Effectiveness Evaluation of Structure from Motion (SfM) Photogrammetry Based on Smartphone in Calculating the Volume of Regular Elements

Dr. Omar Al Khali*

Dr. Wael Dayoub**

Mohammad Ahmad***

(Received 20 / 9 / 2024. Accepted 24 / 11 / 2024)

□ ABSTRACT □

In this research, the effectiveness of the Structure from Motion (SfM) technique in calculating the volume of regular objects was verified by comparing the calculation results with the reference volume and the volume calculated using traditional topographic methods .

In the proposed methodology, photos and video recordings were obtained using a smartphone and a digital camera. Then, 25 samples were formed by varying the parameters (geometric resolution, processing level, and number of photos) and repeating the calculation process. The models were then evaluated visually and geometrically.

The results showed that when using high and medium processing levels with photos of high geometric resolution, the values were almost identical to those obtained from traditional methods, while differences increased with photos extracted from video recordings. Changing the number of photos did not affect the volume accuracy, as all values were close to each other. The overall accuracy of the photo triangulation ranged between 5mm and 24mm, with all values within acceptable limits. Additionally, the results indicated an increase in the number of points clouds and faces with higher resolution and a greater number of photos, with the difference values in relative comparison of point clouds ranging between 0mm and 9mm.

Keywords: Volume Calculation**,** Structure from Motion (SfM), Smart Phone, Sparse Point Cloud, Dense Point Cloud, Digital Elevation Model (DEM)**,** Photo Triangulation**.**

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

*Professor - Department of Topographical Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University - Latakia - Syria. E-mail: omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

**Professor - Department of Topographical Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University - Latakia - Syria. E-mail: waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy

***Postgraduate Student (Master) Department of Topographical Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University - Latakia - Syria. E-mail: mohammad.ahmad@tishreen.edu.sy

تقييم فعالية المساحة التصويرية القائمة على اقتطاع البنية من الحركة باستخدام الهاتف الذكي في حساب حجم العناصر المنتظمة

د. عمر محمد الخليل*

د. وائل إبراهيم ديوب**

محمد علي احمد***

(تاريخ الإيداع 20 / 9 / 2024. قُبِل للنشر في 24/ 11 / 2024)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث التحقق من فعالية تقنية اقتطاع البنية من الحركة Structure from Motion (SfM) في حساب حجم العناصر المنتظمة، وذلك من خلال مقارنة نتائج الحساب مع الحجم المرجعي ومع الحجم المحسوب بالطرائق الطبوغرافية التقليدية.

في طريقة العمل المقترحة، تم الحصول على صور ساكنة وتسجيلات فيديو باستخدام هاتف ذكي وآلة تصوير رقمية، ثم تم تشكيل 25 عينة من خلال التبديل في المتغيرات (دقة التمييز الهندسية، مستوى المعالجة، وعدد الصور) وتكرار عملية الحساب، ثم تم تقييم النماذج من الناحية البصرية والهندسية.

أظهرت النتائج أنه عند استخدام مستويات معالجة عالية ومتوسطة مع صور ذات دقة تمييز هندسية مرتفعة، كانت القيم مطابقة تقريباً للطرائق التقليدية، بينما ازدادت الفروقات مع الصور المقتطعة من تسجيلات الفيديو. لم يؤثر تغيير عدد الصور على دقة الحجم، حيث كانت جميع القيم متقاربة. كما تراوحت الدقة الكلية للتثليث الصوري بين 5mm و24mm، وكانت جميع القيم ضمن الحدود المسموحة. كما أظهرت النتائج زيادة في عدد نقاط الغمامات والوجوه مع زيادة دقة التمييز وعدد الصور، وتراوحت قيمة الفروقات عند المقارنة النسبية لغمامات النقاط بين القيمتين 0mm و9mm.

الكلمات المفتاحية: حساب الحجم، اقتطاع البنية من الحركة، هاتف ذكي، غمامة النقاط المبعثرة، غمامة النقاط الكثيفة، النموذج الرقمي للارتفاع، التثليث الصوري.

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.
E-mail: omarmohammedalkhalil@tishreen.edu.sy

**أستاذ - قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
E-mail: waelibrahimdayoub@tishreen.edu.sy

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم الهندسة الطبوغرافية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
E-mail: mohammad.ahmad@tishreen.edu.sy

مقدّمة:

أدى تطور التصوير الرقمي وتكامل التكنولوجيا إلى تعزيز كفاءة المساحة التصويرية Photogrammetry، خاصة في التطبيقات ثلاثية الأبعاد. في البداية، ركزت هذه التطورات على إنشاء نماذج رقمية للارتفاعات Digital Elevation Models (DEMs) ونماذج رقمية للسطح Digital Surface Models (DSMs) باستخدام بيانات نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي Differential Global Positioning System (DGPS) والمساحة التصويرية، حيث مكنتنا البيانات المعبر عنها على شكل نموذج ثلاثي الأبعاد 3D Model من إظهار العناصر بشكل أكثر وضوحاً وفعالية [1].

يعتبر الحساب الدقيق للحجم أحد الاهتمامات التي ساهمت في تطوير النمذجة ثلاثية الأبعاد، فهناك الكثير من المجالات التي تتطلب حساب الحجم مثل الحفر Cut والردم Fill، وتآكل التربة Soil Erosion وترسبها، ونمذجة التشوه Distortion Modeling ... الخ. وبما أن كل هذه التطبيقات تستند على بناء النموذج الرقمي للسطح فقد احتل المسح التصويري مكانةً هامة على اعتبار أنه من التقنيات اللازمة للحصول على هذا النموذج [2].

عادةً ما يتم استخدام الطرائق الطبوغرافية التقليدية في تحديد المدخلات اللازمة (النموذج الرقمي للارتفاعات DEM) لحساب حجم الأعمال الترابية. وفي السنوات الماضية أثبتت الماسحات الليزرية الأرضية Terrestrial Laser Scanner (TLS) قدرتها على توليد بيانات DEM عالية الجودة وأصبحت أحد الأساليب المفضلة في الحصول على هذا النموذج حيث أن هذه الماسحات تملك القدرة على قياس السطوح الطبوغرافية وحساب الأعمال الترابية انطلاقاً منها بدقة عالية [3]. ولكن يجب أن نشير إلى أن الحل القائم على استخدام TLS يعاني من بعض المشاكل بما في ذلك التكلفة والاحترافية العالية المطلوبة لاستخدامها، كما تعاني الطرائق الطبوغرافية من طول المدة الزمنية اللازمة لإنجاز بناء النموذج الرقمي للسطح وكذلك من المستوى المنخفض للتفاصيل الناتجة عن هذا النموذج [4].

من ناحية أخرى، تم استخدام تقنية المسح التصويري القائم على اقتطاع البنية من الحركة Structure from Motion (SfM) على نطاق واسع في العديد من المجالات المختلفة التي تشمل مراقبة البنية الجيومورفولوجية، والتآكل والترسب والمورفولوجيا الديناميكية Morphodynamics للمناطق الساحلية، كتقنية قليلة التكاليف في الحصول على النموذج الرقمي للسطح والذي هو مدخل أساسي في حساب حجم الأعمال الترابية التي تهم هذه التطبيقات [5].

إن ما يميز تقنية SfM هي قدرتها على بناء النموذج الرقمي للسطح باستخدام الصور الناتجة عن استخدام أدوات قابلة للنقل بسهولة مثل الهاتف الذكي Smartphone [6] أو آلة التصوير المدمجة Compact Camera [7] أو حتى الحواسب اللوحية Tablets [8]، وهي أدوات قلية التكلفة وسهلة الاستخدام. تجب الإشارة هنا إلى وجود عوامل متعددة تؤثر على دقة حساب النموذج الرقمي للارتفاعات باستخدام صور الهاتف الذكي وأهمها دقة التمييز الهندسية Geometric Resolution لهذه الصور [9]. ومن هنا جاء اقتراحنا باستخدام آلات التصوير المرفقة مع الهواتف الذكية لالتقاط الصور (صور ثابتة أو تسجيلات فيديو) اللازمة لبناء النموذج الرقمي للارتفاعات وحساب كميات الأعمال الترابية (الحفر والردم) منه، ولتقييم دقة هذه الحسابات ستتم مقارنتها مع نتائج الطرائق الطبوغرافية التقليدية.

أهمية البحث وأهدافه:

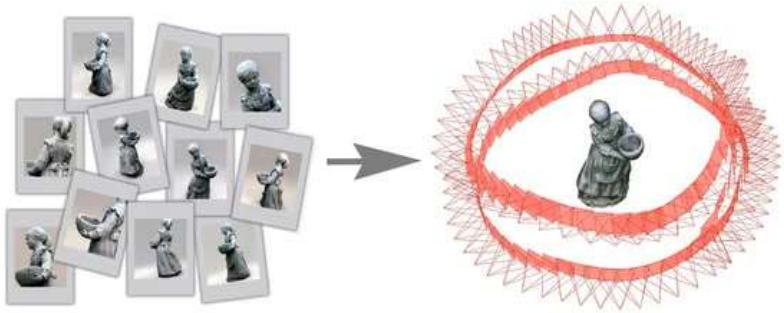
تتمثل أهمية البحث بأنه يقترح منهجية متكاملة لتطبيق المساحة التصويرية SfM منخفضة التكاليف تقوم على استخدام الهواتف الذكية المتوافرة في أيدي الجميع في عملية حساب الحجم، والتي تتمتع بدورها بأهمية كبيرة في العديد من التطبيقات الهندسية.

وبالتالي فأن الهدف الأساسي لهذا البحث هو تقييم إمكانيات الصور الساكنة وتسجيلات الفيديو الملتقطة بآلة تصوير مرفقة مع الهاتف الذكي في إعادة بناء النموذج ثلاثي الابعاد للارتفاعات وحساب الحجم بالاستناد على تقنية المسح التصويري SfM.

طرائق البحث ومواده:

أولاً: تقنية اقتطاع البنية من الحركة SfM

هي تقنية تصويرية منخفضة التكاليف نشأت من التكامل بين الرؤية بمعونة الحاسب وتقنيات التصوير الفوتوغرافي، تستخدم هذه التقنية سلسلة من الصور ثنائية الأبعاد (لعنصر أو منطقة ما) ملتقطة بواسطة مستشعر متحرك (على سبيل المثال آلة تصوير أو طائرة دون طيار Drone) لاستخراج السمات وإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد 3D Models وتحسين دقة وكثافة هذه النماذج. في الآونة الأخيرة، شاع استخدام هذه التقنية على نطاق واسع وفي العديد من المجالات، إلا أن الاستخدام الرئيسي لها هو كتقنية مسح طبوغرافي لإنتاج غمامات نقاط ثلاثية الأبعاد كثيفة Dense Point Cloud، ونماذج رقمية للارتفاعات DEMs، والخرائط الطبوغرافية Topographic Maps، والصور المصححة عمودياً Orthophoto [10].

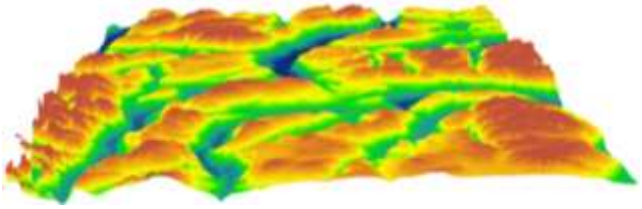


(المصدر : https://www.mdpi.com/322616)

الشكل (1). تقنية اقتطاع البنية من الحركة SfM

ثانياً: النموذج الرقمي للارتفاع Digital Elevation Model (DEM)

هو تمثيل التضاريس بشكل ثلاثي الأبعاد من خلال تقديم قيمة رقمية للارتفاع في كل نقطة على سطح الأرض وتسجيل هذه القيم في صورة بشكل نقطي Raster [11]، يطلق على DEM اسم DTM عندما يقوم بتمثيل ارتفاعات سطح الأرض الطبيعية فقط، ويسمى ب DSM عندما يمثل سطح الأرض الطبيعية والعناصر الموجودة فوقها أيضاً (كالمنشآت وغيرها) [12]، يستخدم بشكل عام لإنشاء صورة ثلاثية الأبعاد ولتحليل السطح والتضاريس.



(المصدر : https://gisgeography.com)

الشكل (2). النموذج الرقمي للارتفاعات DEM

ثالثاً: غمامة النقاط الكثيفة Dense Point Cloud

هي مجموعة من النقاط ثلاثية الأبعاد المخزنة بشكل مصفوفي والتي تمثل سطح أو عنصر ما بشكل دقيق في الفضاء، يتحدد موقع كل نقطة منها بإحداثيات ديكارتية (X,Y,Z) وبالتالي يمكن استخدام هذه النقاط لإجراء تحليلات وقياسات دقيقة، وإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد، وإخراجها في صيغ مختلفة للاستخدام في تطبيقات أخرى. وعادة ما يكون لغمامة النقاط الكثيفة سمات إضافية (كالكثافة واللون والسطوع) [13].

(المصدر: https://grail.cs.washington.edu/rome/dense.html)

الشكل (3). غمامة نقاط كثيفة لمدرج الكولوسيوم، روما

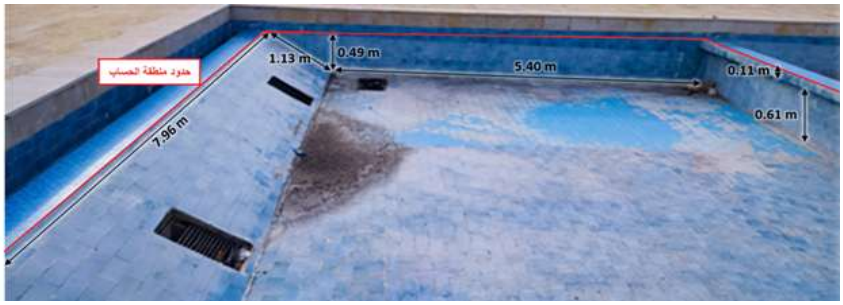
رابعاً: مسافة الاعتيان الأرضية والتثليث الصوري

تعتبر مسافة الاعتيان الأرضية Ground Sample distance (GSD) من أهم المصطلحات المستخدمة في المساحة التصويرية فهي تشير إلى مقدار ما يمثله البكسل الواحد من الصورة على سطح الأرض، وتعرّف بأنها المسافة المقاسة على الأرض بين مراكز البكسلات في الصورة وتقدر ب: cm/pixel، وكلما كبر هذا المقدار كلما قلت كمية التفاصيل الموجودة في الصورة. من خلال هذه القيمة نستطيع تحديد مقياس الرسم ومسافة التصوير ومقدار التغطية الأرضية [14].

التثليث الجوي Aero triangulation هو عملية تحديد الإحداثيات الأرضية (X,Y,Z) من خلال قياس الإحداثيات الصورية لنفس النقاط، كما نستطيع من خلاله حساب معاملات التوجيه الخارجي [15]، ويستعاض عن هذا المصطلح بالتثليث الصوري Photo triangulation لأن هذه العملية ليست حكراً على الصور الجوية الملتقطة باستخدام الطائرات دون طيار Drones، إذ تطبق أيضاً على الصور الأرضية.

خامساً: عنصر الدراسة

عنصر الدراسة هو بركة مياه في جامعة تشرين ضمن حديقة كلية الطب البشري، تتألف من ثلاثة أحواض متصلة مع بعضها البعض من الأسفل بأنبوب. تُضخ المياه إلى أول حوض وتنتقل عبر الأنبوب السفلي إلى الحوض الثاني ثم الثالث. تم العمل على الحوض الثالث (الشرقي)، وهو منتظم وغير معقد هندسياً، يتألف من موشور مثلثي ومتوازيي مستطيلات. قيست جميع المسافات باستخدام جهاز المحطة المتكاملة، وتم إيجاد القيمة التقريبية للحجم $V_{Total} = 29.40\ m^3$.



الشكل (4). عنصر الدراسة

سادساً: أدوات البحث

تم استخدام جهاز المحطة المتكاملة Total Station-South N6 في عملية المسح الطبوغرافي التقليدي، ومن أجل الحصول على الصور الساكنة فقد تم استخدام آلة التصوير الرقمية Nikon D3000 والهاتف الذكي Xiaomi Redmi 9 Power الذي يوفر دقتي تمييز مختلفتين، بينما من أجل تسجيلات الفيديو فقد استخدم الهاتف الذكي دون آلة التصوير الرقمية التي لا تتوفر فيها ميزة تسجيل الفيديو.

جدول (1). الأجهزة المستخدمة

Total Station-South N6 دقة قياس الزوايا 5" دقة قياس المسافات بدون عاكس 3mm+2ppm دقة قياس المسافات مع عاكس (موشور) 2mm+2ppm دقة قياس المسافات مع عاكس ورقي 2mm+2ppm	
Nikon D3000 دقة التمييز 10 MP مستشعر شحنة مزدوجة Charge Coupled Device (CCD)	
Xiaomi Redmi 9 Power دقة التمييز 48MP و12MP مستشعر شحنة مزدوجة Charge Coupled Device (CCD)	

أما البرمجيات المستخدمة فهي:

1. البرنامج Civil 3D: لحساب الحجم بالطريقة الطبوغرافية التقليدية، يستخدم عادةً في المشاريع الهندسية مثل الطرق، والجسور، وشبكات الصرف الصحي، وحساب الكميات، ويوفر أدوات لتحليل التضاريس والسطوح مما يساعد في فهم التغيرات في الارتفاعات والمناطق المحيطة [16].
2. البرنامج Agisoft Metashape: هو برنامج يستند إلى تقنية اقتطاع البنية من الحركة SfM ويستخدم بشكل أساسي لمعالجة الصور وتحويلها إلى نماذج ثلاثية الابعاد بالاعتماد على أساليب متقدمة تحدد النقاط المشتركة بين الصور، كما يوفر أدوات لتحليل البيانات المكانية بما في ذلك توليد النماذج الرقمية للارتفاعات وقياس المسافات والمساحات والحجوم [17].
3. البرنامج NCSS: لإجراء التحليلات الإحصائية للنتائج، فهو يوفر مجموعة من الأدوات التي تساعد الباحثين على فهم البيانات واستخراج الأنماط والمعاني منها، وبالتالي يستخدم لتصميم الدراسات الإحصائية والرسوم البيانية، وتحليل البيانات الكمية مهما بلغت درجة تعقيدها [18].
4. البرنامج CloudCompare: هو برنامج مفتوح المصدر مخصص لمعالجة بيانات غمامات النقاط Point Clouds، حيث يوفر أدوات لتحليل واستخراج وتصور البيانات ثلاثية الأبعاد، ومقارنة النماذج المختلفة ودراسة الاختلافات [19].

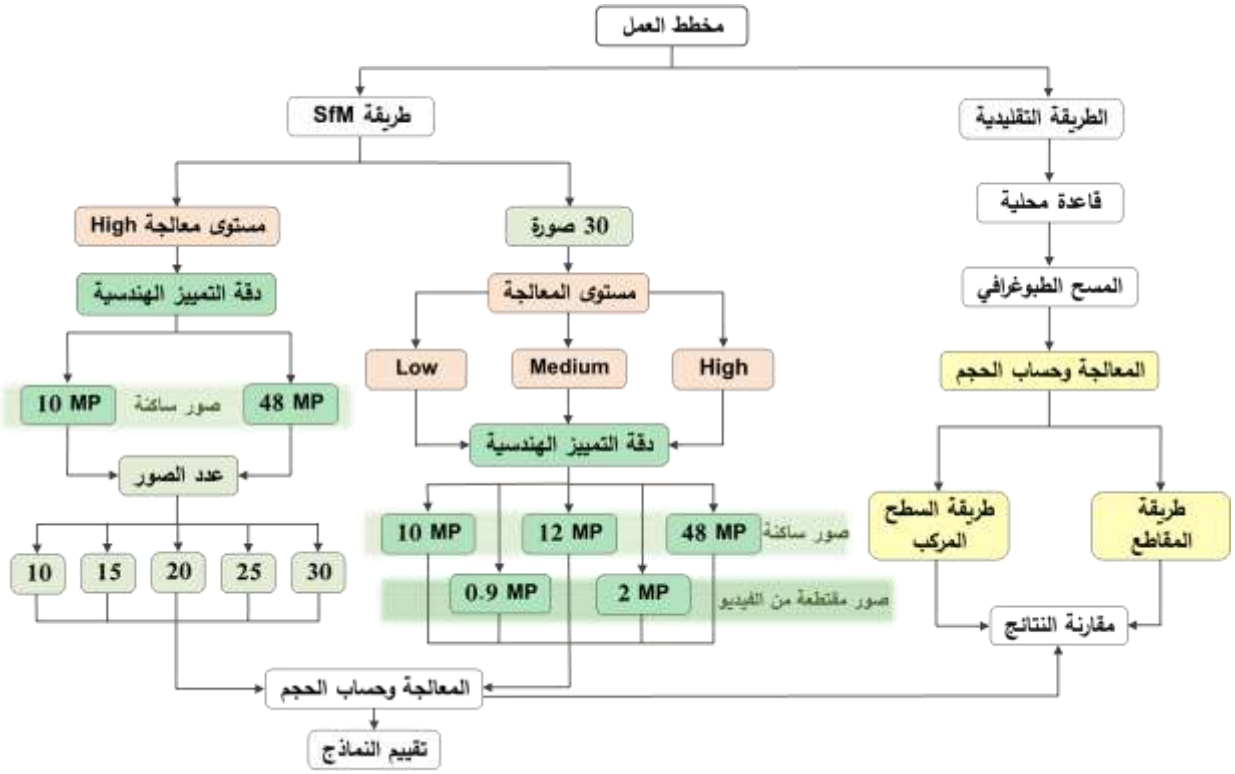
سابعاً: منهجية البحث

مرت منهجية البحث بالخطوات التالية:

1. استخدام الطرائق الطبوغرافية التقليدية في الحصول على البيانات ومعالجتها وحساب الحجم.
2. تطبيق طريقة اقتطاع البنية من الحركة على هذه العناصر، وذلك من خلال:

- الحصول على البيانات (صور ساكنة وتسجيلات فيديو) باستخدام آلة التصوير والهاتف الذكي، واقتطاع الصور من تسجيلات الفيديو.
- تشكيل التجارب، وذلك من خلال التبديل بين المتغيرات (دقة التمييز الهندسية، عدد الصور، مستوى المعالجة).
- المعالجة (توجيه الصور، بناء غمامة النقاط الكثيفة، توليد النموذج الرقمي للارتفاعات).
- حساب الحجم.

3. مقارنة النتائج وتقييم الدقة.

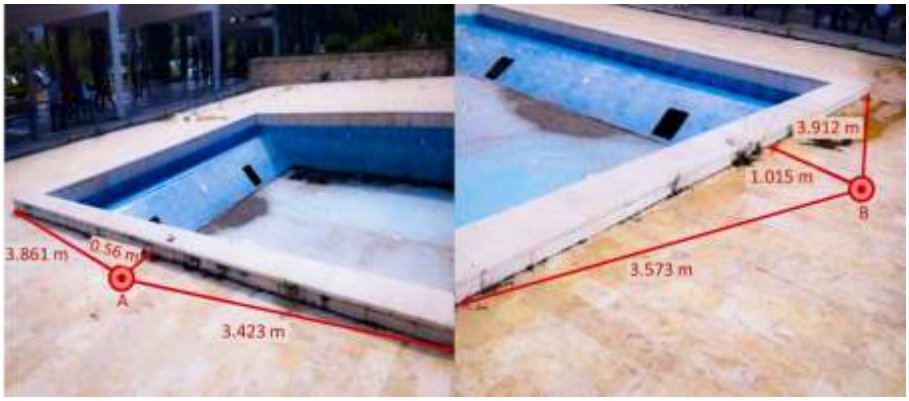


الشكل (5). منهجية الدراسة

النتائج والمناقشة:

أولاً: القاعدة المحلية والمسح الطبوغرافي

بعد القيام بعملية الاستطلاع الحقلي للموقع وتحديد مكان زراعة نقاط الاستناد لخط القاعدة، تمت زراعة نقطتي القاعدة ثم إنشاء كروت وصف باستخدام شريط القياس كما هو مبين في الشكل (6)، وذلك من أجل تعريف كل مرصد وإمكانية استخدام هذه الكروت في تحديد مواقع النقاط في حال تعرضها للتخريب أو الفقدان.



الشكل (6). نقطتا القاعدة المساحية

في الخطوة التالية تم فرض إحداثيات النقطة A(100,100,10) ، وحساب إحداثيات النقطة B من خلال قياس المسافة بين نقطتي القاعدة عدة مرات وكذلك فرق الارتفاع، يبين الجدول (2) إحداثيات نقاط خط القاعدة.

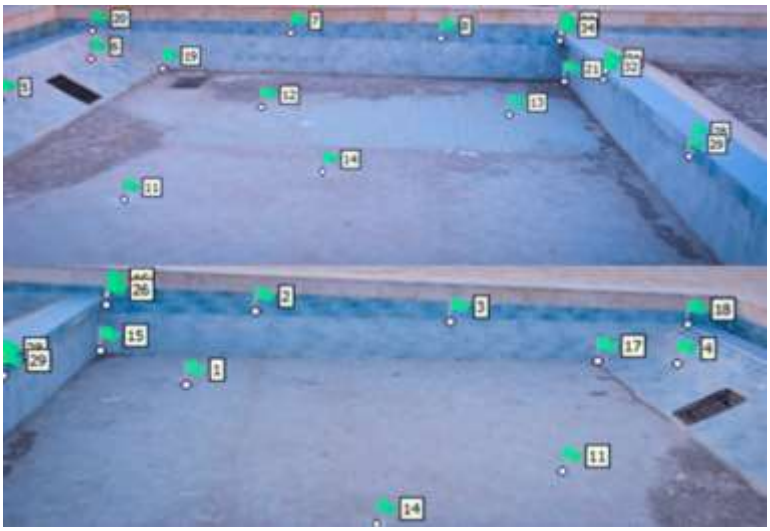
جدول (2). إحداثيات نقطتي القاعدة

النقطة	X (m)	Y (m)	Z (m)
A	100	100.000	10.00
B	100	110.121	10.011

بالنسبة للمسح الطبوغرافي، فقد تم استخدام النقاط المميزة على العنصر المدروس كنقاط ضبط طبيعية (زوايا الحوض)، كما تمت إضافة نقاط ضبط صناعية، مع الحرص على رؤية نقاط الضبط من خلال نقطتي القاعدة، وذلك من أجل تحديد إحداثياتها بدقة باعتماد القيم المتوسطة. يبين الشكل (7) نمط نقاط الضبط المستخدمة:

الشكل (7). شكل نقاط الضبط الصناعية المستخدمة

كما يبين الشكل (8) توزع نقاط الضبط على العنصر المدروس:



الشكل (8). نقاط الضبط على العنصر المدروس

بلغ عدد نقاط الضبط المقاسة 35 نقطة، ويبين الجدول التالي إحداثيات عينة منها:

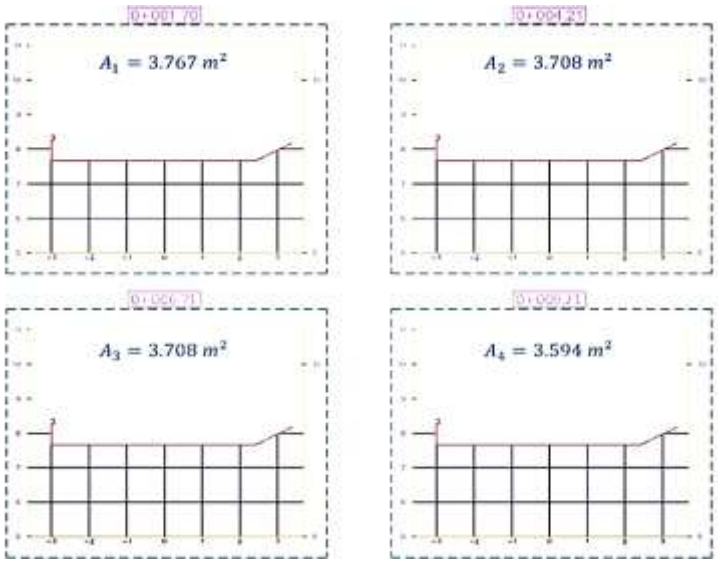
جدول (3). إحداثيات بعض نقاط الضبط

النقطة	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	102.644	101.620	7.661
2	101.950	100.637	8.236
3	99.877	100.925	8.152
4	97.826	102.107	7.926
5	98.123	105.140	7.955
6	98.538	108.179	7.959
7	100.987	108.807	8.244
8	102.954	108.538	8.241
9	104.178	105.762	8.346
10	103.837	103.168	8.348

ثانياً: حساب الحجم بالطرائق الطبوغرافية التقليدية

1. طريقة المقاطع Section Method

مرت خطوات حساب الحجم بطريقة المقاطع بمرحلتين، في المرحلة الأولى تم تحديد مسار المقطع الطولي ونقاط التحكم المناسبة للمسار وخصائصه مثل الأطوال والتباعد بين المقاطع (في حالتنا تم إجراء 4 مقاطع على المسار المحدد بتباعد 2.5m)، وفي المرحلة الثانية تم حساب الكمية المطلوبة.



الشكل (9). المقاطع الطولية

$$V_{Total} = H_{avg} \times \frac{A_m}{n} \qquad ()1$$

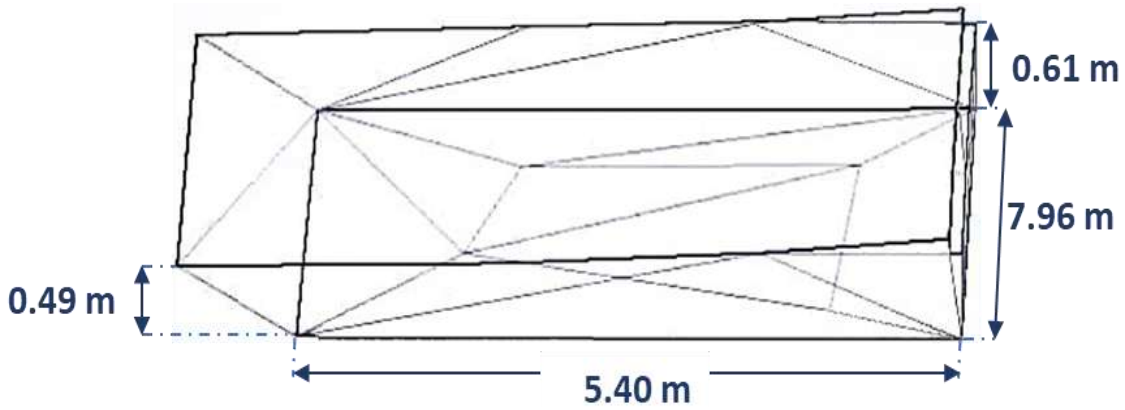
حيث: H_{avg}: طول المسار، A_m: المساحة المتوسطة للمقاطع، n: عدد المقاطع.

بلغت قيمة الحجم الكلي عند تطبيق العلاقة (1) $V_{Total} = 29.41\ m^3$.

2. طريقة السطح المركب Composite Surface

يتيح استخدام هذه الطريقة إعادة تشكيل شبكة المثلثات لسطح جديد بالاستناد إلى نقاط من سطحين، السطح الأول مُشكل من جميع النقاط الممسوحة للحوض والسطح الثاني مُشكل من النقاط العلوية فقط. باستخدام لوحة التحكم في

الحجم Volumes Dashboard تم تشكيل سطح ثالث ناتج من عملية فرق المناسيب بين السطحين الأول والثاني ثم حساب الحجم، فبلغت قيمته $29.42\ m^3$.



الشكل (10). السطح المركب

ثالثاً: حساب الحجم اعتماداً على طريقة اقتطاع البنية من الحركة SfM

1. الأعمال التمهيدية والحقلية

تم تثبيت الشروط الحقلية من أجل موثوقية تقييم الدقة والحكم على النتائج، فقد تم اعتماد القاعدة المساحية ذاتها، وبالتالي فإن جميع النماذج التي تم توليدها كانت في نفس نظام الإحداثيات. وأيضاً تم تثبيت عدد نقاط الضبط المستخدمة في جميع النماذج، إذ تم أخذ خمسة نقاط ضبط متوزعة وسبعة نقاط تحقق (لم تدخل في عملية الحساب إنما أُستخدمت في تقييم دقة التثليث الصوري)، وجميع النقاط المأخوذة هي نقاط صناعية لضمان دقة أعلى.

2. آلية التقاط الصور

أُخذت الصور بنفس التوقيت لتجنب تأثير الظلال وعوامل الطقس، وتم اعتماد العدد نفسه من الصور، مع المحافظة على بعد ثابت عن العنصر وعلى ثبات آلة التصوير، وتصوير نفس الجزء من مواقع مختلفة، والحرص على وجود نسبة تداخل طولي بين الصور المتتالية.

تم التقاط صور ساكنة اعتماداً على آلة التصوير الرقمية Nikon D3000 وآلة التصوير المرفقة مع الهاتف الذكي Xiaomi Redmi 9 Power، وثم التقاط تسجيلات فيديو تغطي كامل العنصر المدروس بنفس الهاتف الذكي بجودة 1080 و720، ثم اقتطاع الصور من الفيديو، وحذف الصور غير الواضحة الناتجة عن الحركة أثناء عملية التصوير. أصبح الناتج النهائي لعملية التصوير هو خمس مجموعات من الصور بدقات تمييز مختلفة (0.9,2,10,12,48) MP، وكل مجموعة مكونة من عدد ثابت من الصور (30 صورة).

3. المعالجة وحساب الحجم

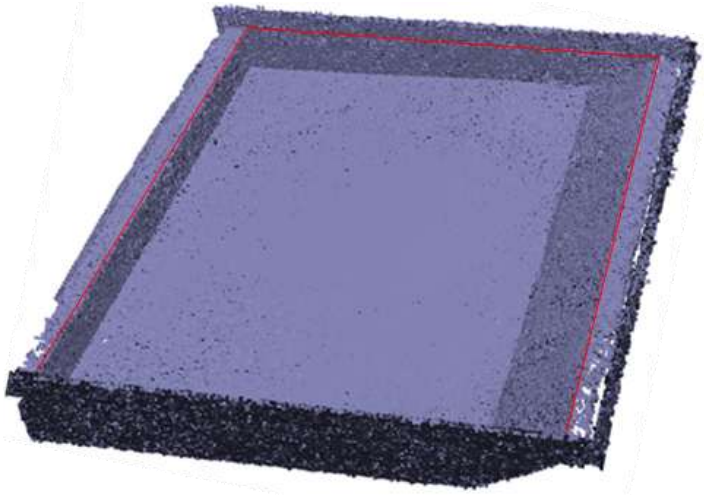
بعد تعديل المتغيرات وتشكيل العينات، أُجريت عملية المعالجة وفق المراحل التالية:

- تم توجيه الصور المضافة إلى البرنامج توجيهاً نسبياً Relative Orientation (محاذاة الصور Align Photos من خلال اكتشاف النقاط Detecting Points ثم تقدير موقع آلات التصوير Camera Location، حيث يتم تحديد موقع كل صورة بالنسبة لبقية الصور في النموذج الثلاثي الأبعاد)، وتوجيهاً مطلقاً Absolute Orientation (من خلال قياس خمسة نقاط ضبط وربط الإحداثيات (x,y,z) مع مواقعها على الصور). إن ناتج عملية التوجيه

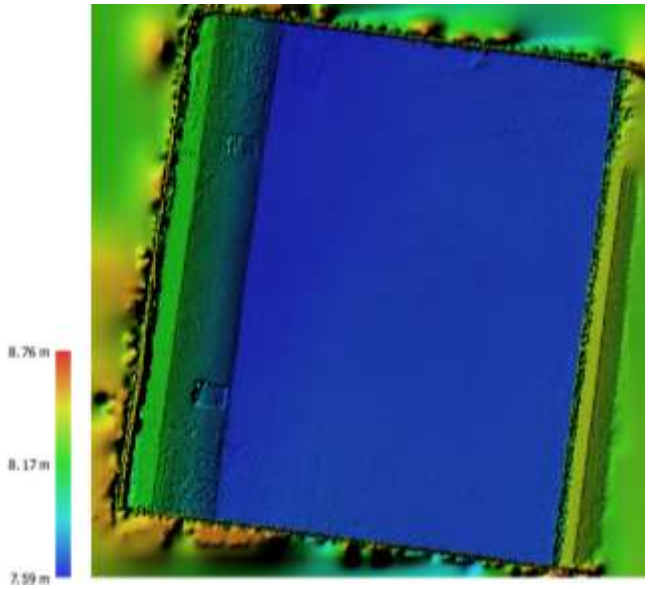
النسبي هو الحصول على غمامة نقاط مبعثرة Sparse Point Cloud، وتركيبة أولية للصور المستخدمة ومواقع آلة التصوير، يبين الشكل التالي غمامة النقاط المبعثرة ومواقع آلات التصوير:

الشكل (11). غمامة النقاط المبعثرة ومواقع آلات التصوير

- بناء غمامة النقاط الكثيفة Dense Point Cloud انطلاقاً من الصور الموجهة وذلك بهدف إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للعنصر المدروس يمثل هيكل وشكل العنصر المُصور، كما هو مبين في الشكل (12).
- بناء النموذج الرقمي للارتفاعات DEM والحصول على ارتفاعات النقاط استناداً إلى غمامة النقاط الكثيفة، ثم حساب حجم العنصر ثلاثي الابعاد، يبين الشكل (13) النموذج الرقمي للارتفاعات الناتج.

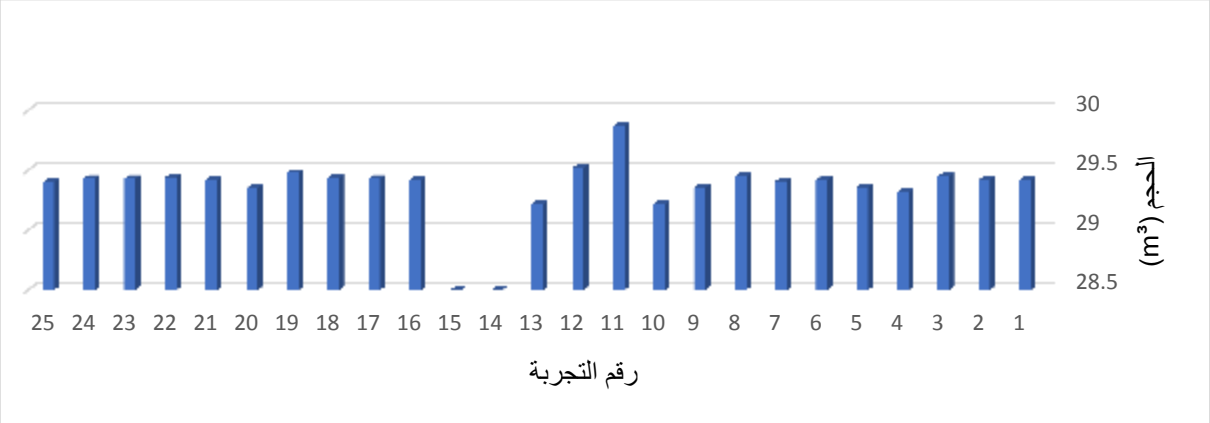


الشكل (12). غمامة النقاط الكثيفة



الشكل (13). النموذج الرقمي للارتفاعات

يبين الشكل (14) والجدول (4) القيم النهائية للحجم بعد التبديل بين المتغيرات المؤثرة على عملية بناء النماذج ثلاثية الأبعاد، وعلى عملية الحساب.



الشكل (14). مخطط تغير قيم الحجم حسب رقم التجربة

جدول (4). قيم الحجم

التجربة	نوع الصور	أداة التصوير	الدقة (MP)	مستوى المعالجة	عدد الصور	الحجم (m^3)	ملاحظات
1	ساكنة	آلة تصوير	10	High	30	29.42	
2		هاتف ذكي	48	High	30	29.42	
3		هاتف ذكي	12	High	30	29.45	
4	مقتطعة من الفيديو	هاتف ذكي	2	High	30	29.32	
5		هاتف ذكي	0.9	High	30	29.36	
6	ساكنة	آلة تصوير	10	Medium	30	29.42	
7		هاتف ذكي	48	Medium	30	29.41	

8		هاتف ذكي	12	Medium	30	29.45	
9	مقتطعة من الفيديو	هاتف ذكي	2	Medium	30	29.36	
10		هاتف ذكي	0.9	Medium	30	29.22	
11	ساكنة	آلة تصوير	10	Low	30	29.87	
12		هاتف ذكي	48	Low	30	29.52	
13		هاتف ذكي	12	Low	30	29.22	
14	مقتطعة من الفيديو	هاتف ذكي	2	Low	30	-	فشل[1]
15		هاتف ذكي	0.9	Low	30	-	فشل[2]
16	ساكنة	آلة تصوير	10	High	30	29.42	مكررة[3]
17		آلة تصوير	10	High	25	29.43	
18		آلة تصوير	10	High	20	29.44	
19		آلة تصوير	10	High	15	29.48	
20		آلة تصوير	10	High	10	29.35	
21	ساكنة	هاتف ذكي	48	High	30	29.42	مكررة[4]
22		هاتف ذكي	48	High	25	29.44	
23		هاتف ذكي	48	High	20	29.43	
24		هاتف ذكي	48	High	15	29.43	
25		هاتف ذكي	48	High	10	29.40	

نلاحظ مما سبق أن قيم الحجم متقاربة لجميع التجارب ومساوية تقريباً للحجم المحسوب بالطريقة التقليدية وللحجم التقديري المعطى للحوض، لكن ازدادت الفروقات في الحجم عند انخفاض مستوى المعالجة ودقة التمييز. اثناء معالجة الصور المقتطعة من الفيديو بمستوى معالجة Low فشلت عملية التوجيه الأولي لغالبية الصور، لذلك قمنا بتوجيهها يدوياً (من خلال إضافة نقاط إضافية Markers)، ومع ذلك فشلت عملية المعالجة وحساب الحجم (التجربتان 14 و15).

رابعاً: تقييم النماذج

تهدف عملية تقييم دقة النموذج ثلاثي الأبعاد في المساحة التصويرية إلى قياس مدى دقة وجودة النموذج الذي تم إنشاؤه باستخدام تقنيات التصوير ومدى تمثيله للواقع، إذ أنه من المهم معرفة أن النتائج المستخلصة يمكن الاعتماد عليها في اتخاذ القرارات واستخدامها في التطبيقات الهندسية المختلفة، يتم هذا التقييم من الناحية البصرية والهندسية ولكل حالة منهما معايير وأهداف خاصة.

[1] **فشلت عملية حساب الحجم بسبب التشوه في النموذج**

[2] **فشلت عملية حساب الحجم بسبب عدم تشكل النموذج**

[3] **تجربة مكررة نتيجة تبديل المتغيرات**

[4] **تجربة مكررة نتيجة تبديل المتغيرات**

1. التقييم البصري

التقييم البصري يركز على كمالية النموذج من حيث الأبعاد والوضوح، وضمان عدم وجود تباينات غير منطقية. من الناحية البصرية، حققت جميع النماذج المُشكلة كمالية الشكل الهندسي (الأبعاد والزوايا والأسطح المختلفة)، لكن اثناء معالجة الصور المقتطعة من تسجيلات الفيديو (ذات دقة تمييز هندسية منخفضة تساوي 2MP)، كان النموذج ثلاثي الابعاد الناتج مشوهاً (تجربة 14)، وعندما تم تغيير دقة التمييز الهندسية إلى 0.9MP فشل تشكليه بشكل كلي (تجربة 15).

الشكل (15). غمامة النقاط الكثيفة والنموذج الصوري للتجربة 14

كما وأبدى العنصر المدروس في التجربة 20 تشوهاً طفيفاً في الشكل الهندسي عند استخدام 10 صور، ويعود ذلك لانخفاض نسبة التداخل بين الصور، لكن لم يؤثر هذا التشوه على قيمة الحجم بسبب عدد نقاط الغمامة الكبير والشكل الهندسي غير المعقد للعنصر. تم التخلص من هذا التشوه برفع دقة التمييز الهندسية (تجربة 25).

a). غمامة النقاط والنموذج الصوري للتجربة (20)

b). غمامة النقاط والنموذج الصوري للتجربة (25)

الشكل (16). غمامتا النقاط والنموذجان الصوريان للتجربتين 20 و25

2. التقييم الهندسي

عند إجراء هذا التقييم، يتم التحقق من المعايير الهندسية، ومدى دقة الأبعاد والزوايا في النموذج مقارنة بالقياسات الحقيقية ومقدار قربها من الواقع، ويتضمن استخدام أدوات تحليلية لتحديد الأخطاء الهندسية [20]، كما يتم تقييم عدد نقاط الغمامة وعدد الأوجه والمستويات. تمر عملية التقييم بالمراحل التالية:

A. تقييم دقة التثليث الصوري

من أجل تقييم دقة التثليث الجوي تم قياس نقاط الاختبار Check Points على الصور لجميع العينات المدروسة ومن ثم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات والإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار، وإجراء التحليل الإحصائي لهذه الفروقات واختبار تبعيتها للتوزع الطبيعي واستبعاد القيم الشاذة، ثم تم حساب الأخطاء متوسطة التربيع على كل من الموقعين الأفقي والرأسي لنقاط الاختبار وفق العلاقات التالية:

- الخطأ المتوسط التربيع على الاتجاه X:

$$RMSE_X = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{reference} - X_{measured})}{n} \quad (2)$$

- الخطأ المتوسط التربيع على الاتجاه Y:

$$RMSE_Y = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{reference} - Y_{measured})}{n} \quad (3)$$

- الخطأ المتوسط التربيع على الاتجاه الأفقي XY:

$$RMSE_{XY} = \sqrt{RMSE_X{}^2 + RMSE_Y{}^2} \quad (4)$$

- الخطأ المتوسط التربيع على الاتجاه Z:

$$RMSE_Z = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_{reference} - Z_{measured})}{n} \quad (5)$$

- الخطأ المتوسط التربيع على الاتجاه XYZ:

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{RMSE_{XY}{}^2 + RMSE_Z{}^2} \quad (6)$$

حيث أن: n هي عدد نقاط الاختبار، و$Z_{reference}$ ،$Y_{reference}$ ،$X_{reference}$ هي الإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار على الصور الناتجة عن عملية التثليث، و$Z_{measured}$ ،$Y_{measured}$ ،$X_{measured}$ هي الإحداثيات المقاسة على الصور الناتجة عن عملية التثليث.

من أجل تقييم دقة التثليث الصوري تم استخدام العلاقة التالية [21]:

$$\sigma_{XYZ} = (4 \rightarrow 6) * GSD \quad (7)$$

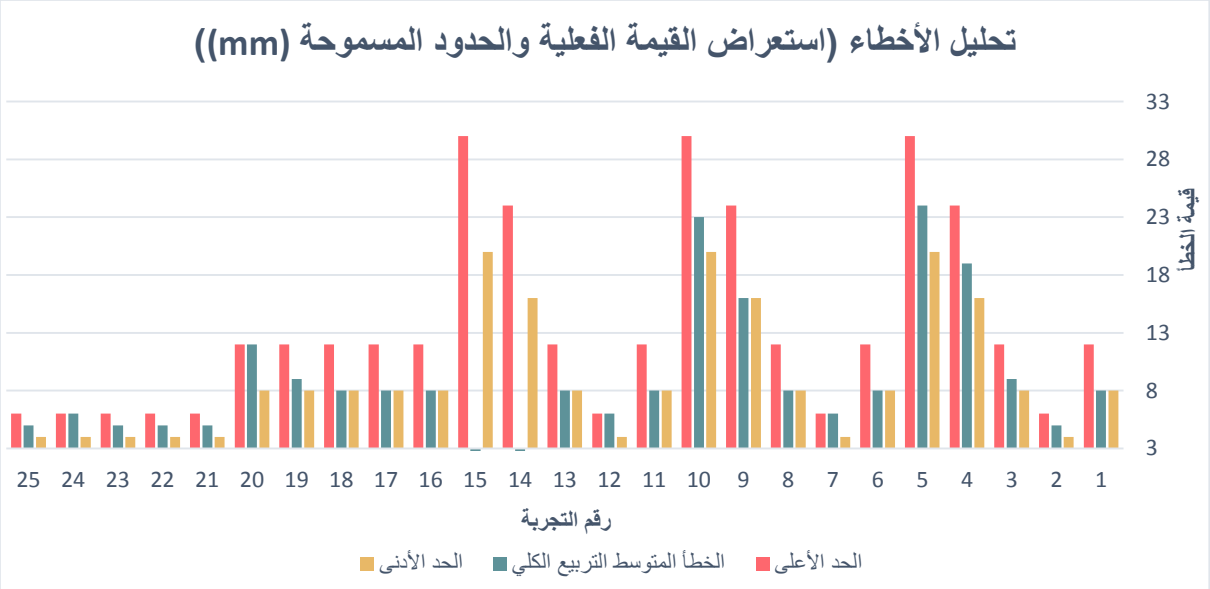
يوضح الجدول (5) نتائج تطبيق العلاقات (5)→(2):

جدول (5). قيم الأخطاء المتوسطة التربيع والحدود المسموحة

التجربة	GSD (mm)	$RMSE_X$ (mm)	$RMSE_Y$ (mm)	$RMSE_Z$ (mm)	$RMSE_{XY}$ (mm)	$RMSE_{XYZ}$ (mm)	الحد الأدنى (mm)	الحد الأعلى (mm)
1	2	3	7	3	8	8	8	12
2	1	4	2	2	5	5	4	6
3	2	5	6	3	8	9	8	12
4	4	6	17	6	18	19	16	24
5	5	10	18	12	20	24	20	30
6	2	5	5	4	7	8	8	12
7	1	2	5	2	5	6	4	6
8	2	5	5	3	7	8	8	12
9	4	13	9	5	16	16	16	24
10	5	16	16	6	23	23	20	30
11	2	4	5	4	6	8	8	12
12	1	4	4	2	5	6	4	6
13	2	3	5	6	6	8	8	12
14	4	-	-	-	-	-	16	24
15	5	-	-	-	-	-	20	30
16	2	3	7	3	8	8	8	12
17	2	4	6	3	7	8	8	12

التجربة	GSD (mm)	$RMSE_X$ (mm)	$RMSE_Y$ (mm)	$RMSE_Z$ (mm)	$RMSE_{XY}$ (mm)	$RMSE_{XYZ}$ (mm)	الحد الأدنى (mm)	الحد الأعلى (mm)
18	2	3	5	4	6	8	8	12
19	2	5	6	4	8	9	8	12
20	2	5	6	9	8	12	8	12
21	1	4	2	2	5	5	4	6
22	1	3	4	1	5	5	4	6
23	1	3	3	3	4	5	4	6
24	1	4	2	4	4	6	4	6
25	1	3	4	2	5	5	4	6

ويبين الشكل (17) قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي والحدين الأعلى والأدنى لكل تجربة:



الشكل (17). مقارنة الخطأ المتوسط التربيع مع الحدود المسموحة

نلاحظ مما سبق أن قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي قد تراوحت بين القيمتين 5mm و24mm، وتعتبر هذه القيم مقبولة لجميع العينات المدروسة باعتبار وقوعها بين الحد الأدنى 4*GSD والحد الأعلى 6*GSD.

B. تقييم جودة غمامات النقاط

الغاية من مقارنة غمامتي نقاط هي تحليل الاختلافات بينهما وتحديد المواقع التي تم تعديلها أو التشوهات في الشكل وتحديد الفروق من ناحية التشابه والاختلاف. يشير عدد الوجوه Faces في النموذج ثلاثي الأبعاد إلى عدد السطوح المتصلة التي تشكل واجهات النموذج، حيث يتم تحديد كل وجه بثلاث نقاط ثلاثية الأبعاد Vertices، ويؤثر عدد الوجوه وعدد نقاط الغمامات على دقة النموذج فإن زيادة هذه القيم يعني زيادة التفصيل والدقة.

من أجل المقارنة العلمية الدقيقة، ينبغي مقارنة الغمامات الناتجة مع غمامة مرجعية مقتطعة بأدوات أكثر دقة (كالمسح الليزري) [22]، ونظراً لعدم توفر هذه الإمكانيات تم إجراء مقارنة نسبية، وذلك من خلال اعتبار الغمامة الكثيفة ذات العدد الأكبر من النقاط (34,495,382) والموافقة لأعلى لمستوى معالجة (High) وأعلى دقة تمييز (48MP) وأعلى

عدد صور (30 صورة) هي الغمامة المرجعية وتمت مقارنة جميع الغمامات معها. تمت عملية المقارنة باستخدام الخوارزمية M3C2 التي تقارن غمامة مع غمامة أخرى باستخدام نواظم تتبع لخشونة السطح وتقيس التغير الحاصل على طول اتجاه الناظم [23].

جدول (6). تقييم دقة غمامات النقاط

التجربة	عدد نقاط الغمامة المبعثرة	عدد نقاط الغمامة الكثيفة	عدد وجوه النموذج	القيمة المتوسطة للفروقات (mm)	ملاحظات
1	17,096	7,451,142	548,557	-1	
2	23,734	34,495,382	1,937,429	-	غمامة مرجعية[5]
3	16,125	8,837,943	481,567	2	
4	3,852	1,946,660	124,741	-5	
5	1,952	808,628	61,268	7	
6	17,914	1,959,788	133,299	-1	
7	19,727	8,374,507	491,733	0	
8	21,643	2,199,367	122,075	-3	
9	4,492	486,967	27,641	-5	
10	2,268	199,175	16,743	-9	
11	5,504	549,544	33,068	-3	
12	20,567	1,992,655	101,295	0	
13	4,160	471,201	34,868	-7	
14	773	75,014	6,300	-	فشل[6]
15	58	-	-	-	فشل[7]
16	17,096	7,451,142	548,557	-1	مكررة[8]
17	11,080	7,026,193	447,364	-6	
18	5,419	6,746,603	343,970	-6	
19	5,116	6,521,002	294,779	-4	
20	1,940	3,528,385	180,460	-6	
21	23,734	34,495,382	1,937,429	-	مرجعية ومكررة[9]

[5] الغمامة المرجعية المستخدمة في المقارنة النسبية

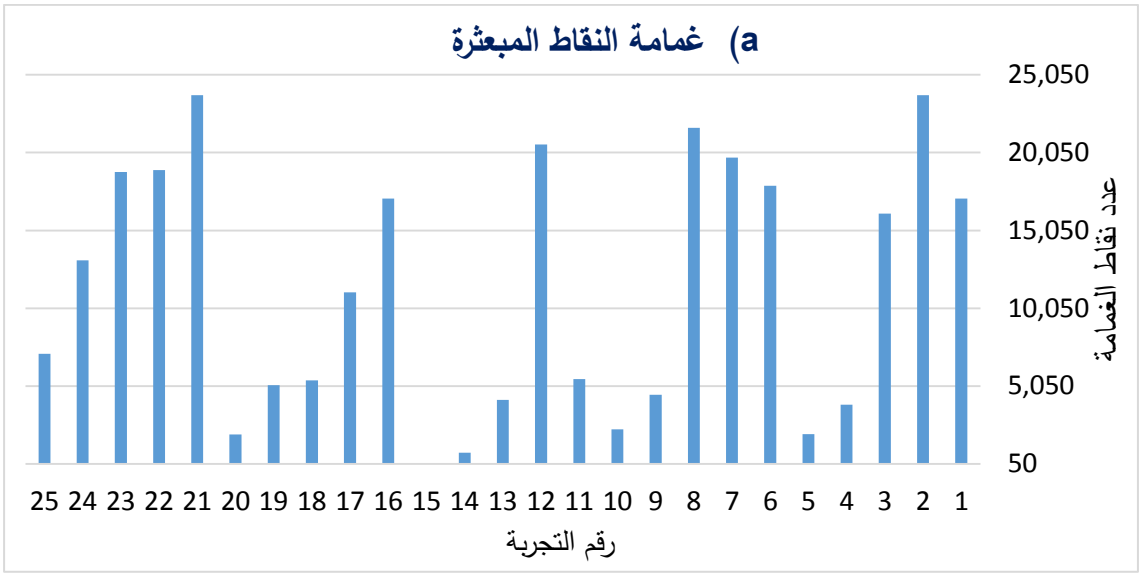
[6] فشلت عملية المقارنة نتيجة التشوه في النموذج

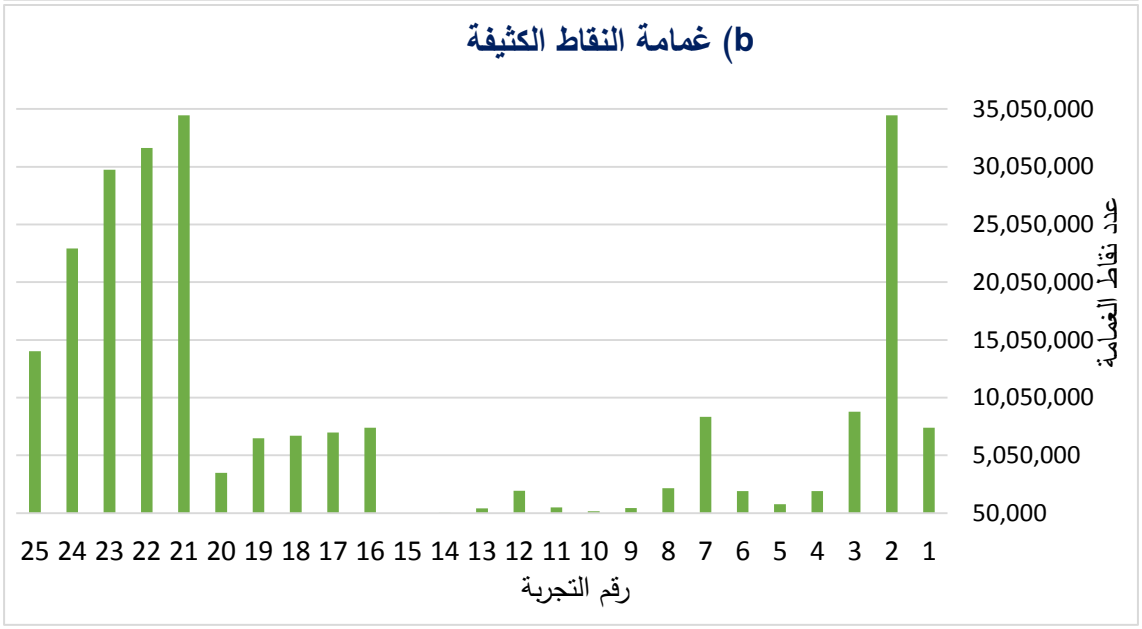
[7] فشلت عملية المقارنة نتيجة عدم تشكل النموذج

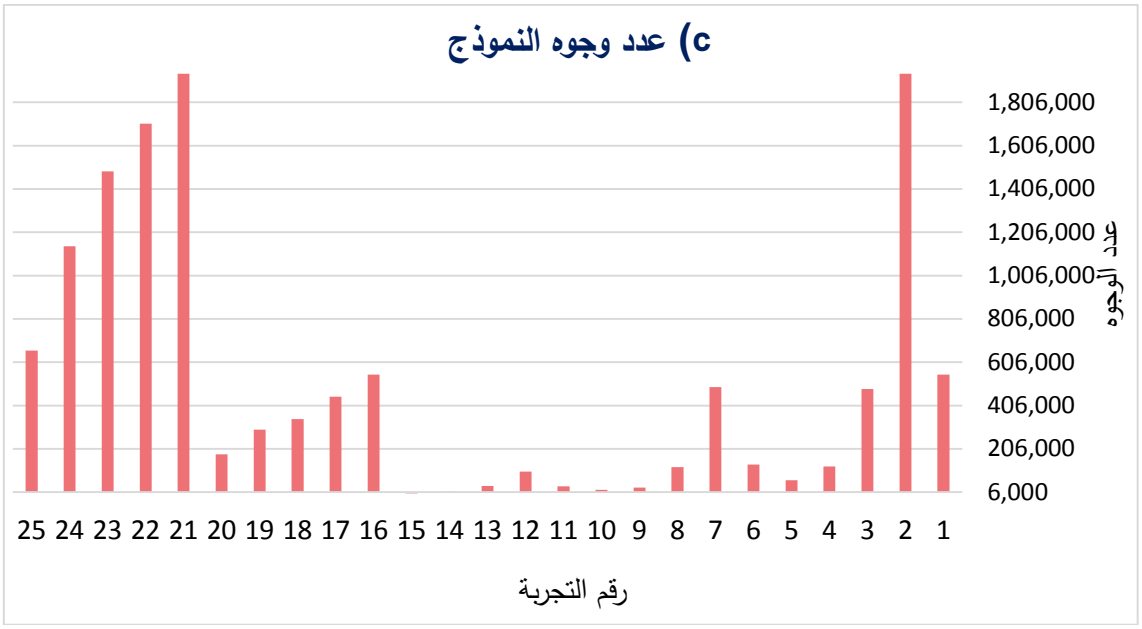
[8] تجربة مكررة نتيجة تبديل المتغيرات

	0	1,707,406	31,670,349	18,925	22
	0	1,487,583	29,791,003	18,809	23
	0	1,141,608	22,980,588	13,126	24
	-1	659,252	14,074,201	7,124	25

[9] **الغمامة المرجعية المستخدمة في المقارنة النسبية ومكررة نتيجة تبديل المتغيرات**

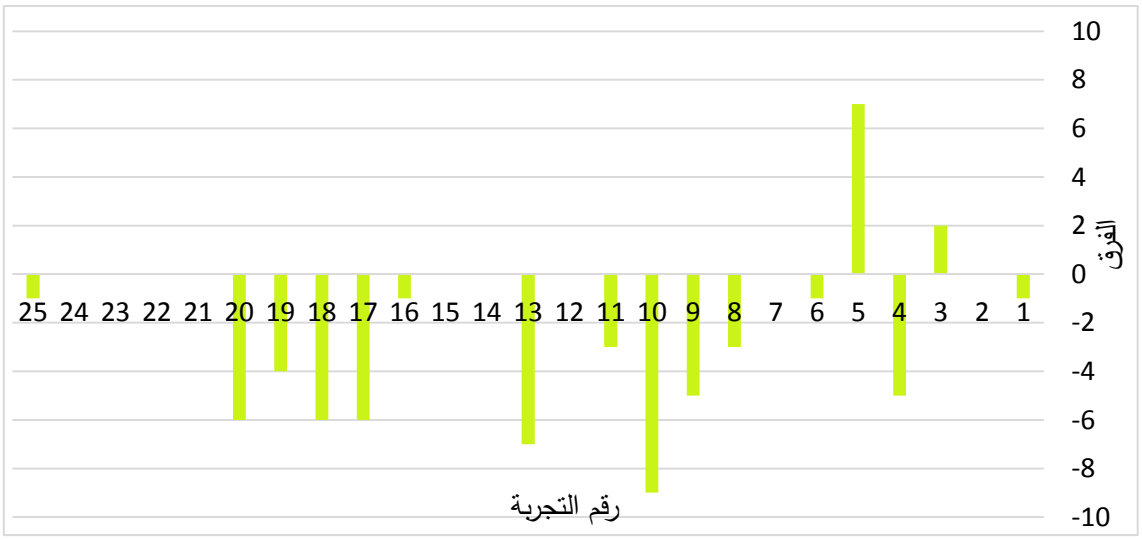

a) غمامة النقاط المبعثرة
25,050
20,050
15,050
10,050
5,050
50
عدد نقاط الغمامة
25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
رقم التجربة


b) غمامة النقاط الكثيفة
35,050,000
30,050,000
25,050,000
20,050,000
15,050,000
10,050,000
5,050,000
50,000
عدد نقاط الغمامة
25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
رقم التجربة



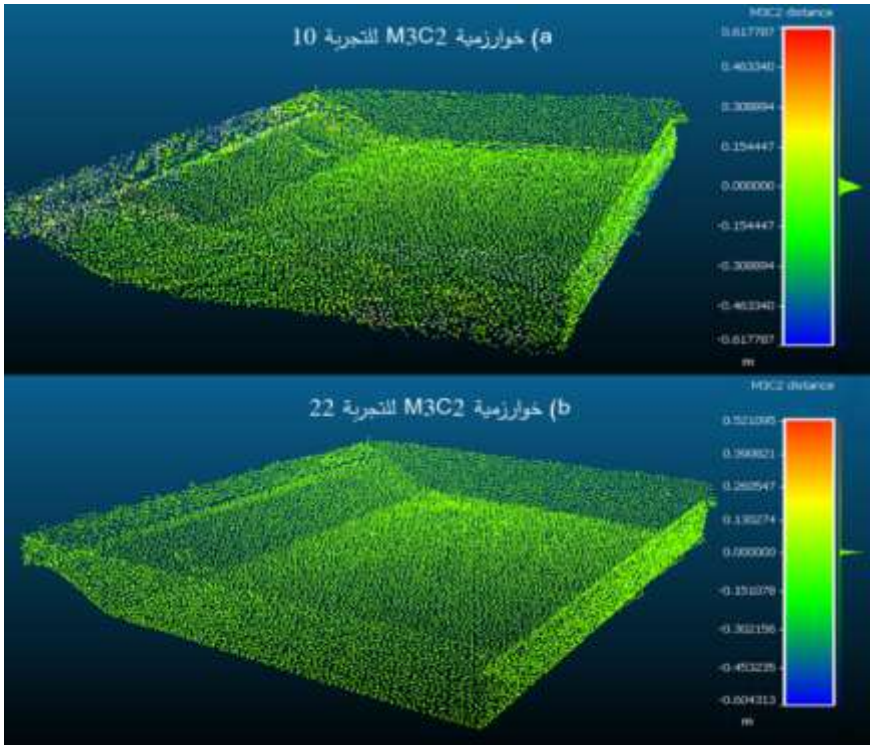
الشكل (18). تقييم دقة غمامات النقاط

نلاحظ من الجدول والشكل السابقين ازدياد عدد نقاط الغمامات المبعثرة والكثيفة وعدد الوجوه مع ازدياد دقة التمييز الهندسية وعدد الصور ومستوى المعالجة. ويوضح الشكل (19) القيمة المتوسطة للفروقات الناتجة عن المقارنة النسبية بين الغمامة المرجعية وباقي الغمامات.



الشكل (19). القيمة المتوسطة للفروقات عن الغمامة المرجعية

نلاحظ أن أكبر قيمة للفروقات 9mm- (تجربة 10) الموافقة لدقة تمييز منخفضة بلغت 0.9MP (الشكل (20-a))، بينما أصغر قيمة للفروقات 0mm الموافقة لدقة تمييز بلغت48MP مهما اختلف عدد الصور (الشكل (20-b)).



الشكل (20). ناتج عملية المقارنة باستخدام خوارزمية M3C2

يتبين من الشكل (20-a) عدم وجود تشوهات في الغمامة الناتجة، وهي مطابقة تقريباً للغمامة ذات الفروقات المعدومة في الشكل (20-b).

الاستنتاجات والتوصيات:

استناداً إلى ما تقدم أعلاه حول استخدام تقنية اقتطاع البنية من الحركة في حساب حجم العناصر المنتظمة باستخدام الصور الساكنة وتسجيلات الفيديو، تم تشكيل عدة عينات لعنصر منتظم من خلال التبديل بين المتغيرات (دقة التمييز، عدد الصور، مستوى المعالجة) وحساب حجمه ثم تقييم النتائج، وتوصلنا إلى النتائج التالية:

a. بلغت قيمة الحجم التقريبية للعنصر $29.40m^3$، وبالنسبة للطرائق الطبوغرافية التقليدية فقد بلغ الحجم $29.41m^3$ بطريقة المقاطع و$29.42m^3$ بطريقة السطح المركب، كما تراوحت قيمة الحجم باستخدام تقنية SfM بين $29.23m^3$ و$29.87m^3$.

b. عند استخدام مستويات معالجة High وMedium مع الصور الساكنة (دقة تمييز مرتفعة)، كانت قيم الحجم مطابقة لذلك المحسوب بالطرائق التقليدية، وازدادت الفروقات في الحجم مع الصور المقتطعة من الفيديو (دقة تمييز منخفضة). كما ازدادت الفروقات عند استخدام مستوى معالجة Low مع الصور الساكنة وفشلت عملية المعالجة وتشكيل النماذج مع الصور المقتطعة من الفيديو.

c. لم يؤثر تغيير عدد الصور على دقة حساب الحجم عند تثبيت مستوى المعالجة ودقة التمييز، فجميع القيم كانت مطابقة تقريباً للحجم المحسوب بالطرائق التقليدية، ويعود ذلك إلى نسب التداخل المرتفعة بين الصور المتعاقبة.

d. من الناحية البصرية، حققت جميع النماذج كمالية الشكل الهندسي، لكن حدث تشوه في الشكل عند معالجة الصور المقتطعة من تسجيلات الفيديو بمستوى معالجة Low، كما حدث تشوه طفيف عند استخدام 10 صور مع دقة تمييز 10MP.

e. تراوحت الدقة الكلية للتثليث الصوري باستخدام نقاط الاختبار بين 5mm و24mm، وكانت جميع القيم ضمن الحدود المسموحة.

f. . ازداد عدد نقاط الغمامات المبعثرة والكثيفة وعدد الوجوه مع ازدياد دقة التمييز الهندسية وعدد الصور ومستوى المعالجة، وتراوحت قيمة الفروقات بين 0mm و9mm.

يمكن لنا في نهاية هذا البحث أن نوصي بما يلي:

a. في حال حساب الحجم لعنصر منتظم، يمكن الاكتفاء بدقات تمييز متوسطة للصور الساكنة مع معطيات ضبط دقيقة، مما يوفر في زمن المعالجة.

b. يمكن تطبيق هذه التقنية في مشاريع مماثلة، كحساب حجم خزانات النفط والمياه ذات الأشكال الكروية أو الأسطوانية.

c. يمكن استخدام تسجيلات الفيديو كبديل للصور الساكنة في حساب الحجم باستخدام تقنية SfM، وذلك في حال توفر معطيات ضبط جيدة وباستخدام مستوى معالجة مرتفع.

d. التحقق من فعالية تقنية SfM في حساب حجم عناصر أكثر تعقيداً من الناحية الهندسية أو عناصر غير منتظمة.

References:

[1] WESTOBY, M.J., BRASINGTON, J., GLASSER, N.F., HAMBREY, M.J., REYNOLDS, J.M. '*Structure-from-Motion' photogrammetry: A low cost, effective tool for geoscience applications*. Geomorphology, Netherlands, Vol 179, 2012, pp. 300-314, DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.

[2] HENG SIONG, E. H., ARIFF, M. F. M., & RAZALI, A. F. *The Application of Smartphone Based Structure from Motion (SfM) Photogrammetry in Ground Volume Measurement*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Germany, Vol 48, 2023, pp. 145-152.

[3] TARSHA KURDI, F., REED, P., GHARINEIAT, Z., & AWRANGJEB, M. *Efficiency of terrestrial laser scanning in survey works: Assessment, modelling, and monitoring*. International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources, Vol 32, No 2, 2023.

[4] PANELLA, F., ROECKLINGER, N., VOJNOVIC, L., LOO, Y., & BOEHM, J. *Cost-benefit analysis of rail tunnel inspection for photogrammetry and laser scanning*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Germany, Vol 43, 2020, pp.1137-1144.

[5] JAUD, M., BERTIN, S., BEAUVERGER, M., AUGEREAU, E., & DELACOURT, C. *RTK GNSS-assisted terrestrial SfM photogrammetry without GCP: Application to coastal morphodynamics monitoring*. Remote Sensing, Vol 12, No 11, 2020.

[6] TAVANI, S., GRANADO, P., RICCARDI, U., SEERS, T., & CORRADETTI, A. *Terrestrial SfM-MVS photogrammetry from smartphone sensors*. Geomorphology, Vol 367, 2020**.**

[7] SAIF, W., & ALSHIBANI, *A. Smartphone-based photogrammetry assessment in comparison with a compact camera for construction management applications*. Applied Sciences, Switzerland, Vol 12, No 3, 2022.

[8] DABOVE, P., DI PIETRA, V., & LINGUA, A. M. *Close range photogrammetry with tablet technology in post-earthquake scenario: Sant'Agostino church in Amatrice*. GeoInformatica, USA, Vol 22, 2018, pp. 463-477.

[9] AL KHALIL, O., FAHSA, I. *Evaluation of the effect of images' geometric resolution on the 3D model quality in automated close-range photogrammetry.* Tishreen University

Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol 40, No 4, 2018, PP. 99-114. (Arabic).
[10] DELIRY, S. I., & 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, India, Vol 49, No 8, 2021, pp. 1997-2017.
[11] GUTH, P. L., VAN NIEKERK, A., GROHMANN, C. H., MULLER, J. P., HAWKER, L., FLORINSKY, I. V., GESCH, D., REUTER, H. I., CRUZ, V. H., RIAZANOFF, S., VAZQUEZ. C. L., CARABAJAL. C. C., ALBINET. C., STROBL, P. *Digital elevation models: Terminology and definitions*. Remote Sensing, Vol 13, No 18, 2021.
[12] FRANCA, L. L. S. D., PENHA, A. D. L. T. D., & CARVALHO, J. A. B. D. *Comparison between absolute and relative positional accuracy assessment-a case study applied to digital elevation models*. Boletim de Ciências Geodésicas, Brazil, Vol 25, No 1, 2019.
[13] GURURAJAN, A. K., SAGRISTA, J. S., ALCACENA, A. V. *Point Cloud Data Compression*. (Master's thesis, University of Politècnica de Catalunya (UPC)), Spain. Retrieved from [http://hdl.handle.net/2117/395755].
[14] ROZE, A., ZUFFEREY, J. C., BEYELER, A., & MCCLELLAN, A. *eBee RTK accuracy assessment*. Lausanne, Switzerland, 2014.
[15] ZOMRAWI, N., HUSSIEN, M., MOHAMED, H. *Accuracy evaluation of digital aerial triangulation*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Algeria, Vol 2, No 10, 2013, PP. 7-11.
[16] MANDAL, M., PAWADE, P., SANDEL, P., & INFRASTRUCTURE, R. S. *Geometric design of highway using Civil 3D*. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, India, Vol 5, No 3, 2019, pp. 214-217.
[17] OVER, J. S. R., RITCHIE, A. C., KRANENBURG, C. J., BROWN, J. A., BUSCOMBE, D. D., NOBLE, T., SHERWOOD, C. R., WARRICK, J. A., WERNETTE, P. A. *Processing coastal imagery with Agisoft Metashape Professional Edition, version 1.6—Structure from motion workflow documentation* (No. 2021-1039). US Geological Survey, 2021.
[18] COOKSEY, R. W., & COOKSEY, R. W. *Computer programs for analysing quantitative data*. Illustrating Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative Data, 2020, pp. 33-49.
[19] NAGENDRAN, S. K., ISMAIL, M. A. M., & TUNG, W. Y. *Photogrammetry approach on geological plane extraction using CloudCompare FACET plugin and scanline survey*, Vol 68, 2019, pp. 151-158.
[20] AL KHALIL, O., DAYOUB, W. *Evaluation of free photogrammetric software and its use in 3D data extraction*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol 38, No 3, 2016, PP. 119-132. (Arabic).
[21] DOWAJY, M. *Proposition of 3D Modelling approach for the As- Built of Indoor Parts of Ordinary and Historical Buildings Using Automated Photogrammetry*. Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Syria, 2021. (Arabic).
[22] Al Khalil, O. *Structure from motion (SfM) photogrammetry as alternative to laser scanning for 3D modelling of historical monuments*. Open Science Journal, Vol 5, No 2, 2020.
[23] CLOUDCOMPARE WIKI, 1 September 2024. <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/M3C2_(plugin)>.