

## دارسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيّرة

د. وسيم موسى \*

د. عمر الخليل \*\*

رغد علي \*\*\*

### ملخص

مع التطور المتسارع في تقنيات الاستشعار عن بُعد، أصبحت الطائرات المسيّرة (الدرونات) أداة فعالة ومتعددة الاستخدامات في جمع البيانات المكانية، خاصة في مجال المسح التصويري. ومن بين أبرز المنتجات الناتجة عن معالجة صور الدرونات، تُعدّ الصور المصححة عمودياً (Orthophotos) والنماذج ثلاثية الأبعاد (D Models3) للمشاهد من أكثرها أهمية. وتكتسب صور الأورثوفوتو أهمية خاصة لدى المختصين في علم المساحة، لكونها تمثل خرائط صورية خالية من التشوهات الهندسية والبصرية التي قد تنتج عن ميل محور التصوير أو تأثير تضاريس الأرض، مما يجعلها صالحة للاستخدام كخرائط طبوغرافية دقيقة.

تتأثر دقة هذه المنتجات بعدة عوامل، ويُعدّ عدد وتوزيع نقاط الضبط الأرضية ( Ground Control Points - GCPs) أحد العوامل الجوهرية التي تؤثر على جودة نتائج التثليث الجوي (Aerial Triangulation) وصور الأورثوفوتو. في هذا البحث، تم دراسة تأثير هذا العامل من خلال إعداد ستة سيناريوهات مختلفة من حيث عدد وتوزيع نقاط الضبط الأرضية. كما تم توظيف نقاط اختبار مستقلة (Check Points) للتحقق من دقة ناتج التثليث الجوي والأورثوفوتو في كل سيناريو.

وقد أظهرت نتائج الدراسة فعالية منهجية Structure from Motion (SfM) المعتمدة في برامج المسح التصويري القائمة على صور الدرونات، كما تم إبراز التكامل التقني بين هذه البرامج ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). وتبين أن السيناريو الذي يجمع بين توزيع مركزي وطرفي لنقاط الضبط الأرضية هو الأكثر كفاءة، حيث حقق أفضل دقة كلية في التثليث الجوي بلغت 4.4 سم، في حين وصلت الدقة الأفقية لصورة الأورثوفوتو الناتجة عن هذا السيناريو إلى 2.6 سم.

**الكلمات المفتاحية:** الدرونات، اقتطاع البنية من الحركة، نقاط الضبط الأرضي، التثليث الجوي، الأورثوفوتو.

---

\* أستاذ مساعد. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة حمص. سورية.

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

\*\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير). قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة حمص. سورية.

## **Studying the effect of ground control points numbers and distribution patterns on the accuracy of photogrammetry surveying using Drones**

**Dr.Wasswm Mossa\***

**Dr.Omar Alkhalil\*\***

**Raghad Ali\*\*\***

### **ABSTRACT**

With the rapid advancement of remote sensing technologies, unmanned aerial vehicles (UAVs or drones) have become highly effective and versatile tools for spatial data acquisition, particularly in the field of photogrammetry. Among the most significant products derived from drone imagery are orthophotos and 3D models of captured scenes. Orthophotos, in particular, hold great value for surveying professionals, as they represent geometrically corrected images free from distortions caused by camera tilt or terrain variations, thus making them suitable for use as accurate topographic maps. The accuracy of such drone-derived products is influenced by several factors, among which the number and spatial distribution of Ground Control Points (GCPs) play a critical role in determining the quality of aerial triangulation and orthophoto outputs. This study investigates the impact of this factor through six different scenarios varying in the number and distribution of GCPs. Independent Check Points were employed to evaluate the accuracy of both aerial triangulation and the resulting orthophotos in each scenario. The findings demonstrated the effectiveness of the Structure from Motion (SfM) methodology implemented in photogrammetric software that utilizes drone imagery. The study also highlighted the technical integration between photogrammetry and Geographic Information Systems (GIS). Results showed that the

scenario combining central and peripheral distribution of GCPs yielded the highest overall accuracy, achieving a total aerial triangulation accuracy of 4.4 cm and a horizontal orthophoto accuracy of 2.6 cm.

**Key words:** Drones, Structure from Motion (SfM), Ground Control Points (GCPs), Aerial Triangulation, Orthophoto.

**\* Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria.**

---

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

**\*\*\* Postgraduate Student (Master), Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria**

## 1- مقدمة

ءءء ءرءاء فف الوءء الءاضر مصءراً قفماً للبفاناء المءلقة برسء الءرائط والنمءءة ءلائفة الأبعاء ءفء ءءبءر بءائل منءفضة ءءلكفة عن الطائراء المأهولة، ءفء ءءصل ءرءاء على البفاناء باسءءءام آلات ءصوءر رقمة وبمعالءة صور هءه الطائراء نءصل على عءة منءءاء مثل النموءء الرقمة للارءفاعاء (DEM) Digital Elevation Model، النموءء الرقمة للسطء (DSM) Digital Surface Model، النماءء ءلائفة الأبعاء، وما إلى ءلك [1].

ءءمل المزافا المهمة لءقنفة ءرءاء مقارنة بالطرائق ءءلففءة انءفاض ءءلكفة، ورسء الءرائط بشكل أسرع، والمراقبة الآمنة للمناطق الءظرة ءءف فءءءر الوصول إليها، والاسءءابة السرفعة فف ءالاء الطوارئ. وفف الآونة الأءفرة كان هناك انءءار لءرساءء ءءءقق من صءه المسء القاءم

على تقنية الدرونات وتقييم دقته، ولا بد من مناقشة العوامل الرئيسية التي تؤثر في دقة منتجات هذه التقنية [2].

تتأثر الدقة النهائية للمسح باستخدام الدرونات بالعديد من المتغيرات المتنوعة بما في ذلك تخطيط الرحلة وجودة آلة التصوير وخوارزميات وإستراتيجية الإرجاع الجغرافي Georeferencing. والجدير بالذكر بأن المعالجة اللاحقة لصور الدرونات تتم 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 Control points المستخدمة [3].

ومن العوامل الأساسية التي تعتمد عليها الدقة نذكر دقة المستشعر وارتفاع الطيران والتداخلات الطولية والعرضية للصور وعدد نقاط الضبط الأرضية Ground Control Points (GCPs) وتوزعها ودقتها إضافة إلى أن برامج المعالجة تلعب دوراً رئيسياً، فخطه الطيران الجيدة واستخدام برنامج المعالجة المناسب يؤمنان دقة أفقية وشفافية أعلى [2].

في العام 2014، نشرت الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (ASPRS, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) أول معايير الدقة لرسم خرائط على الإطلاق المصممة حصرياً للبيانات الجغرافية المكانية الرقمية [3].

عند استخدام معايير الدقة الموضوعية الجديدة ASPRS للبيانات الجغرافية المكانية الرقمية في مشروع ما، يحتاج المستخدم فقط إلى تحديد دقة المنتج النهائي الذي يجب تسليمه وستحدد المعايير الجديدة جميع مواصفات دقة العمليات الوسيطة، مثل المسح الأرضي، والتلثيث الجوي، الخ، والتي تشارك في الحصول على المنتج النهائي [3]. وتجدر الإشارة إلى أنه يجب أن تكون نقاط الاختبار موزعة بشكل جيد حول منطقة المشروع، وتشكيل عينة إحصائية تتكون من 20 نقطة اختبار كحد أدنى للأورثوفوتو و25 نقطة اختبار للبيانات الارتقاعية [4].

تناولت العديد من الدراسات السابقة طرائق تقييم الدقة المكانية للخرائط الناتجة عن معالجة الصور الملتقطة بواسطة الدرونات ومناقشة مزايا وعيوب كل طريقة [2]، [5]، [6]. سلّطت إحدى الدراسات [7] الضوء على التطبيقات الجديدة الناتجة من تطبيق هكذا تقنية تحت ظروف عمل متنوعة ومختلفة ومن توافر بيانات ذات دقة مكانية فائقة بتكلفة منخفضة مقارنة بتقنيات المسح التقليدية

وهذا يفسر بوضوح سبب تنامي استخدام هذه التقنية في وضع وتحديث المخططات والخرائط الطبوغرافية. وبينت الحالة الدراسية المطبقة في البحث [8] لياقة التقنية ومرونة قدرتها على تلبية متطلبات الدقة المكانية وإن تنوع المخرجات وأنية استخلاصها بما يلبي مختلف متطلبات الدراسة والبحث والتحليل فضلاً عن غزارة وانسيابية التفاصيل ومحاكاتها التشكيل الهندسي لمعالم المكان أكد تميز التقنية بتفوقها على قريناتها من أساليب المسح التقليدية. وبالتالي أكدت هذه الدراسات على ميزات هذه الطائرات من حيث حركتها المرنة والنقاطها لصور ذات دقة تمييز هندسية عالية إضافة إلى سهولة إقلاعها وهبوطها، كما أوضحت ضرورة وجود بيانات مرجعية ذات دقة عالية لتقييم دقة الخرائط الناتجة وذلك عبر عملية مقارنة.

## 2- أهمية البحث

تتركز أهمية هذا البحث في أنه يسعى إلى تحديد تأثير بيانات الضبط، من ناحية العدد والتوزيع، وإمكانيات برنامج المعالجة المستخدم على نوعية منتجات المسح التصويري بالدرونات.

## 3- أهداف البحث

- 1- تحديد العدد ونمط التوزيع الأفضل لنقاط الضبط بحيث نحصل على الأورثوفوتو الأدق من معالجة الصور الملتقطة باستخدام الدرونات.
- 2- اقتراح معايير لتقييم فعالية برامج المسح التصويري التي تتيح معالجة صور الدرونات مما يساعد المستخدم في اختيار أحد هذه البرامج. في الواقع، تقوم كل الخوارزميات المتوافرة في برامج المسح التصويري باستخدام صور الدرونات باقتطاع النقاط المتوافقة في الصور المتداخلة ومن ثم حساب الموقع ثلاثي الأبعاد لكل منها والحصول على معطيات مكانية مختلفة، ويسبب كثرة هذا النوع من البرامج يعتبر اختيار أحدها مشكلة حقيقية في مشاريع النمذجة ثلاثية الأبعاد وإنتاج الخرائط.

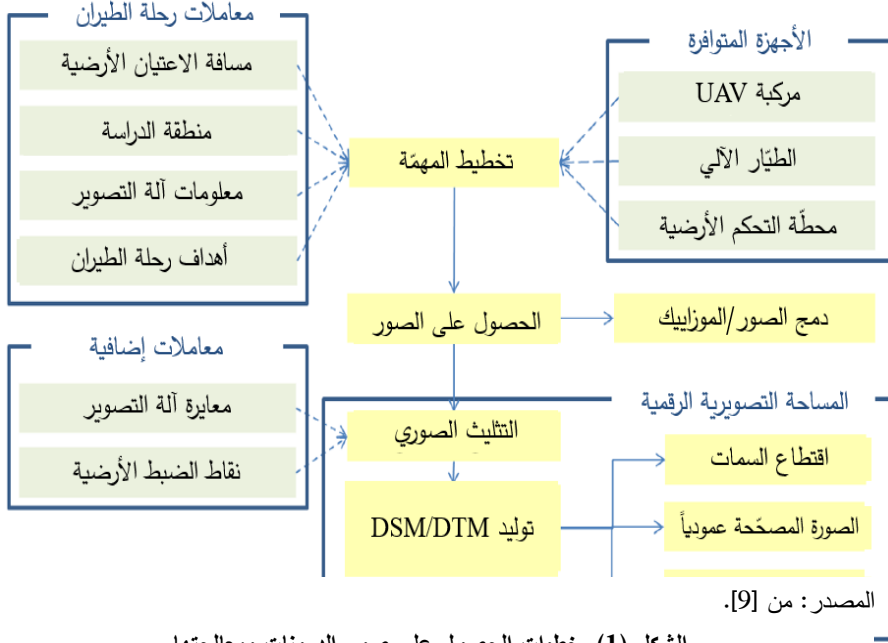
#### 4- مواد وطرائق البحث

##### 4-1- المساحة التصويرية

تتطلب المساحة التصويرية النموذجية القائمة على صور الدرونات تخطيط رحلة الطيران وقياس نقاط الضبط الأرضية (GCPS) بهدف الإرجاع الجغرافي. ويمكن استخدام الصور التي يتم الحصول عليها لأغراض الدمج Stitching وإنشاء الموزاييك Mosaicking، أو يمكن أن تكون هذه الصور مدخلات لعملية المسح التصويري. وبهذه الحالة الأخيرة، يجب معايرة آلة التصوير وإجراء التثليث الصوري من أجل توليد النموذج الرقمي للسطح (DSM) أو النموذج الرقمي للأرض (DTM). وفي النهاية يمكن استخدام هذه المنتجات الأخيرة لإنتاج الأورثوفوتو، وتطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد، ولاستخراج معلومات مترية إضافية. يُظهر (الشكل (1)) سير العمل العام للحصول على صور الدرونات ومعالجتها: تمت الإشارة إلى المدخلات باللون الأزرق، بينما تمت الإشارة إلى خطوات سير العمل الفردية باللون الأصفر وسيتم مناقشتها بمزيد من التفصيل في الأقسام الآتية [9].

#### 4-2- التثليث الجوي وطريقة تقييم دقته

يتطلب تحديد نقاط الضبط باستخدام التقنيات الجيوديزية والمساحية التقليدية (مثل بناء شبكات



الشكل (1). خطوات الحصول على صور الدرونات ومعالجتها.

التثليث، التقويم (التقاطع الخلفي)، التقاطع، ونظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية (GNSS) وقتاً وكلفة. وللتغلب على هذه المشكلة، تم تطوير منهجية تهدف إلى تبسيط عملية توجيه الصور الجوية وحساب نقاط التحكم الأرضية بدقة. تسمى هذه المنهجية التثليث الجوي Aerial triangulation.

وقد تم تعريف التثليث الجوي على أنه العملية المستخدمة في:

- تحديد معاملات التوجيه الكاملة لكل صورة في المشروع، وهي إحداثيات مركز الإسقاط  $X_0, Y_0, Z_0$ ، والدورانات  $\omega, \varphi, k$ .
- تحديد الإحداثيات الأرضية  $(X, Y, Z)$  للنقاط المقاسة على الصور.

يعدّ التثليث التصويري خطوةً ضروريةً نحو إنتاج مختلف المنتجات التصويرية، مثل الرسومات الخطية، والأورثوفوتو، النماذج ثلاثية الأبعاد، إلخ. تعتمد جودة هذه المنتجات إلى حد كبير على نتائج التثليث. وعليه؛ يتمّ تحديد المعاملات المحددة لتنفيذه وفقاً لمواصفات المشروع [10]. لتقييم دقة التثليث الجوي المنجز نقوم بالحصول على إحداثيات نقاط الاختبار من الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات والإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار، ثم نحسب من الفروق قيم الأخطاء المتوسطة التربيع على كل من الموقعين الأفقي والشاقولي لنقاط الاختبار وفق العلاقات التالية، وذلك بعد القيام بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات باستخدام البرنامج NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي [9].

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum (X_{referencei} - X_{checki})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{referencei} - Y_{checki})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_{referencei} - Z_{checki})^2}{n}} \quad (3)$$

حيث: n: هو عدد نقاط الاختبار.

$(X_{reference(i)}, Y_{reference(i)}, Z_{reference(i)})$  هي الإحداثيات المرجعية لنقطة الاختبار i على الصور الناتجة من التثليث الجوي.

$(X_{check(i)}, Y_{check(i)}, Z_{check(i)})$  هي الإحداثيات المقاسة لنقطة الاختبار i على الصور الناتجة من التثليث الجوي.

تقترح المعايير العالمية الخاصة بالبيانات المكانية، استخدام مفهوم GSD لتقييم الدقة المطلقة للتثليث الجوي حيث لنا توقع دقة أفقية تتراوح من  $1 \times GSD$  إلى  $2 \times GSD$  ودقة شاقولية

تتراوح من  $1 \times \text{GSD}$  إلى  $3 \times \text{GSD}$  من أجل منتجات المساحة التصويرية باستخدام تقنية الطائرات دون طيار UAV-photogrammetry.

إضافة إلى ذلك يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار من خلال العلاقة:

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{RMSE_r^2 + RMSE_z^2} \quad (4)$$

حيث:

$$RMSE_r^2 = RMSE_x^2 + RMSE_y^2 \quad (5)$$

#### 4-3- الصورة المصححة عمودياً (الأورثوفوتو) وطريقة تقييم دقته

الأورثوفوتو هو صورة تعرض السمات في مواقعها الطبوغرافية الصحيحة من خلال عملية تسمى التقويم التفاضلي Differential rectification أو التصحيح التفاضلي، حيث يتم تقويم كل عنصر تفاضلي من الصورة عند مقياس مشترك بدلاً من تقويم كامل الصورة عند مقياس متوسط (لأن التقويم عند مقياس متوسط لا يسمح بالتخلص من الإزاحات الناتجة عن الارتفاعات الأرضية) [11]، فالصور ذات الإسقاط المنظوري الملتقطة بوساطة الدرونات تحتوي على إزاحات Displacements في مواقع السمات مثل الإزاحة الناتجة عن التضاريس والإزاحة الناتجة عن ميل الصورة، وذلك بسبب عوامل عدة مثل حركات المستشعر.

لتقييم دقة الرفع الطبوغرافي بالاعتماد على منتجات الطائرات المسيّرة (الأورثوفوتو الناتج)، يتم تحديد مجموعة من نقاط الاختبار على الأورثوفوتو والتي تقاس إحداثياتها الأفقية عليه ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات المقاسة والإحداثيات المرجعية المأخوذة من مصدر مستقل ذي دقة أعلى ومن ثم تحليل الفروق إحصائياً وحساب الخطأ المتوسط التربيع على الموقع الأفقي لنقاط الاختبار.

وتحسب مركبتا الخطأ متوسط التربيع الأفقي من خلال العلاقتين الآتيتين:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Ortho(i)} - X_{check(i)})^2}{n}} \quad (6)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{Ortho(i)} - Y_{check(i)})^2}{n}} \quad (7)$$

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.

#### 4-4- أدوات البحث

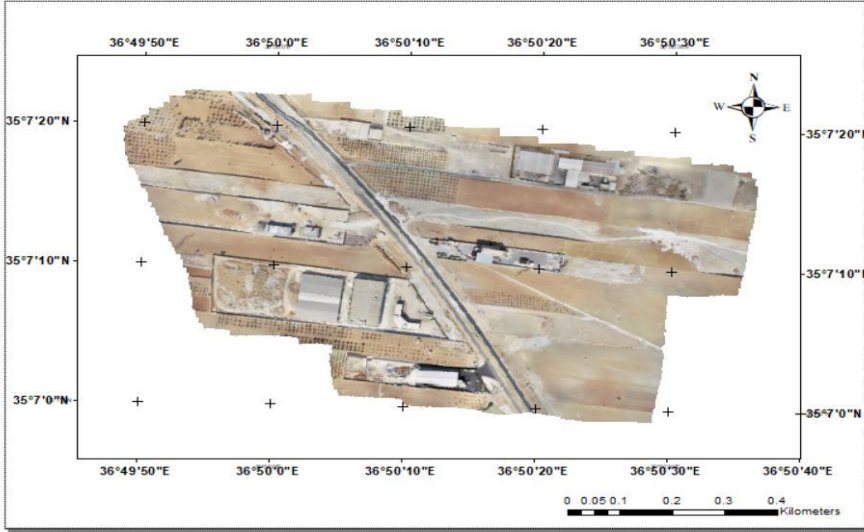
تم في هذا البحث استخدام الأدوات التالية:

1. البرنامج Agisoft Metashape: وهو برنامج روسي للنمجة ثلاثية الأبعاد يستخدم أحدث تقنيات البناء ثلاثي الأبعاد من الصور المتعددة Multi-view المطورة في مجال الرؤية بمعونة الحاسب. كما يمكن من توجيه الصور الملتقطة من أية مواقع مع مراعاة تحقيقها لشروط وقوع أية نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل [13].
2. البرنامج ArcGIS: نظام معلومات جغرافي (GIS) متكامل طورته شركة Esri، يقوم بدمج البيانات وربطها من خلال سياق الجغرافيا. فهو يوفر إمكانيات رائدة عالمياً لإنشاء جميع أنواع البيانات وإدارتها وتحليلها ورسم خرائطها ومشاركتها [14]، وسيتم استخدامه لاقتطاع الإحداثيات المستقرة لنقاط الاختبار.
3. البرنامج NCSS: وهو برنامج إحصائي يستخدم لتحليل البيانات وإنشاء الرسوم البيانية. ويتضمن العديد من الميزات والأدوات المتخصصة مثل التحليل الإحصائي الوصفي والاستنتاجي والتجريبي وتصميم الدراسات الإحصائية وتحليل الانحدار والعديد من التحليلات الأخرى. كما يدعم البرنامج العديد من التنسيقات المختلفة للبيانات والرسوم البيانية.

ويعمل على مختلف أنظمة التشغيل، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث العلميّة والدراسات الإحصائية والتحليلات البيانية الأخرى [15].

#### 4-5- منطقة الدراسة والبيانات المتوافرة

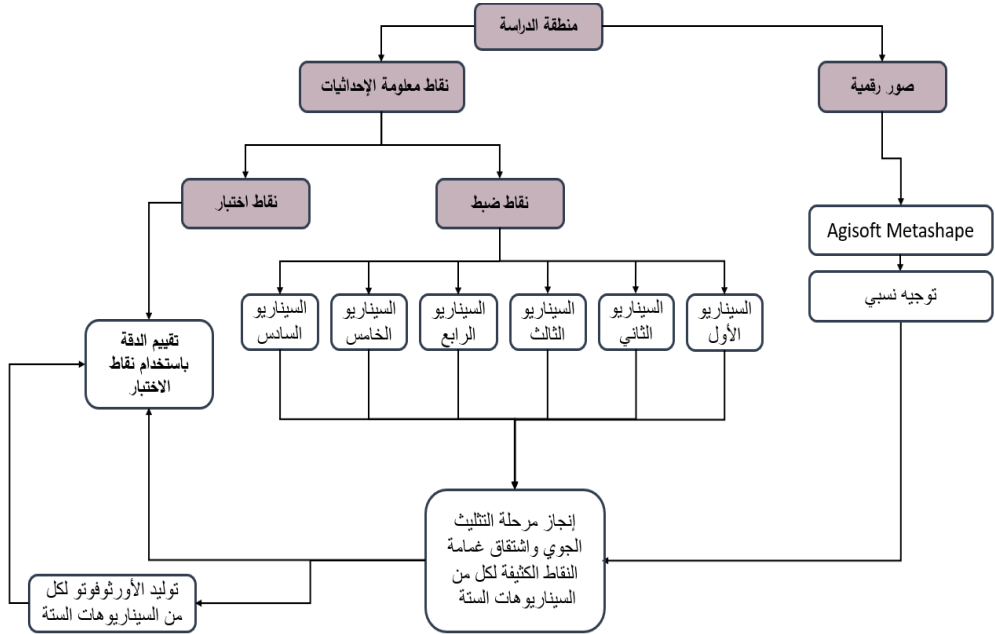
منطقة الدراسة هي المنطقة الصناعية (الجافية 3) على طريق حماه-سلمية (الذي يقسمها الى نصفين) وإلى الشرق من مجبل الزفت التابع لمديرية الخدمات الفنية وتتصف منطقة الدراسة بأرض مستوية خالية من الانحدارات. حيث تبلغ مساحتها 47 هكتاراً. أما بالنسبة للبيانات فهي نوعان نقاط الضبط والصور الرقمية، بالنسبة لنقاط الضبط المتوافرة فقد بلغ عددها 43 نقطة مقاسة ضمن نظام الإحداثيات WGS84/UTMZONE37N، أما بالنسبة للصور فقد تم تغطية المنطقة بواسطة 4020 صورة التقطت باستخدام درون ذات محركات دوارة ومزودة بألة تصوير رقمية بعدها المحرقي يساوي 8.8mm وأبعاد بيكسل في الصورة مساوية ل (2.61 x 2.61  $\mu\text{m}$ ) وبلغت مسافة الاعتیان الأرضية 1.62cm/pixel (GSD) Ground Sample Distance .



الشكل (1). منطقة الدراسة.

#### 4-6- منهجية البحث

اعتمدت الدراسة أسلوب العمل التالي ذكره، حيث تم جمع البيانات اللازمة للبحث ومن ثم مُعالجتها لنقوم بعدها بإجراء عملية تقييم للنتائج التي حصلنا عليها.  
والمنهجية الشاملة لآلية العمل موضحة في (الشكل (2)):



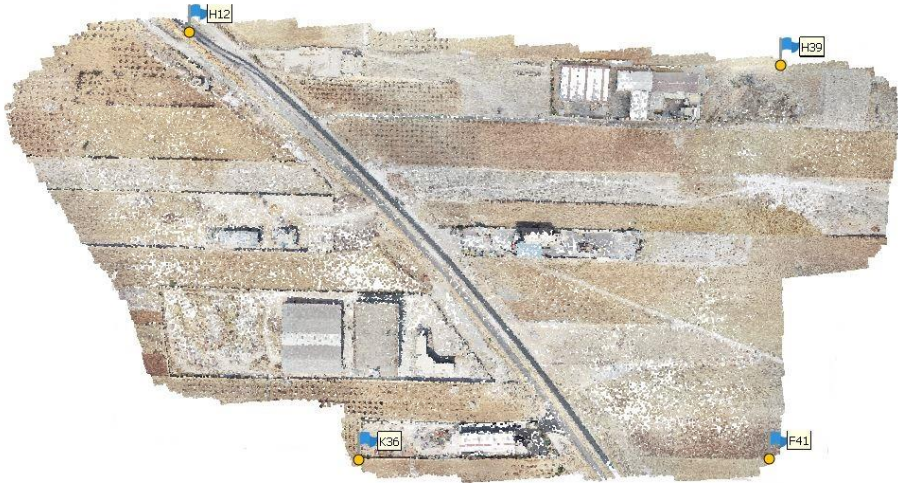
الشكل (2). المنهجية المستخدمة في البحث.

#### 5- النتائج ومناقشتها

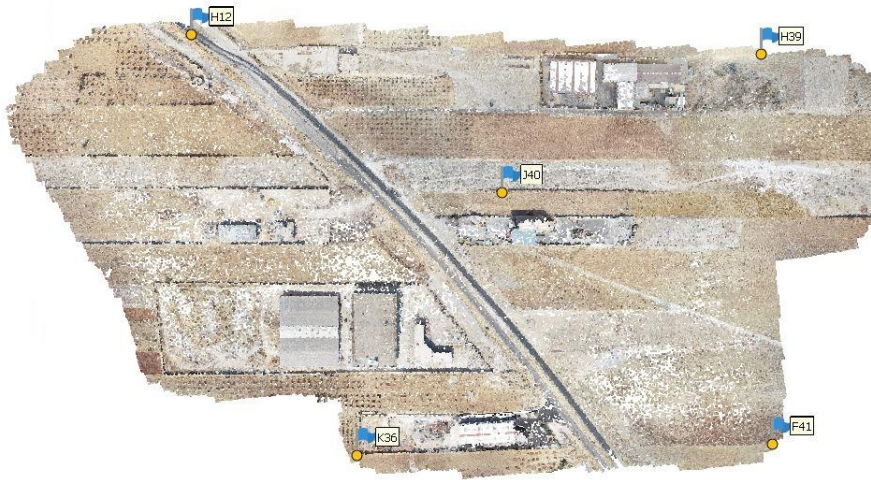
بعد عملية التقاط نقاط الضبط على الصور Dense point cloud (التوجيه المطلق) ومن ثم توليد غمامة النقاط الكثيفة والنموذج الرقمي للارتفاعات وأخيراً توليد الأورثوفوتو. ولتحديد العدد ونمط التوزيع الأفضل لنقاط الضبط تم اختبار ستة سيناريوهات كالتالي:

الجدول (1). السيناريوهات التي سيتم اختبارها في هذا البحث.

السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث	السيناريو الرابع	السيناريو الخامس	السيناريو السادس	
عدد نقاط الضبط	4	5	6	7	8	9
عدد نقاط الاختبار	39	38	37	36	35	34
نمط التوزيع	طرفي	طرفي مع مركزي	طرفي	طرفي مع مركزي	طرفي	طرفي مع مركزي
اختبار التوزيع الطبيعي	محقق	محقق	محقق	محقق	محقق	محقق



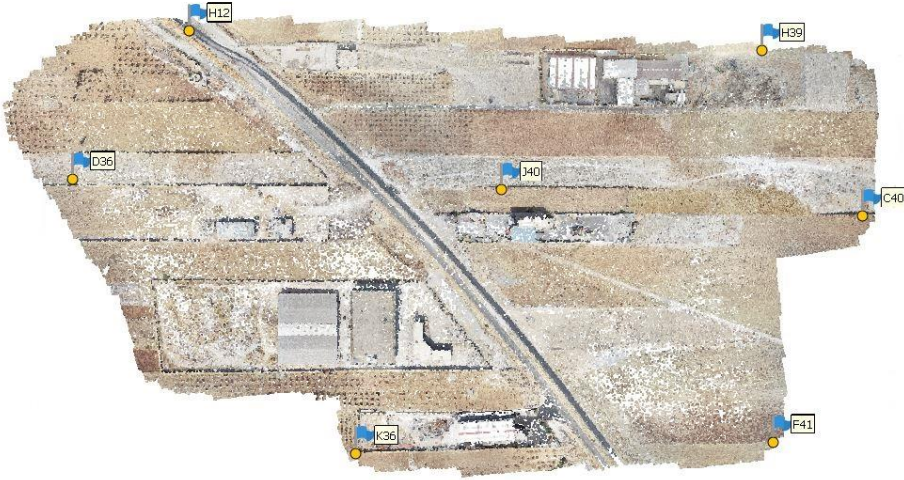
الشكل (3). السيناريو الأول لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



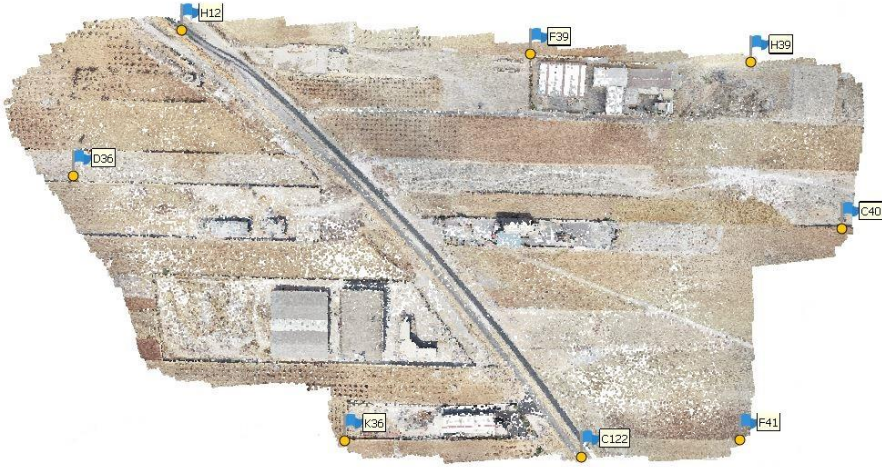
الشكل (5). السيناريو الثاني لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



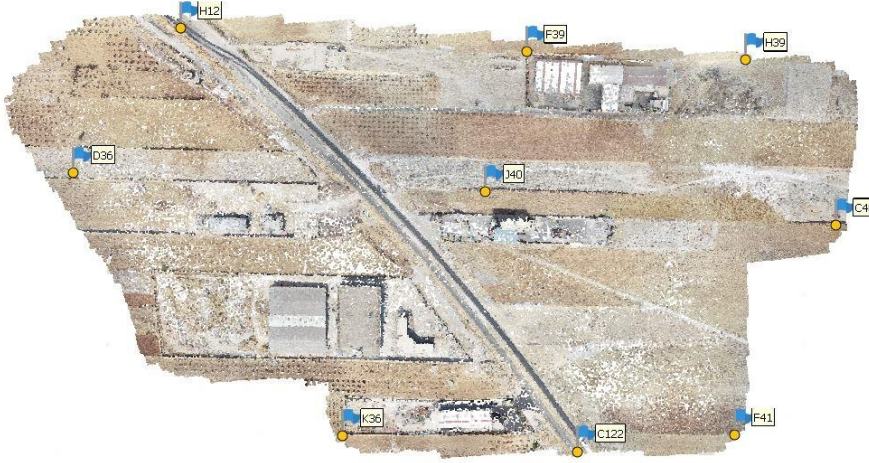
الشكل (6). السيناريو الثالث لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (4). السيناريو الرابع لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (8). السيناريو الخامس لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (9). السيناريو السادس لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثبيت.

أما الخطوات التفصيلية لعملية المعالجة وتقييم نتائجها مبينة في الأقسام التالية.

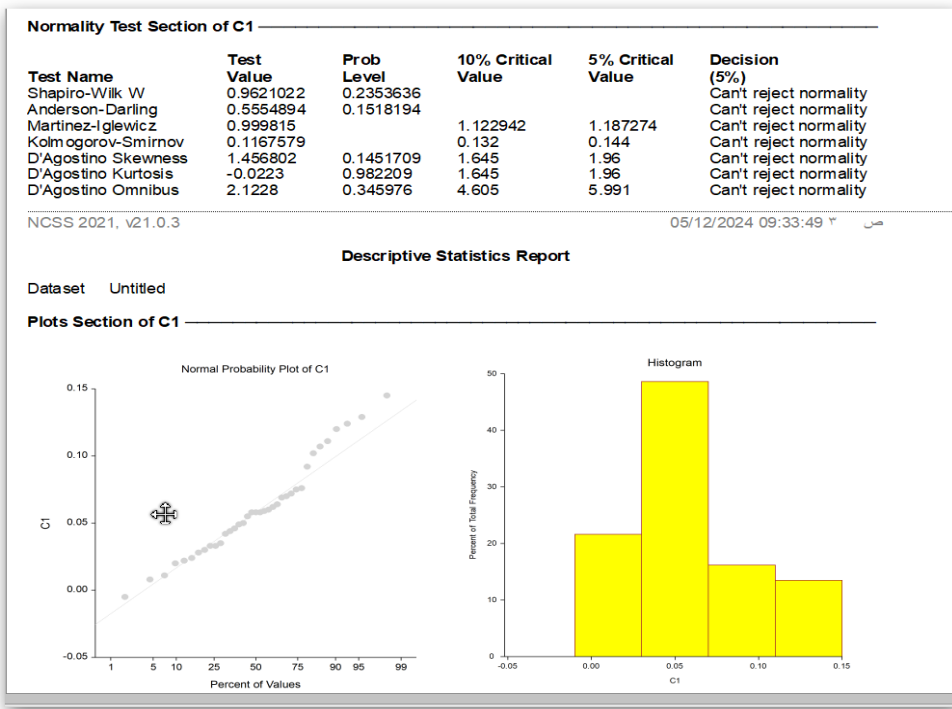
#### 5-1- التثبيت الجوي وتقييم دقته

✓ في مرحلة التوجيه الأولي تم اشتقاق غمامة نقاط مبعثرة بلغ عدد نقاطها (582185) نقطة مع نجاح البرنامج في توجيه كل الصور. تمت إضافة نقاط الضبط ونقاط الاختبار وقياسها على كل الصور. في مرحلة التوجيه الأولي تم اشتقاق غمامة نقاط مبعثرة بلغ عدد نقاطها (582185) نقطة مع نجاح البرنامج في توجيه كل الصور. تمت إضافة نقاط الضبط ونقاط الاختبار وقياسها على كل الصور ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات والإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار. يوضح الجدول (1) الإحداثيات ثلاثية الأبعاد المرجعية والمقاسة لعينة من نقاط الاختبار والفروق بينها.

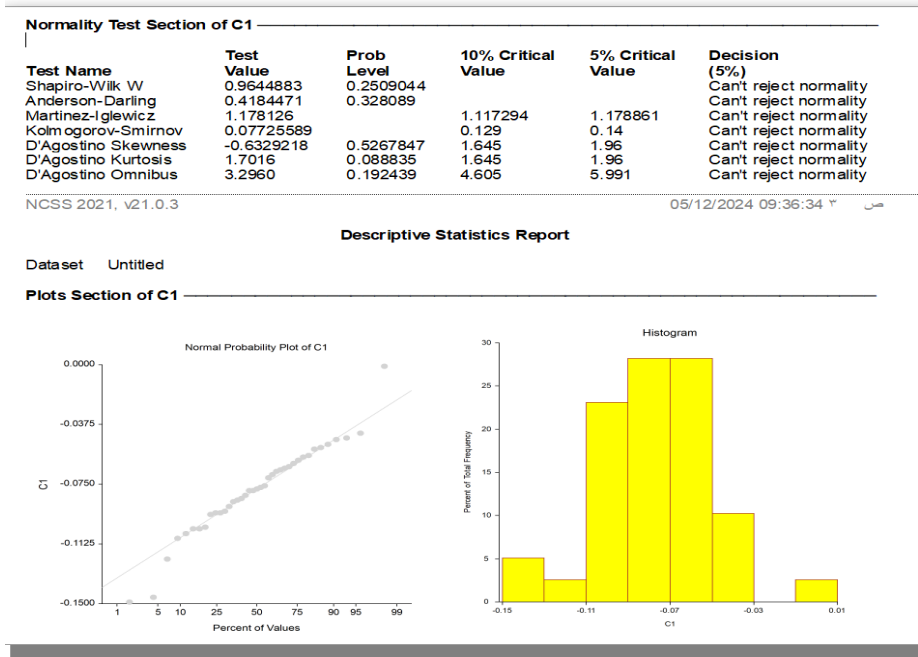
الجدول (1). الفروق بين الإحداثيات المرجعية والمقاسة لعيّنة من نقاط الاختبار

اسم النقطة	المرجعية			المقاسة			الفروق		
	x	y	z	x	y	z	dx	dy	dz
A36	-211231.819	104715.510	342.701	-211231.852	104715.556	342.346	0.033	-0.046	0.355
A37	-210930.239	104377.651	332.526	-210930.309	104377.694	331.009	0.070	-0.043	1.517
A38	-211146.167	104570.251	334.826	-211146.269	104570.336	333.807	0.102	-0.085	1.019
A39	-211047.941	104734.382	340.922	-211048.000	104734.439	340.071	0.059	-0.057	0.851
A41	-210808.749	104416.387	335.638	-210808.795	104416.473	333.971	0.046	-0.086	1.667
B36	-211396.927	104722.381	335.968	-211396.976	104722.503	336.912	0.049	-0.122	-0.944
B37	-211055.983	104451.388	330.703	-211056.090	104451.454	329.438	0.107	-0.066	1.265
B38	-211302.911	104597.996	332.700	-211303.040	104598.105	332.490	0.129	-0.109	0.210
B39	-211061.818	104653.490	338.220	-211061.893	104653.557	337.084	0.075	-0.067	1.136
B40	-210315.480	104479.080	341.444	-210315.538	104479.140	341.818	0.058	-0.060	-0.374
B41	-210715.682	104365.467	335.026	-210715.717	104365.546	333.593	0.035	-0.079	1.433
C36	-211408.652	104640.608	333.017	-211408.772	104640.754	333.596	0.120	-0.146	-0.579
C37	-211152.997	104451.237	331.587	-211153.121	104451.295	330.560	0.124	-0.058	1.027
C39	-210873.281	104707.392	347.798	-210873.336	104707.445	346.264	0.055	-0.053	1.534
C40	-210338.022	104396.886	339.454	-210338.114	104396.957	339.903	0.092	-0.071	-0.449
C41	-210583.490	104299.505	327.980	-210583.514	104299.574	327.400	0.024	-0.069	0.580
C122	-210741.861	104102.912	332.211	-210741.856	104102.959	331.703	-0.005	-0.047	0.508
D12	-210815.608	104274.257	330.883	-210815.650	104274.307	329.626	0.042	-0.050	1.257
D36	-211418.534	104602.295	331.043	-211418.679	104602.444	331.551	0.145	-0.149	-0.508
D37	-211303.216	104498.377	326.552	-211303.407	104498.480	326.277	0.191	-0.103	0.275
D39	-210888.869	104627.096	342.493	-210888.927	104627.173	340.825	0.058	-0.077	1.668
D40	-210436.358	104497.065	335.342	-210436.380	104497.130	335.039	0.022	-0.065	0.303
D41	-210477.099	104237.909	328.155	-210477.175	104238.002	328.364	0.076	-0.093	-0.209
E40	-210511.926	104393.192	335.433	-210511.970	104393.271	334.754	0.044	-0.079	0.679
E41	-210647.525	104225.136	322.961	-210647.533	104225.198	322.525	0.008	-0.062	0.436
E122	-210949.650	104438.035	333.794	-210949.719	104438.099	332.198	0.069	-0.064	1.596
F12	-210993.296	104538.222	336.313	-210993.368	104538.298	334.750	0.072	-0.076	1.563
F39	-210755.808	104691.723	346.760	-210755.858	104691.807	345.178	0.050	-0.084	1.582
F40	-210587.335	104471.858	335.824	-210587.365	104471.947	334.690	0.030	-0.089	1.134
G12	-211129.431	104669.606	332.165	-211129.491	104669.658	339.639	0.060	-0.052	-7.474
G36	-211336.259	104442.976	340.582	-211336.486	104443.068	325.059	0.227	-0.092	15.523
G39	-210587.844	104664.214	325.247	-210587.872	104664.307	343.931	0.028	-0.093	-18.684
G40	-210608.389	104582.899	345.046	-210608.422	104583.002	339.115	0.033	-0.103	5.931
G41	-210642.379	104117.521	340.397	-210642.390	104117.615	327.266	0.011	-0.094	13.131
H40	-210678.712	104483.775	337.906	-210678.776	104483.881	339.225	0.064	-0.106	-1.319
I39	-210451.798	104565.358	340.858	-210451.818	104565.436	335.300	0.020	-0.078	5.558
I40	-210777.290	104493.692	329.798	-210777.348	104493.794	337.763	0.058	-0.102	-7.965
J36	-211063.007	104282.957	335.665	-211063.118	104282.958	331.709	0.111	-0.001	3.956
J40	-210834.362	104504.982	339.551	-210834.424	104505.064	337.605	0.062	-0.082	1.946

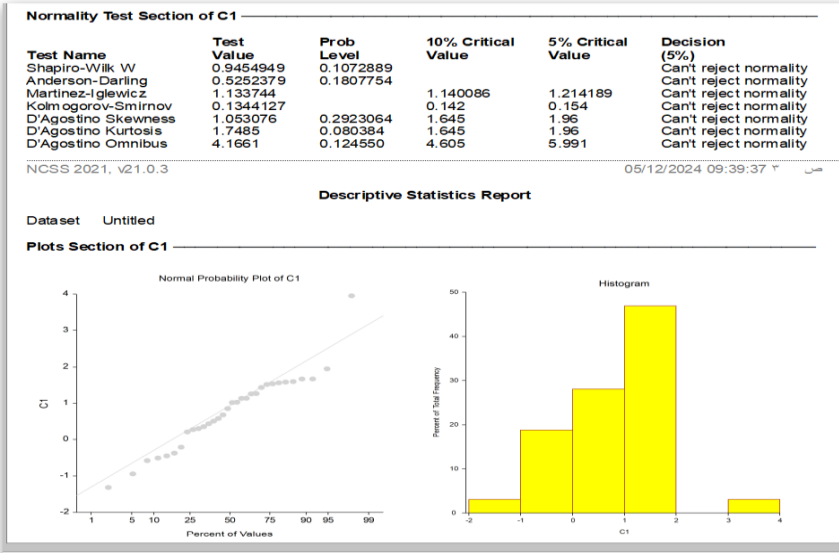
ومن ثم تم تكرار المنهجية السابقة وحساب الفروقات الخاصة بجميع السيناريوهات وبعد ذلك قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات لجميع السيناريوهات باستخدام البرنامج الإحصائي NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي ومن ثم حساب الأخطاء المتوسطة التربيع على هذه النقاط.



الشكل (10). نتائج اختبار تبعية فروقات الأحداثيات dx للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



الشكل (11). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات  $dy$  للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



الشكل (12). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dz للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.

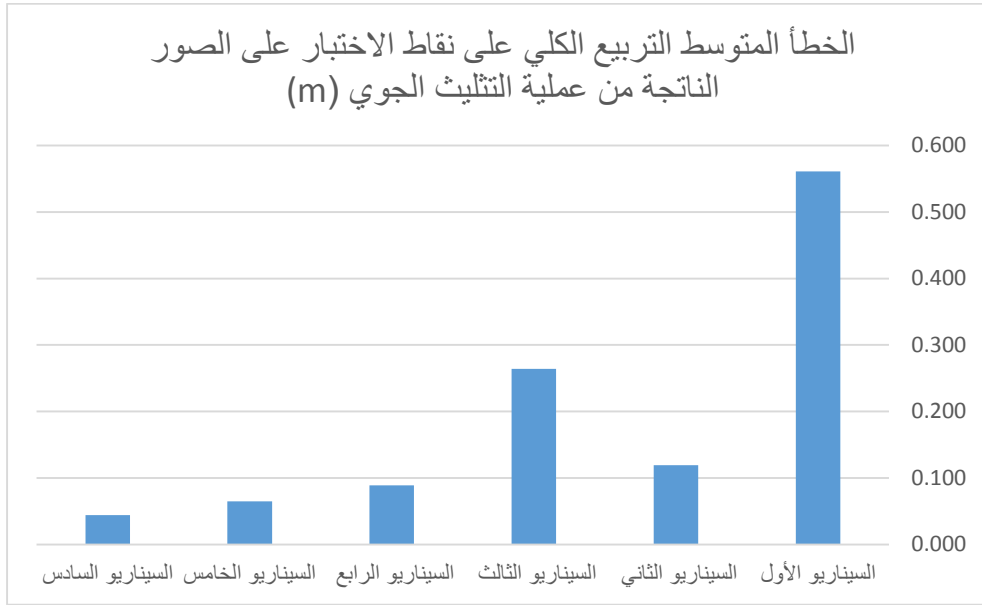
نقوم بتكرار التحليل السابق بالنسبة لجميع السيناريوهات والتحقق من تبعية جميع الأخطاء للتوزيع الطبيعي ثم نقوم بحساب الأخطاء المتوسطة التربيع الكلية على نقاط الاختبار حسب العلاقات (1) و (2) و (3) للسيناريوهات الستة بعد استبعاد النقاط الشاذة فكانت كما يلي:

الجدول (2). الأخطاء المتوسطة التربيع على نقاط الاختبار على الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي.

	$RMS_x(m)$	$RMS_y(m)$	$RMS_z(m)$	$RMS_{xy}(m)$
السيناريو الأول	0.075	0.081	0.550	0.110
السيناريو الثاني	0.024	0.038	0.110	0.045
السيناريو الثالث	0.018	0.040	0.260	0.044
السيناريو الرابع	0.011	0.021	0.086	0.024

دراسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيّرة

السيناريو الخامس	0.030	0.045	0.036	0.054
السيناريو السادس	0.010	0.016	0.040	0.018



الشكل (5). الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار على الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي.

✓ ونجد أنه بالنسبة للسيناريو السادس كانت:

- قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الأفقي لنقاط الاختبار هو 1.8 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين 1\*GSD إلى 2\*GSD، أي من 1.6 cm إلى 3.2 cm.

- قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الشاقولي لنقاط الاختبار هو 4 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين 1\*GSD إلى 3\*GSD، أي من 1.6 cm إلى 4.9 cm.

### 5-2- تقييم دقة الرفع الطبوغرافي ( الأورثوفوتو )

لتقييم دقة الرفع الطبوغرافي بالاعتماد على منتجات الطائرات المسيرة (الأورثوفوتو الناتج)، تم تصديره إلى البرنامج ArcGIS ومن ثم الحصول على الإحداثيات الأفقية لنقاط الاختبار. ويوضح الجدول (2) نتائج هذه القياسات مع الفروقات بين الإحداثيات المقاسة والإحداثيات المرجعية.

الجدول (3). الفروق بين الإحداثيات المقاسة والمرجعية لعيّة من نقاط الاختبار الأفقية.

النقطة	المرجعية (m)		المقاسة (m)		الفروق (m)	
	X	Y	X	Y	dx	dy
A36	211231.81 9	104715.5 10	211231.85 2	104715.5 76	0.03 3	- 0.06 6
A37	210930.23 9	104377.6 51	210930.30 9	104377.6 94	0.07 0	- 0.04 3
A38	211146.16 7	104570.2 51	211146.26 9	104570.3 66	0.10 2	- 0.11 5
A39	211047.94 1	104734.3 82	211048.00 0	104734.4 39	0.05 9	- 0.05 7
A41	210808.74 9	104416.3 87	210808.79 5	104416.4 73	0.04 6	- 0.08 6
B36	211396.92 7	104722.3 81	211396.97 6	104722.5 53	0.04 9	- 0.17 2

دأرة تأثیر أعدد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري بأستخدام الطائرات المسيرة

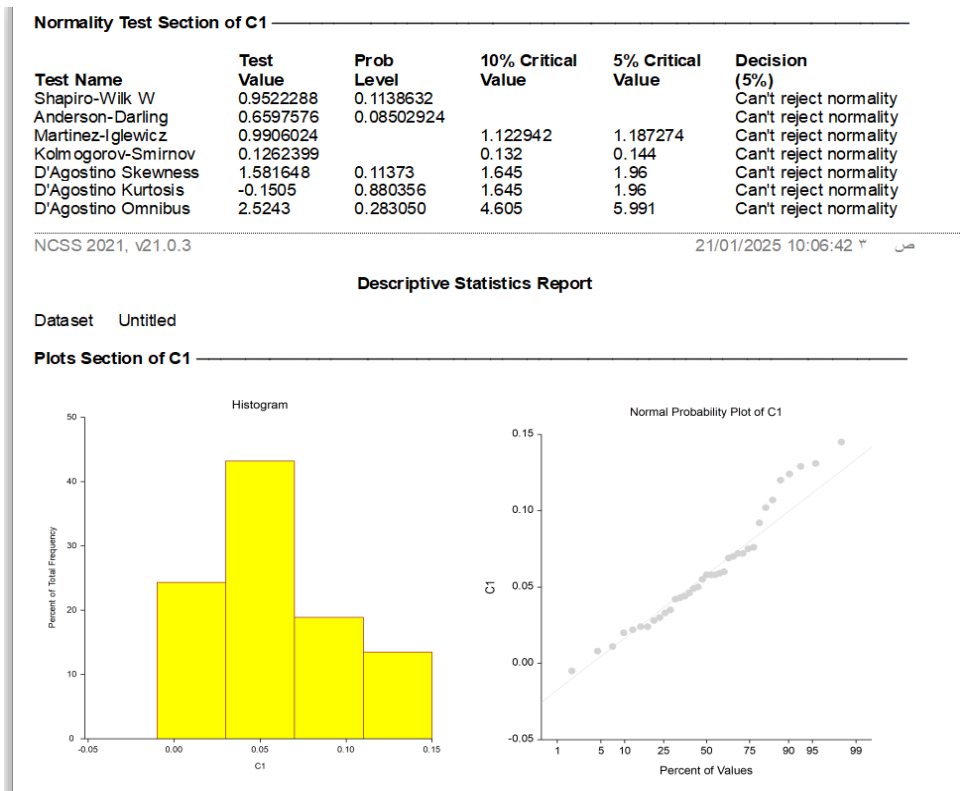
<b>B37</b>	- 211055.98 3	104451.3 88	- 211056.09 0	104451.4 54	0.10 7	- 0.06 6
<b>B38</b>	- 211302.91 1	104597.9 96	- 211303.04 0	104598.1 35	0.12 9	- 0.13 9
<b>B39</b>	- 211061.81 8	104653.4 90	- 211061.89 3	104653.5 57	0.07 5	- 0.06 7
<b>B40</b>	- 210315.48 0	104479.0 80	- 210315.53 8	104479.1 40	0.05 8	- 0.06 0
<b>B41</b>	- 210715.68 2	104365.4 67	- 210715.77 7	104365.5 46	0.09 5	- 0.07 9
<b>C36</b>	- 211408.65 2	104640.6 08	- 211408.77 2	104640.7 54	0.12 0	- 0.14 6
<b>C37</b>	- 211152.99 7	104451.2 37	- 211153.12 1	104451.2 95	0.12 4	- 0.05 8
<b>C39</b>	- 210873.28 1	104707.3 92	- 210873.33 6	104707.4 45	0.05 5	- 0.05 3
<b>C40</b>	- 210338.02 2	104396.8 86	- 210338.11 4	104396.9 57	0.09 2	- 0.07 1
<b>C41</b>	- 210583.49 0	104299.5 05	- 210583.51 4	104299.5 74	0.02 4	- 0.06 9
<b>C12 2</b>	- 210741.86 1	104102.9 12	- 210741.85 6	104102.9 59	- 0.00 5	- 0.04 7

	سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية			مجلة جامعة حمص		
	د.عمر الخليل	د.وسيم موسى	رغد علي	المجلد 47 العدد 12 عام 2025		
<b>D12</b>	- 210815.60 8	104274.2 57	- 210815.65 0	104274.3 07	0.04 2	- 0.05 0
<b>D36</b>	- 211418.53 4	104602.2 95	- 211418.67 9	104602.4 44	0.14 5	- 0.14 9
<b>D37</b>	- 211303.21 6	104498.3 77	- 211303.48 7	104498.4 80	0.27 1	- 0.10 3
<b>D39</b>	- 210888.86 9	104627.0 96	- 210888.92 7	104627.1 73	0.05 8	- 0.07 7
<b>D40</b>	- 210436.35 8	104497.0 65	- 210436.39 0	104497.1 50	0.03 2	- 0.08 5
<b>D41</b>	- 210477.09 9	104237.9 09	- 210477.17 5	104238.0 42	0.07 6	- 0.13 3
<b>E40</b>	- 210511.92 6	104393.1 92	- 210511.97 0	104393.2 91	0.04 4	- 0.09 9
<b>E41</b>	- 210647.52 5	104225.1 36	- 210647.55 3	104225.1 98	0.02 8	- 0.06 2
<b>E12 2</b>	- 210949.65 0	104438.0 35	- 210949.71 9	104438.0 99	0.06 9	- 0.06 4
<b>F12</b>	- 210993.29 6	104538.2 22	- 210993.36 8	104538.2 98	0.07 2	- 0.07 6
<b>F39</b>	- 210755.80 8	104691.7 23	- 210755.85 8	104691.8 67	0.05 0	- 0.14 4

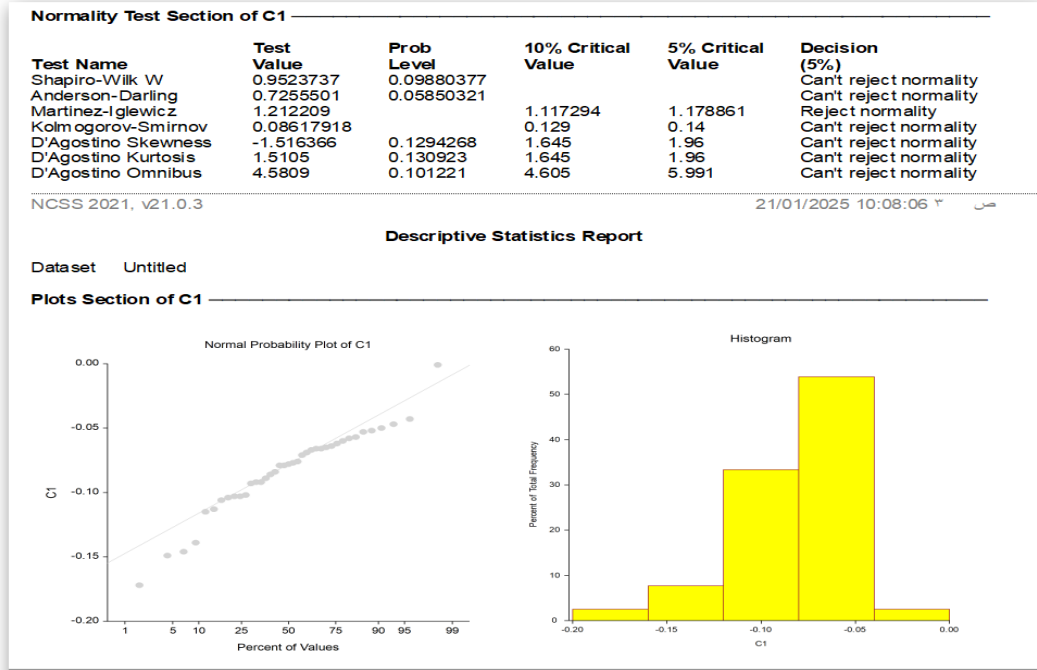
دأرة تأثیر أعدد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري بأستخدام الطائرات المسيرة

<b>G12</b>	- 211129.43 1	104669.6 06	- 211129.49 1	104669.6 58	0.06 0	- 0.05 2
<b>G36</b>	- 211336.25 9	104442.9 76	- 211336.48 6	104443.0 68	0.22 7	- 0.09 2
<b>G39</b>	- 210587.84 4	104664.2 14	- 210587.87 2	104664.3 27	0.02 8	- 0.11 3
<b>G40</b>	- 210608.38 9	104582.8 99	- 210608.43 2	104583.0 52	0.04 3	- 0.15 3
<b>G41</b>	- 210642.37 9	104117.5 21	- 210642.39 0	104117.6 55	0.01 1	- 0.13 4
<b>H40</b>	- 210678.71 2	104483.7 75	- 210678.73 6	104483.8 81	0.02 4	- 0.10 6
<b>I39</b>	- 210451.79 8	104565.3 58	- 210451.81 8	104565.4 36	0.02 0	- 0.07 8
<b>I40</b>	- 210777.29 0	104493.6 92	- 210777.34 8	104493.7 94	0.05 8	- 0.10 2
<b>J36</b>	- 211063.00 7	104282.9 57	- 211063.13 8	104282.9 58	0.13 1	- 0.00 1
<b>J40</b>	- 210834.36 2	104504.9 82	- 210834.43 4	104505.0 74	0.07 2	- 0.09 2

ومن ثم تم تكرار المنهجية السابقة وحساب الفروقات الخاصة بجميع السيناريوهات وبعد ذلك قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات لجميع السيناريوهات باستخدام البرنامج الإحصائي NCSS وحذف النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي ومن ثم حساب الأخطاء المتوسطة التربيع على هذه النقاط فوجدنا أنها تتبع للتوزيع الطبيعي عند مجال ثقة 95% وذلك بتطبيق كل الاختبارات المتاحة التي يوفرها البرنامج، وهذا ما توضحه الأشكال التالية:



الشكل (14). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dx للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



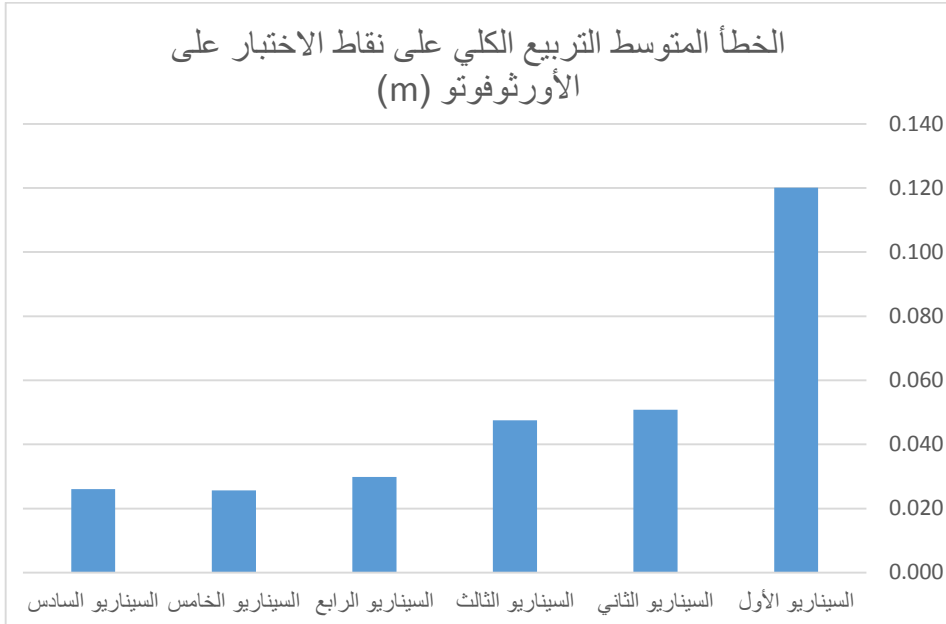
الشكل (15). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات  $dy$  للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.

نقوم بتكرار التحليل السابق بالنسبة لجميع السيناريوهات والتحقق من تبعية جميع الأخطاء للتوزيع الطبيعي ثم نقوم بحساب الأخطاء المتوسطة التربيع الكلية على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو حسب العلاقات (6) و (7) للسيناريوهات الستة بعد حذف النقاط الشاذة فكانت كما يلي:

الجدول (4). الأخطاء المتوسطة التربيع على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو للسيناريوهات الستة.

	$RMS_x$ (m)	$RMS_y$ (m)	$RMS_{xy}$ (m)
السيناريو الأول	0.005	0.009	0.120
السيناريو الثاني	0.001	0.002	0.051
السيناريو الثالث	0.000	0.002	0.047
السيناريو الرابع	0.010	0.028	0.030

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية			مجلة جامعة حمص
د.عمر الخليل	د.وسيم موسى	رغد علي	المجلد 47 العدد 12 عام 2025
السيناريو الخامس	0.000	0.000	0.026
السيناريو السادس	0.000	0.001	0.026



الشكل (16). الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو.

## 6- الاستنتاجات

يمكننا أن نصل إلى الاستنتاجات الآتية وذلك بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة في هذه البحث:

1. بلغت الدقة الكلية للتثليث الجوي للسيناريو السادس 4.4 cm وهي أفضل دقة حيث تم تقييم دقة هذه المرحلة بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية وذلك بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.

2. بلغت دقة الرفع الطبوغرافي للأورثوفوتو الناتج عن السيناريوهين الخامس والسادس 2.6 cm والتي تم تقييمها أيضاً بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية بعد إجراء الاختبارات الإحصائية.
3. السيناريو الأول (4 نقاط طرفية) والسيناريو الثالث (6 نقاط طرفية) كانا أسوأ السيناريوهات من حيث دقة التثليث الجوي.
4. كان السيناريو السادس بـ 9 نقاط ضبط (8 نقاط طرفية ونقطة مركزية) هو السيناريو الأفضل من حيث الدقة.

#### 7- التوصيات

يمكننا في نهاية هذا البحث أن نوصي بما يأتي:

1. استخدام السيناريو ذي التوزع الطرفي والمركزي (8 نقاط موزعة على الأطراف ونقطة واحدة في المركز)، إذ حقق أفضل دقة للتثليث الجوي (4.4 سم) وفقاً لاختبارات الدقة باستخدام نقاط الاختبار الأرضية.
2. تحديث دفتر الشروط الفنية الخاص بالأعمال الطبوغرافية بحيث يشمل جزءاً خاصاً بمعايير تقييم دقة منتجات الدرونات.
3. استخدام نقاط الاختبار في تقييم دقة منتجات الدرونات بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.
4. دراسة تأثير عوامل مختلفة على دقة الخرائط المنتجة من صور الدرونات كمعايرة آلة التصوير، عدد الصور، نسب التداخلات بين الصور، ومواصفات الحاسب المستخدم في عملية المعالجة، والبرنامج المستخدم للمعالجة.

## 8- المراجع

[1] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F. C., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling: Current status and future perspectives. In *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*: 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland (pp. 25-31). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).

[2] Deliry, S. I., & Avdan, U. (2021). Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(8), 1997-2017.

[3] الخليل ع. (2022). المسح التصويري باستخدام الطائرات دون طيار. دار شعاع للعلوم والنشر. 152. <<https://darshoaa.com/30069-uavbased-photogrammetry>>.

[4] Smith, D., & Heidemann, H. K. (2015). New standard for new era: Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 173-176.

[5] Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). 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*, 10(10), 1606.

[6] Crommelinck, S., Bennett, R., Gerke, M., Nex, F., Yang, M. Y., & Vosselman, G. (2016). Review of automatic feature extraction from high-resolution optical sensor data for UAV-based cadastral mapping. *Remote Sensing*, 8(8), 689.

[7] موسى و. (2020). التطورات الحالية في المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار مع أمثلة تطبيقية مجلة جامعة البعث - سلسلة علوم الهندسة المدنية، 42 (10). 35-64.

[8] العمر أ. (2023). المساحة التصويرية باستخدام الطائرات المسيّرة لأغراض التخطيط العمراني في سورية دراسة مقارنة. مجلة جامعة البعث - سلسلة علوم الهندسة المدنية، 45 (10). 64-45.

[9] زلخال، الخليل ع، & أحمد م. (2024). تقييم فعالية استخدام الطائرات دون طيار (الدرونات) في إنتاج الخرائط الطبوغرافية. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

[10] أسد غ، الخليل ع، & علي أ. تحليل دقة برامج المسح التصويري المؤتمت المجانية ومفتوحة المصدر وإمكانية تطبيقها في النمذجة ثلاثية الأبعاد. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين. 2023.

[11] الخليل ع، & فحصة إ. (2015). اقتراح منهجية لإنتاج صور مصححة عامودياً من صور المتصفح المجاني Google Earth. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، 37(5). 67-51.

[12] Smith, D., & Heidemann, H. K. (2015). New standard for new era: Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 173-176.

[13] الخليل ع. (2019). اقتراح منهجية لتقييم التثليث الصوري وخوارزميات الربط الكثيف في نظم التوثيق ثلاثي الأبعاد القائم على الصور. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، 41 (5). 687-669.

[14] 22 February 2025. < <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview> >.

[15] NCSS 2021 Statistical Software (2021). NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA, [ncss.com/software/ncss](http://ncss.com/software/ncss).