلاقتين التاليتين:

$$RMSE_{X=} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Ortho(i)} - X_{check(i)})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_{Y=} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{Ortho(i)} - Y_{check(i)})^2}{n}} \quad (5)$$

حيث:  $(X_{Ortho(i)}, Y_{Ortho(i)})$  هي إحداثيات نقطة الاختبار مقاسة على الأورثوفوتو.  $(X_{check(i)}, Y_{check(i)})$  هي إحداثيات نقطة الاختبار من المصدر المستقل ذي الدقة الأعلى.

### طرائق البحث ومواده:

#### 5- أدوات البحث

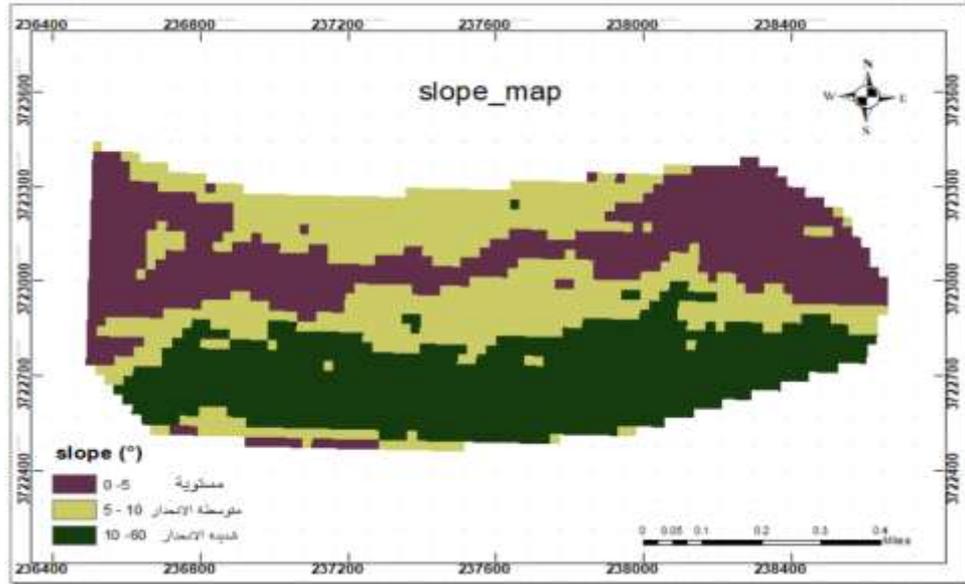
- البرنامج Agisoft Metashape: لمعالجة الصور واشتقاق المنتجات الخاصة برسم الخرائط الطبوغرافية.
- البرنامج ArcGIS: لاقتطاع الإحداثيات المستقرة لنقاط الاختبار.
- البرنامج NCSS: والذي سيستخدم لإنجاز الاختبارات الإحصائية اللازمة والتخلص من القيم الشاذة.

#### 6- منطقة الدراسة

هي منطقة عين الفيحة والتي تقع غرب دمشق في وادي بردى بين السلاسل الجبلية وتبعد عن دمشق حوالي 15 كم. تبلغ مساحة المنطقة 111 هكتار تقريبا وقد تم إنشاء خريطة الانحدارات لهذه المنطقة لدراسة طبوغرافية سطح الأرض وقد تراوحت الميول في هذه المنطقة ما بين 10\_30 درجة أي أنها تتصف بأرض فوق متوسطة الانحدار إلى شديدة الانحدار. أما مسافة الاعتیان الأرضية المتوسطة للصور فهي 3.9 cm/pixel. أما فيما يخص النقاط الأرضية المتوافرة فقد بلغ عددها 87 نقطة مقاسة بتقنية ال GPS ضمن نظام الإحداثيات WGS 84 /UTM zone 37N. تم في تطبيقنا العملي تقسيم هذه النقاط إلى مجموعتين هما نقاط الضبط ونقاط الاختبار Check points، بحيث تم استخدام 19 نقطة ضبط موزعة ضمن منطقة الدراسة. وتم ترقيم نقاط الاختبار من الرقم 1 وحتى الرقم 68.



الشكل (1). منطقة الدراسة.



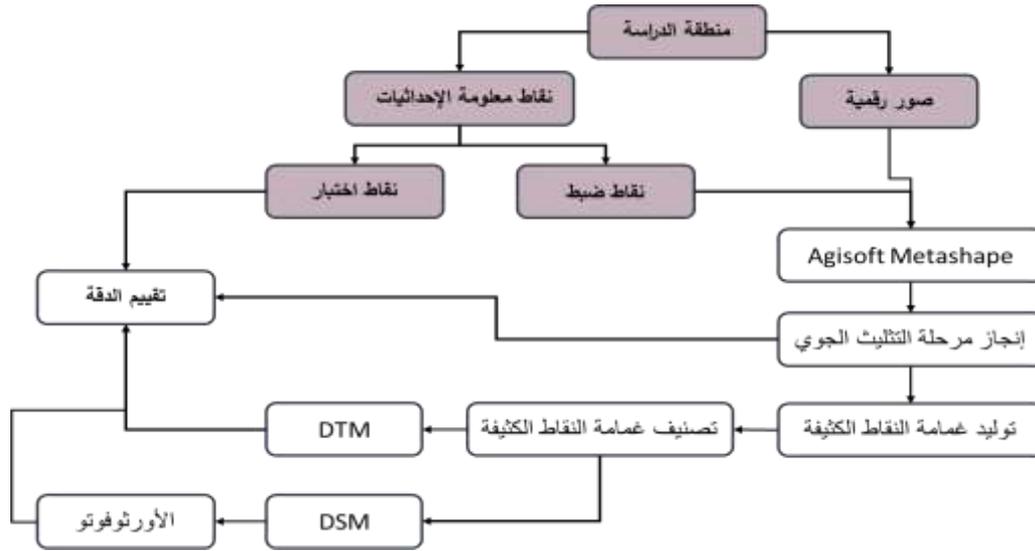
الشكل (1). خريطة الانحدارات لمنطقة الدراسة.

تم استخدام طائرة دون طيار ذات محركات دوارة لالتقاط الصور والمزودة بألة تصوير رقمية بعيد محرقى مساوٍ ل 4 mm وأبعاد بيكسل في الصورة مساوية ل  $(1.56 * 1.56 \mu m)$ . تمت تغطية كامل المنطقة باستخدام 165 صورة.



الشكل (2). الطائرة دون طيار المستخدمة في التقاط الصور.

مرت منهجية البحث بالخطوات الموضحة في الشكل التالي:

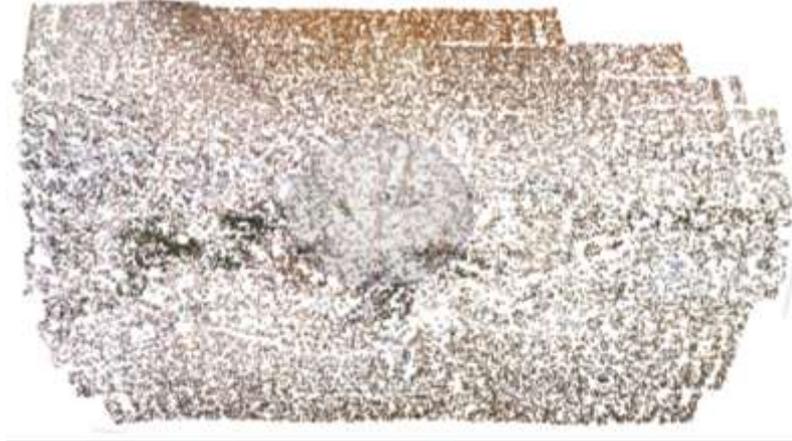


الشكل (3). منهجية الدراسة.

### النتائج والمناقشة:

تم استخدام البرنامج Agisoft Metashape في معالجة الصور حيث يتم أولاً إضافة الصور ومن ثم توجيهها أي يتم تحديد الموقع والتوجيه التقريبي لكل صورة واقتطاع نقاط الربط على شكل غمامة نقاط مبعثرة Sparse point cloud (التوجيه النسبي)، عبر تطبيق خوارزميات اقتطاع البنية من الحركة المتوافرة في البرنامج. يتم بعد ذلك قياس نقاط الضبط على الصور (التوجيه المطلق) ومن ثم توليد غمامة النقاط الكثيفة Dense point cloud والنموذج الرقمي للارتفاعات وأخيراً يتم توليد الأورثوفوتو. أما الخطوات التفصيلية لعملية المعالجة وتقييم نتائجها كانت كالتالي:

✓ أولاً في مرحلة التوجيه الأولي تم اشتقاق غمامة نقاط مبعثرة بلغ عدد نقاطها 34 ألف نقطة مع نجاح البرنامج في توجيه كل الصور. تمت إضافة نقاط الضبط ونقاط الاختبار وقياسها على كل الصور.



الشكل (4). غمامة النقاط المبعثرة.

### تقييم دقة التثليث الجوي

قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات باستخدام البرنامج NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي ومن ثم حساب الأخطاء المتوسطة التربيع على هذه النقاط.

الجدول (1). الفروق بين الإحداثيات المرجعية والمقاسة لنقاط الاختبار.

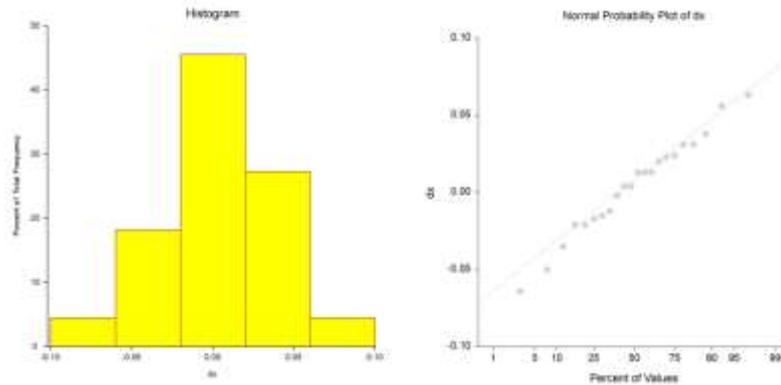
اسم النقطة	المرجعية			المقاسة			الفروق		
	x	y	z	x	y	z	dx	dy	dz
1	236856.248	3723244.880	885.592	236856.235	3723244.708	885.725	0.013	0.172	-0.133
2	237316.085	3723099.709	845.958	237316.054	3723099.726	845.987	0.031	-0.017	-0.029
3	237478.056	3722868.549	861.381	237478.121	3722868.538	861.330	-0.064	0.011	0.051
4	236758.829	3723332.429	913.744	236758.879	3723332.266	913.753	-0.050	0.163	-0.010
5	237232.564	3722766.705	919.548	237232.551	3722766.767	919.591	0.013	-0.062	-0.043
6	237473.758	3723252.053	909.604	237473.754	3723252.065	909.680	0.004	-0.012	-0.076
7	236708.109	3723306.236	901.484	236708.130	3723306.232	901.498	-0.021	0.005	-0.014
8	237143.339	3723040.087	840.545	237143.319	3723040.008	840.646	0.020	0.079	-0.101
9	237740.625	3722943.287	867.777	237740.660	3722943.239	867.684	-0.035	0.048	0.093
10	237792.463	3723060.356	820.530	237792.480	3723060.339	820.574	-0.017	0.017	-0.044
11	236857.070	3722813.455	891.064	236857.091	3722813.434	891.125	-0.021	0.020	-0.061
12	237269.490	3723152.355	879.940	237269.434	3723152.375	879.842	0.056	-0.019	0.098
13	237585.828	3722911.031	861.447	237585.840	3722911.041	861.330	-0.012	-0.011	0.118
14	236891.432	3723307.190	911.016	236891.394	3723307.183	910.878	0.038	0.007	0.138
15	237004.395	3723190.479	877.768	237004.382	3723190.446	877.629	0.013	0.033	0.139
16	236828.549	3722954.853	833.752	236828.518	3722954.870	833.726	0.031	-0.017	0.026
17	237320.414	3722897.871	862.510	237320.429	3722897.889	862.478	-0.015	-0.018	0.032
18	237240.896	3722824.379	888.762	237240.892	3722824.387	888.742	0.004	-0.009	0.020
19	237738.278	3723256.686	876.131	237738.280	3723256.678	876.015	-0.002	0.007	0.116
20	237113.879	3722775.534	883.476	237113.856	3722775.496	883.664	0.023	0.039	-0.188
21	237262.719	3722923.425	864.101	237262.850	3722923.448	864.072	-0.130	-0.023	0.029
22	237199.884	3723179.770	890.834	237199.859	3723179.767	890.845	0.024	0.003	-0.011
23	237573.254	3722854.932	879.753	237573.191	3722854.893	879.610	0.063	0.038	0.143

Normality Test Section of dx

Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.9832306	0.9587688			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.1841611	0.909064			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	1.02059		1.19785	1.318067	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.06599724		0.169	0.184	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	-0.5539691	0.5798	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	0.1233	0.901859	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	0.3221	0.851255	4.605	5.991	Can't reject normality

Descriptive Statistics Report

Plots Section of dx



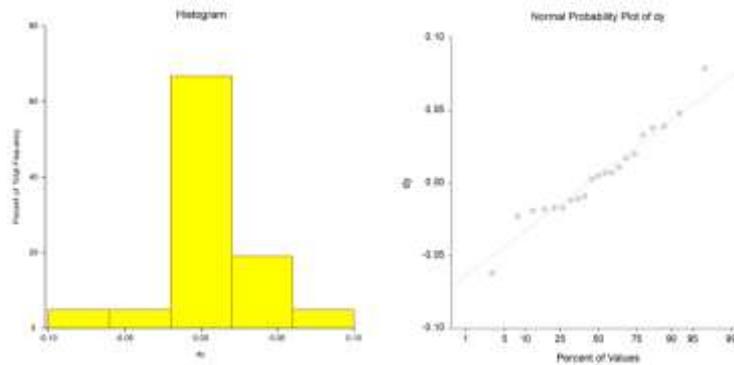
الشكل (6). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dx للتوزيع الطبيعي.

Normality Test Section of dy

Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.9623811	0.5653316			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.406065	0.3508491			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	1.08816		1.206488	1.338919	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.1121595		0.173	0.188	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	0.6737691	0.5004582	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	1.0676	0.285715	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	1.5837	0.450753	4.605	5.991	Can't reject normality

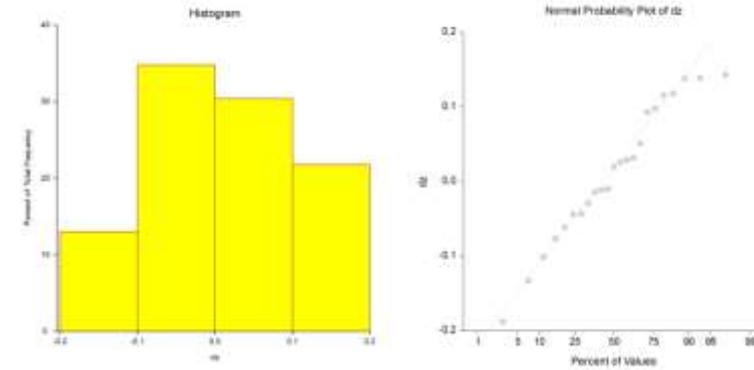
Descriptive Statistics Report

Plots Section of dy



الشكل (7). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dy للتوزيع الطبيعي.

Normality Test Section of dz					
Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.9606771	0.4771764			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.2791028	0.6474592			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	0.9977447		1.189616	1.303046	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.07718978		0.166	0.18	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	-0.8507694	0.5151954	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	-0.4202	0.674354	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	0.6001	0.740799	4.605	5.991	Can't reject normality



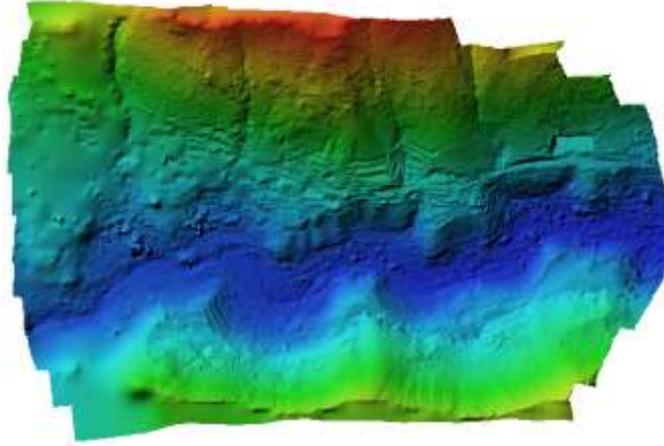
الشكل (5). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dz للتوزيع الطبيعي.

نلاحظ من الجدول (1) وبعد استبعاد القيم الشاذة:

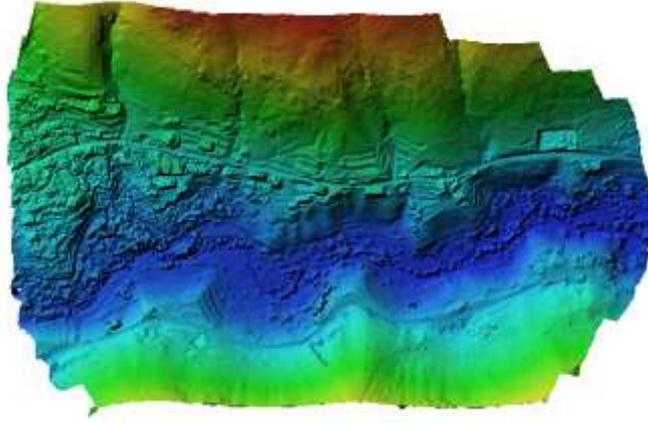
- a. قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الأفقي لنقاط الاختبار هو 4.4 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين 1\*GSD إلى 2\*GSD، أي من 3.9 cm إلى 7.8 cm.
- b. قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الشاقولي لنقاط الاختبار هو 9.2 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين 1\*GSD إلى 3\*GSD، أي من 3.9 cm إلى 11.7 cm.
- ✓ ثانياً: تم بناء غمامة النقاط الكثيفة والتي بلغ عدد نقاطها ما يقارب 23 مليون نقطة (الشكل (9)). تمت عملية تصنيف لهذه الغمامة Classification إلى نقاط أرضية ونقاط غير أرضية.
- ✓ ثالثاً: تم إنشاء النموذج الرقمي للسطح (DSM) من كل نقاط الغمامة الكثيفة. تم بعد ذلك بناء النموذج الرقمي للأرض (DTM) من النقاط الأرضية فقط من الغمامة الكثيفة من أجل إنشاء خطوط الكونتور.



الشكل (6). غمامة النقاط الكثيفة.



الشكل (7). النموذج الرقمي للأرض.



الشكل (8). النموذج الرقمي للسطح.

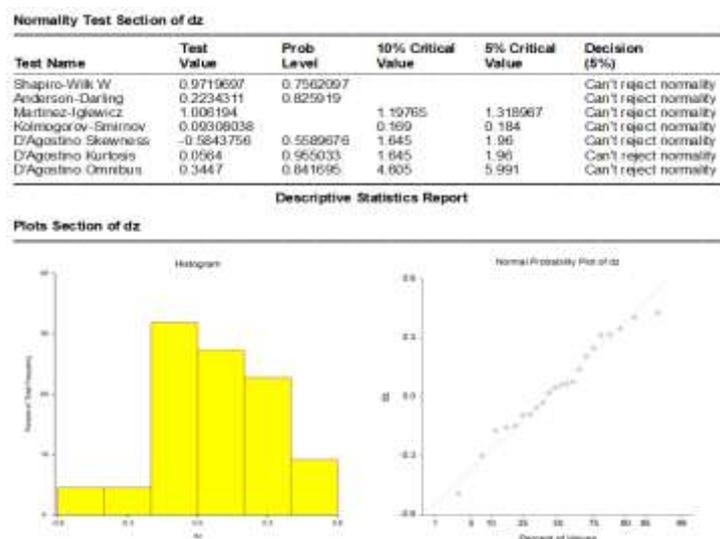
تقييم دقة النموذج الرقمي للأرض

تمت الاستعانة بالبرنامج ArcGIS لاقتطاع المناسيب المستقرة لنقاط الاختبار ومن ثم مقارنتها مع المناسيب المقاسة، يوضح الجدول (2) هذه المناسيب مع الفروق بينها.

الجدول (2). الفروق بين المناسيب المستقرة والمقاسة لنقاط الاختبار.

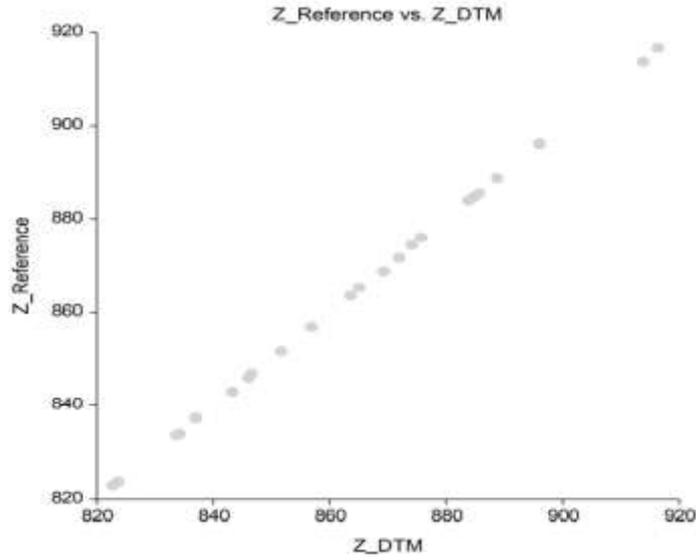
الفرق (m)	المنسوب المستقراً (m)	المنسوب المرجعي (m)	اسم النقطة
0.429	916.281	916.710	24
0.206	883.769	883.975	25
0.404	874.069	874.473	26
0.317	875.705	876.022	27
-0.299	843.255	842.956	28
0.140	823.671	823.811	29
-0.155	871.895	871.740	30
0.250	865.027	865.277	31
-0.492	869.269	868.777	32
-0.172	834.175	834.003	33
-0.147	851.634	851.487	34
-0.056	863.530	863.474	35
0.348	837.020	837.367	36
0.046	856.846	856.892	37
0.315	846.550	846.865	38
0.022	896.023	896.046	39
-0.093	885.609	885.516	40
0.066	884.653	884.719	41
-0.029	913.773	913.744	42
-0.088	846.046	845.958	43
0.060	888.702	888.762	44
0.078	833.674	833.752	45

قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات باستخدام البرنامج NCSS واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي فوجدنا أنها تتبع للتوزيع الطبيعي عند مجال ثقة 95% وذلك بتطبيق كل الاختبارات المتاحة التي يوفرها البرنامج، وهذا ما يوضحه الشكل (12):



الشكل (9). نتائج اختبار تبعية فروقات الارتفاعات dz للتوزيع الطبيعي.

أما بالنسبة للارتباط بين المناسيب المرجعية لنقاط الاختبار ومناسيبها المشتقة من نموذج الارتفاعات الرقمي فقد طبقنا اختبار بيرسون فوجدنا أن معامل الارتباط هو 1 وهو يعبر عن ارتباط تام بين هذه المناسيب. نوضح في الشكل (13) الارتباط بين المناسيب المرجعية لنقاط الاختبار ومناسيبها المشتقة من نموذج الارتفاعات الرقمي.



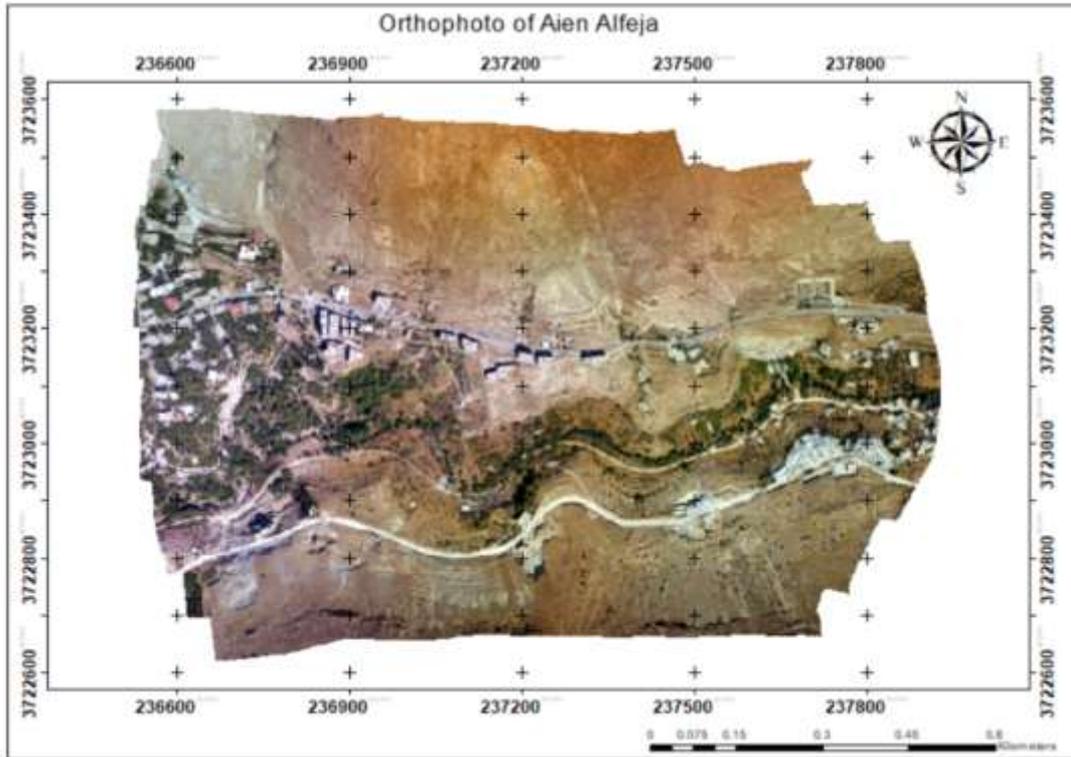
الشكل (10). نتائج اختبار الارتباط بين المناسب المرجعية لنقاط الاختبار ومناسبتها المشتقة من نموذج الارتفاعات الرقمي.

نقوم بحساب الدقة الشاقولية المطلقة للنموذج الرقمي للأرض من خلال العلاقة (1):

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2} = 23.7 \text{ cm}$$

لحساب الفترة الكنتورية للخريطة الكنتورية التي يمكن إنتاجها من النموذج الرقمي للأرض، تفترض المعايير الأمريكية أن فروق الارتفاع على النقاط المختبرة في تحليل الدقة الشاقولية لهذا النموذج تتبع للتوزيع الطبيعي ومنه يمكن حساب الفترة الكنتورية (CI) على أنها ثلاثة أمثال الدقة الشاقولية المطلقة للنموذج الرقمي للارتفاعات. وبما أن تبعية فروق الارتفاعات على النقاط المختبرة في تحليل الدقة الشاقولية للنموذج الرقمي للأرض محققة، ستكون الخطوة الكنتورية مساوية لـ 71.1 cm أي ما يقارب 1 m.

✓ رابعاً: تم إنشاء الأورثوفوتو بدقة تمييز 13.4 cm وباستخدام النموذج الرقمي للسطح DSM كمدخل أساسي (الشكل (14)).



الشكل (11). الأورثوفوتو الرقمي بدقة تمييز 13.4 cm.

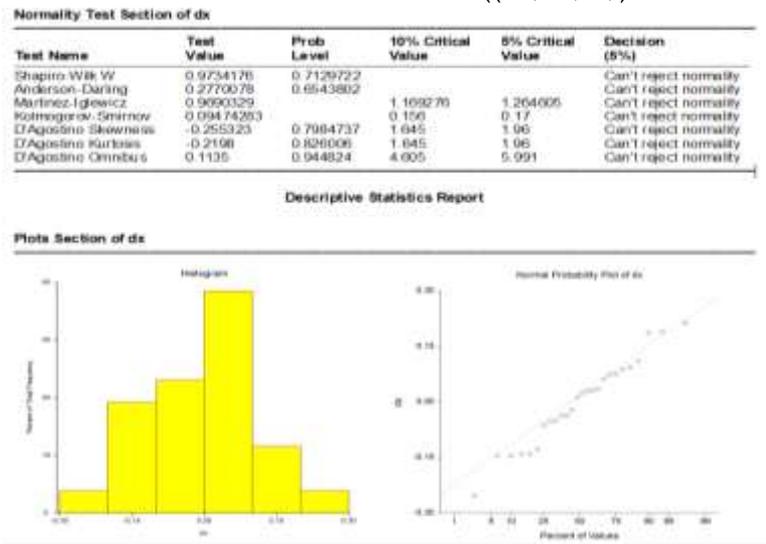
تقييم دقة الأورثوفوتو

لتقييم الدقة الأفقية للأورثوفوتو الناتج، تم تصديره إلى البرنامج ArcGIS 10.8 ثم قمنا بقياس الإحداثيات الأفقية لنقاط الاختبار عليه. يوضح الجدول (3) نتائج هذه القياسات مع الفروقات بين الإحداثيات المقاسة والإحداثيات المعطاة.

الجدول (3). الفروق بين الإحداثيات المستقرأة والمقاسة لنقاط الاختبار الأفقية.

النقطة	المرجعية (m)		المقاسة (m)		الفروق (m)	
	X	Y	X	Y	dx	dy
46	237580.717	3723216.735	237580.527	3723216.940	0.190	-0.205
47	237741.288	3723254.685	237741.341	3723254.745	-0.053	-0.060
48	237638.313	3723145.353	237638.350	3723145.455	-0.036	-0.102
49	237488.059	3723119.164	237487.971	3723119.166	0.088	-0.002
50	237393.261	3723071.993	237393.281	3723071.985	-0.021	0.009
51	237245.143	3723111.687	237245.118	3723111.728	0.025	-0.041
52	236953.393	3723177.209	236953.206	3723177.185	0.188	0.025
53	236694.371	3723259.391	236694.624	3723259.488	-0.253	-0.097
54	237152.509	3723054.888	237152.435	3723054.782	0.074	0.106
55	237383.815	3722968.405	237383.779	3722968.386	0.036	0.019
56	237543.723	3722989.549	237543.850	3722989.665	-0.127	-0.116
57	237729.476	3722864.297	237729.365	3722864.383	0.111	-0.086
58	237483.559	3722849.013	237483.496	3722848.998	0.063	0.015
59	237193.728	3722826.972	237193.652	3722826.852	0.076	0.120
60	237079.230	3722797.701	237079.015	3722797.607	0.214	0.095
61	237316.085	3723099.709	237315.992	3723099.729	0.094	-0.020
62	237473.758	3723252.053	237473.745	3723252.059	0.013	-0.006
63	236708.109	3723306.236	236708.172	3723306.222	-0.063	0.014
64	237792.463	3723060.356	237792.514	3723060.305	-0.050	0.051
65	237486.199	3722868.594	237486.235	3722868.478	-0.037	0.116
66	237486.400	3722871.020	237486.369	3722871.021	0.031	-0.001
67	237570.948	3723000.089	237571.092	3723000.179	-0.145	-0.089
68	237631.984	3723015.028	237632.124	3723015.035	-0.140	-0.007

قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات باستخدام البرنامج NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي فوجدنا أنها تتبع للتوزيع الطبيعي عند مجال ثقة 95% وذلك بتطبيق كل الاختبارات المتاحة التي يوفره البرنامج، وهذا ما توضحه الأشكال ((15) و(16)):

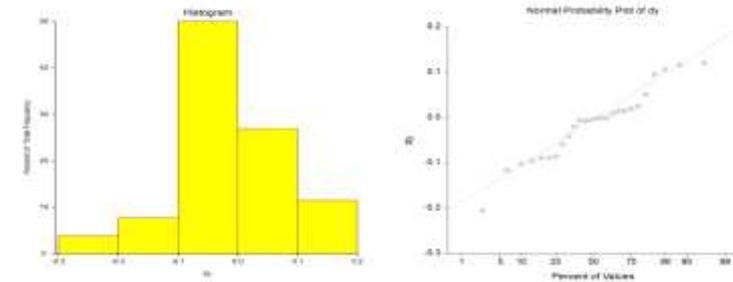


الشكل (12). نتائج اختبار تبعية فروق الإحداثيات dx للتوزيع الطبيعي.

Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decision (5%)
Shapiro-Wilk W	0.9557577	0.3149393			Can't reject normality
Anderson-Darling	0.5045686	0.2033793			Can't reject normality
Martinez-Iglewicz	1.027180		1.969276	1.204605	Can't reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0.1168107		0.156	0.17	Can't reject normality
D'Agostino Skewness	-0.5620791	0.5740621	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Kurtosis	0.5016	0.615862	1.645	1.96	Can't reject normality
D'Agostino Omnibus	0.5875	0.752959	4.605	5.991	Can't reject normality

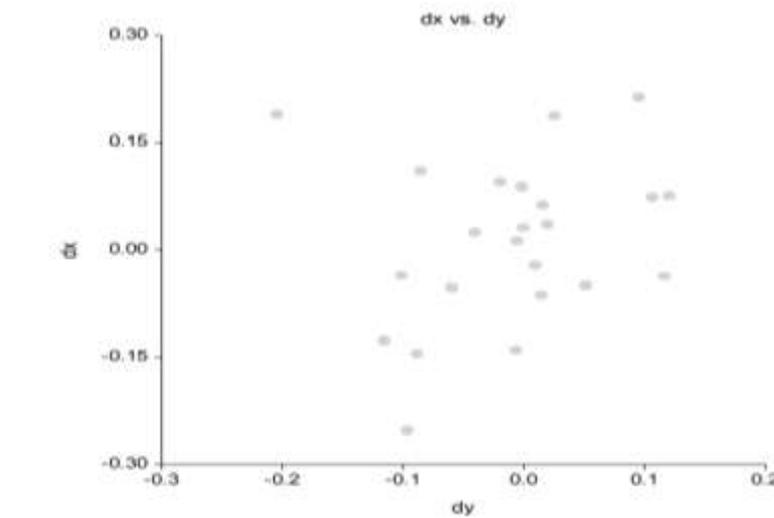
Descriptive Statistics Report

Plots Section of dy



الشكل (13). نتائج اختبار تبعية فروق الإحداثيات dy للتوزيع الطبيعي.

ولكي نستطيع تحديد قيمة الدقة المطلقة للأورثوفوتو الناتج يجب أولاً التحقق من عدم وجود ارتباط بين الفروق على الإحداثيات x والفروق على الإحداثيات y. تم القيام بهذا الاختبار بواسطة البرنامج ووجدنا أن قيمة معامل بيرسون هي 0.2568 وبالتالي الفروق تملك ارتباطاً طردياً ضعيفاً، ومنه يمكن القبول بأن هذه الفروقات مستقلة.



الشكل (14). نتائج اختبار الارتباط بين الفروق على الإحداثيات x والفروق على الإحداثيات y.

هنا نقبل بأن للأخطاء في البيانات المكانية طبيعةً عشوائية وأنه قد تم التخلص من الأخطاء النظامية بأفضل طريقة ممكنة. وبما أن الأخطاء تتبع توزيعاً طبيعياً ومستقلة في الاتجاهين X و Y، يمكن حساب الدقة الأفقية المطلقة للأورثوفوتو بتطبيق العلاقة التالية:

$$Accuracy_r = \frac{2.4477 \cdot \sqrt{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2}}{2} = 0.155 \text{ m} = 15.5 \text{ cm}$$

وهذه الدقة تلي متطلبات دقة الخريطة المتجهية (الشعاعية) الممكن الحصول عليه من معالجة الصور المتوفرة والناتجة عن الرقمنة على هذا الأورثوفوتو والتي يحسب مقياسها بتطبيق العلاقة التالية:

$$S_{map} = \left( \frac{GSD}{250 * P} \right)^2 = \left( \frac{3.9}{250 * 0.000156} \right)^2 = 1:10000 \quad (6)$$

حيث p: هو حجم البكسل للمستشعر ويمكن معرفته من المواصفات التقنية لآلة التصوير.

### الاستنتاجات والتوصيات:

أشار البحث إلى العوامل التي تعتمد عليها الدقة ومنها برامج المعالجة التي تلعب دوراً رئيسياً وحاولنا في هذا البحث توضيح المفاهيم التي يحتاجها العاملون في مجال رسم الخرائط باستخدام الدرونات.

وقد كانت نتائج بحثنا كما يلي:

a. بلغت الدقة الكلية للتأليث الجوي 9.7 cm حيث تم تقييم دقة هذه المرحلة بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية وذلك بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.

b. بلغت الدقة الشاقولية للنموذج الرقمي للأرض المنتج من صور الدرونات 23.7 cm والتي تم تقييمها بالاعتماد على معايير ASPRS نظراً لعدم وجود مواصفات خاصة بمنتجات الدرونات في دفتر الشروط الفنية في سورية وهي دقة مقبولة، أي يمكن استخدام نقاط الاختبار الأرضية ومعايير ASPRS في عملية التقييم بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة وعدم الاكتفاء بتقارير المعالجة التي تعطيها برامج المعالجة.

c. تم إنتاج الأورثوفوتو بدقة تمييز 13.4 cm/pixel، وقد بلغت الدقة الأفقية المطلقة له 15.5 cm والتي تم تقييمها أيضاً بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية ومعايير ASPRS بعد إجراء الاختبارات الإحصائية اللازمة وهي دقة مقبولة من أجل الحصول على خرائط طبوغرافية متجهية بالمقياس 1:10000.

نوصي في نهاية هذا البحث بما يلي:

a. تحديث دفتر الشروط الفنية الخاص بالأعمال الطبوغرافية بحيث يشمل جزءاً خاصاً بمعايير تقييم دقة منتجات الدرونات.

b. استخدام نقاط الاختبار في تقييم دقة منتجات الدرونات بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.

### References:

- [1] ALLUM, J- *Photogeology and regional mapping*-. Elsevier, Oct 22, 2013, 111.
- [2] REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D- *UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling: Current status and future perspectives*-. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2012, pp. 25-31
- [3] SANZ-ABLANEDO, E., CHANDLER, J., RODRIGUEZ-PEREZ, J., ORDONEZ, C- *Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used*-. Remote Sensing, Vol 10, No 10, 2018, <https://doi.org/10.3390/rs10101606>.
- [4] DELIRY, S., AVDAN, U- *Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review*-. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol 49, No 8, 2021, PP. 1997-2017.
- [5] NEX, F., REMONDINO, F- *UAV for 3D mapping applications: a review*-. Applied geomatics, Vol 6, 2014, PP. 1-15.
- [6] CROMMELINCK, S., BENNETT, R., GERKE, M., NEX, F., YANG, M., VOSSelman, G- *Review of automatic feature extraction from high-resolution optical*

- sensor data for UAV-based cadastral mapping*-. Remote Sensing, Vol 8, No 8, 2016, <https://doi.org/10.3390/rs8080689>.
- [7] YAO, H., QIN, R., CHEN, X- *Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications-A review*-. Remote Sensing, Vol 11, No 12, 2019, <https://doi.org/10.3390/rs11121443>.
- [8] WESTOBY, M., BRASINGTON, J., GLASSER, N., HAMBREY, M., REYNOLDS, J- *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*-. Geomorphology, Vol 179, 2012, PP. 300-314.
- [9] AL KHALIL, O., YAHIA, M., DOWAJY, M- *Structure from Motion (SfM) method as an alternative solution to laser scanning in 3D modeling*-. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol 39, No 1, 2017, PP. 649-666. (Arabic).
- [10] 25 March 2024. <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD-in-photogrammetry>>.
- [11] ZOMRAWI, N., HUSSIEN, M., MOHAMED, H- Accuracy evaluation of digital aerial triangulation-. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Vol 2, No 10, 2013, PP. 7-11.
- [12] Federal Geographic Data Committee [FGDC]. Revision of Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy fgdc-std-007.3-1998. FGDC standard projects <http://www.Fgdc.Gov/standards/projects/fgdc-standards-projects/accuracy/part3/nssda-revision-proposal> (26 December 2013).
- [13] FRANCA, L., PENHA, A., CARVALHO, J- *Comparison between absolute and relative positional accuracy assessment-a case study applied to digital elevation models*-. Boletim de Ciências Geodésicas, Vol 25, 2019, <https://doi.org/10.1590/s1982-21702019000100004>.
- [14] HOHLE, J., HOHLE, M- *Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods*-. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 64, No 4, 2009, PP. 398-406.
- [15] SAI, S., TJAHJADI, M., ROKHMANN, A- *Geometric accuracy assessments of orthophoto production from UAV aerial Images*-. KnE Engineering, 2019, pp. 333-344.
- [16] AL KHALIL, O., FAHSA, I- *Structure from Motion method as an alternative solution to produce photomaps of extended areas*-. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol 41, No 2, 2019, PP. 319-332. (Arabic).