تحليل الخصائص الجيوأركيولوجية باستخدام بيانات الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المدمج بالهواتف المحمولة

" دراسات حالة على بعض المواقع الأثرية في محافظة أسوان "

إعداد

مجدي موسي أحمد إسماعيل

أ.د. متولي عبد الصمد عبد العزيز

أستاذ الجغرافيا الطبيعية ونظم المعلومات الجغرافية
رئيس قسم الجغرافيا – كلية الآداب - جامعة القاهرة

المستخلص :

تُعَدُّ النقوش الصخرية الأثرية Rock Art في محافظة أسوان من المواقع الثقافية القيمة التي تعكس تاريخ وثقافة البشر الذين استوطنوا مناطق مختلفة على طول وادي النيل والأودية المنحدرة نحوه شرقًا وغربًا. يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية استخدام بيانات المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المدمج في الهواتف المحمولة في التحليل الجيوأركيولوجي للنقوش الصخرية الأثرية ، و الهياكل الأثرية كبديل ذو تكلفة منخفضة وسهولة استخدام أكبر للباحثين بديلاً عن الأجهزة الكبيرة الحجم، يتم تحليل بيانات المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المستخرجة من الهواتف المحمولة لتحديد الخصائص الجيومورفولوجية للمواقع وإجراء تحليلات كمية للتغيرات التي تحدث على المواقع الاثرية مع مرور الوقت، تمت مقارنة نتائج التحليل باستخدام الطرق التقليدية لتحليل الجيومورفولوجيا للتحقق من دقة وموثوقية البيانات المستخرجة من المسح الضوئي في الهواتف المحمولة. تشتمل الدراسة أيضًا على تفسيرات حول السياق الثقافي والبيئي للنقوش الصخرية بناءً على تكامل بيانات المسح الضوئي مع معلومات أثرية أخرى ، اثبتت الدراسة فاعلية البيانات المتوفرة من الهاتف محل الدراسة في دراسة المواقع الاثرية الوعرة وما تميز به من سهولة استخدام وخفة الوزن وقلة التكلفة.

الكلمات الإفتتاحية:

الليدار، التحليل الجيومورفولجى، جيواركيولوجى، أسوان، النقوش الصخرية.

❖ مقدمة

تُشكل النقوش الصخرية الأثرية موروثًا ثقافيًا قيمًا يمتد عبر العصور القديمة، وتعتبر مصدرًا هامًا لفهم تطور الحضارات القديمة وتواصلها مع بيئتها الطبيعية، تحظى هذه النقوش بالاهتمام الكبير من قبل العلماء والباحثين الذين يسعون لفهم رموزها ورسوماتها، والتي تعكس معتقدات وحياة الأجداد في تلك الحقب، يواجه المتخصصون في مجال دراسة النقوش الصخرية الأثرية تحديات عديدة في عملية تحليلها وتفسيرها، ومن بين هذه التحديات نجد التغيرات المتعلقة بالمظاهر الجيومورفولوجية للموقع على مر الزمن، والتي قد تتسبب في تغيير ملامح النقوش الصخرية وتأثرها بعوامل الطقس والتعرية مما يؤثر على سلامتها وقابليتها للقراءة لذلك فإن توثيق الخصائص الجيومورفولوجية لهذه النقوش أمر حيوي للحفاظ عليها للأجيال القادمة.

شهد علم الآثار تطورًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة، في تكنولوجيا المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد عن طريق تطوير ماسحات ضوئية لشركات عدة و لكنها باهظة الكُلفة حيث تتراوح أسعارها ما بين ١٠٠٠٠ دولار للماسحات اليدوية الى ٢٠٠٠٠٠ دولار للمساحات المتقدمة، ظل الامر مكلف للغاية حتى تم إصدار هاتف آيفون ١٢ برو (I phone 12 pro) في الربع الرابع من عام ٢٠٢٠ المعزز بماسح ضوئي ثلاثي الابعاد LIDAR Sensor حيث يتراوح سعره ما بين ١٠٠٠ دولار الى ١٤٥٠ دولار على حسب النماذج والحجم التخزينى ؛ وبذلك تم توفير بديل أقل تكلفة و اخف وزناً للتصوير ثلاثي الأبعاد ، وبالتالي تمكنا الآن من الاستفادة من بيانات الماسح الضوئي المدمج في هواتفنا المحمولة في التحليل الجيوأركيولوجى للنقوش الصخرية الأثرية بدقة وفعالية عالية. هذه التكنولوجيا المتقدمة توفر لنا إمكانية رؤية النقوش الصخرية بدقة فائقة وتحديد الأشكال والتفاصيل الدقيقة للنقوش، مما يسهم في فهم أفضل للمعاني الثقافية والتاريخية للنقوش الصخرية.

❖ أهداف البحث

١) تقييم كفاءة استخدام بيانات الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المدمج بالهواتف المحمولة في تحليل الخصائص الجيومورفولوجية للنقوش الصخرية الأثرية. سيتم دراسة قدرة تقنية المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المدمجة في الهواتف المحمولة على توفير بيانات دقيقة وشاملة عن النقوش الصخرية وخصائصها الجيومورفولوجية.
٢) فهم العلاقة بين الخصائص الجيومورفولوجية والمعلومات الأثرية التي تحملها النقوش.
٣) إيجاد أي علاقة محتملة بين خصائص النقوش وعوامل البيئة المحيطة بها.
٤) دراسة إمكانية استخدام تقنية الماسح الضوئي المحمول في توثيق وحماية النقوش الصخرية الأثرية.

❖ مشكلة البحث

تقييم مدى الاستفادة من استخدام بيانات الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد المدمج بالهواتف المحمولة في تحليل الخصائص الجيوأركيولوجية للنقوش و الهياكل الأثرية.

❖ مناهج البحث وأساليبه

يمكن استخدام عدد من المناهج والأساليب البحثية في دراسة تحليل الخصائص الجيوأركيولوجية للنقوش الصخرية ومنها:

- **المنهج الوصفي التحليلي**: وذلك لوصف وتحليل خصائص النقوش الصخرية باستخدام بيانات الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد.

- **المنهج التاريخي المقارن:** لدراسة التغيرات في خصائص النقوش مع مرور الوقت وتعرضها لعوامل التعرية.
- **المنهج الكمي**: مثل المسح الإحصائي لقياس خصائص النقوش وحساب معدلات التعرية
- **دراسة حالة:** لدراسة عينة من النقوش الصخرية كحالة توضيحية لتطبيق المنهج البحثي.
- والتغيرات عبر الزمن.
- **المسح الميداني**: لجمع بيانات الماسح الضوئي عن النقوش وتوثيق خصائصها.
- **تحليل بيانات الماسح الضوئي:** باستخدام برامج خاصة، لاستخلاص وقياس الخصائص الجيومورفولوجية.

❖ الأجهزة والبرمجيات المستخدمة في البحث

- هاتف ايفون الإصدار رقم ١٢ المتقدم iPhone 12 Pro للتصوير والمسح ثلاثي الأبعاد.
- Gimbal: وهو جهاز ميكانيكي يستخدم لتحديد وتثبيت اتجاه التصوير باستخدام الهاتف ،وقد تم الاعتماد على جهاز DJI Gamble (Model DJI OM 4 SE)و ذلك للفوائد النسبية التى تتعلق بالدقة في انتاج البيانات اثناء التصوير و التي نوجزها في الآتي:

١) تحسين استقرار هاتف التصوير، مما يساعد في تحقيق دقة أكبر في البيانات المتحصلة. فهو يثبت الماسح ويقلل من الاهتزازات التي يمكن أن تسبب أخطاء في البيانات.
٢) يتيح التحكم الدقيق في زاوية الماسح واتجاهه ومسافته من الجسم المراد تصويره، مما يمكن أن يؤدي إلى الحصول على بيانات أكثر دقة.
٣) المرونة في المسح والتصوير يمكن تعديل gimbal للعمل في ارتفاعات ومواضع مختلفة، مما يسمح بمزيدٍ من المرونة في مسح أنواع مختلفة من الاجسام.

(صورة ١) مستشعر LIDAR بهاتف iPhone 12 pro على يسار الصورة والمثبت على اليمين

وقد أُستخدم في معالجة البيانات عدة برمجيات منها:

- Cloud compare software
- Global Mapper
- Arc GIS Pro

❖ موقع منطقة الدراسة

تقع المواقع المختارة للدراسة والتطبيق ضمن إقليم مصر العليا جنوب جمهورية مصر العربية، وتقع إدارياً ضمن حدود محافظة اسوان آخر المحافظات المصرية صوب الجنوب، وقد قام البحث على تطبيق التقنية على مواقع متفرقة في الإقليم تتميز بالتباين في الموقع و في الحقبة الزمنية التي ترجع لها ؛وذلك بهدف الوصول الى استقلالية علمية في تطبيق تلك التقنية واستبيان فائدتها في التحليل الجيو أركيولوجى مع تغير البيئة المطبقة فيها و كذلك التقنية الزمنية المستخدمة في النقوش الصخرية كما سيتضح من خلال البحث ، وقد اختار الباحث ثلاثة مواقع اركيولوجية للتطبيق و الدراسة على طول وادى النيل في محافظة اسوان (شكل ١) وهي من الشمال الى الجنوب على النحو التالي :

١- نجع الحوش EL Hosh :

يقع نجع الحوش على بعد حوالى ٣٠ كم جنوب مدينة إدفو على الضفة الغربية للنيل مباشرة، ،نجع الحوش هو موقع اثرى تحت الدراسة غير مفتوح للزيارات السياحية، يرجع أهميته لاحتوائه على العديد من النقوش الصخرية في صخور سلتيه فيضيه و صخور من الحجر الرملي النوبي في صورة تلال مرتفعة ، وتمثل تلك النقوش اشخاص و حيوانات و اشكال من الحياة اليومية لعصور ما قبل الأسرات و التي لازالت تحت الدراسة و التأريخ وتوالت عليها البعثات الأثرية منذ عام ١٩٢٦ م ، ترجع النقوش الصخرية الموجودة في نجع الحوش في الفترة ما بين (عصر ما قبل الأسرات إلى عصرالأسرات المبكر حوالي ٤٤٠٠ - ٢٦٥٠ قبل الميلاد) ، (Huyge et al,1998,PP.98,99).

٢- وادى شط الرجال Shatt el-Rigal

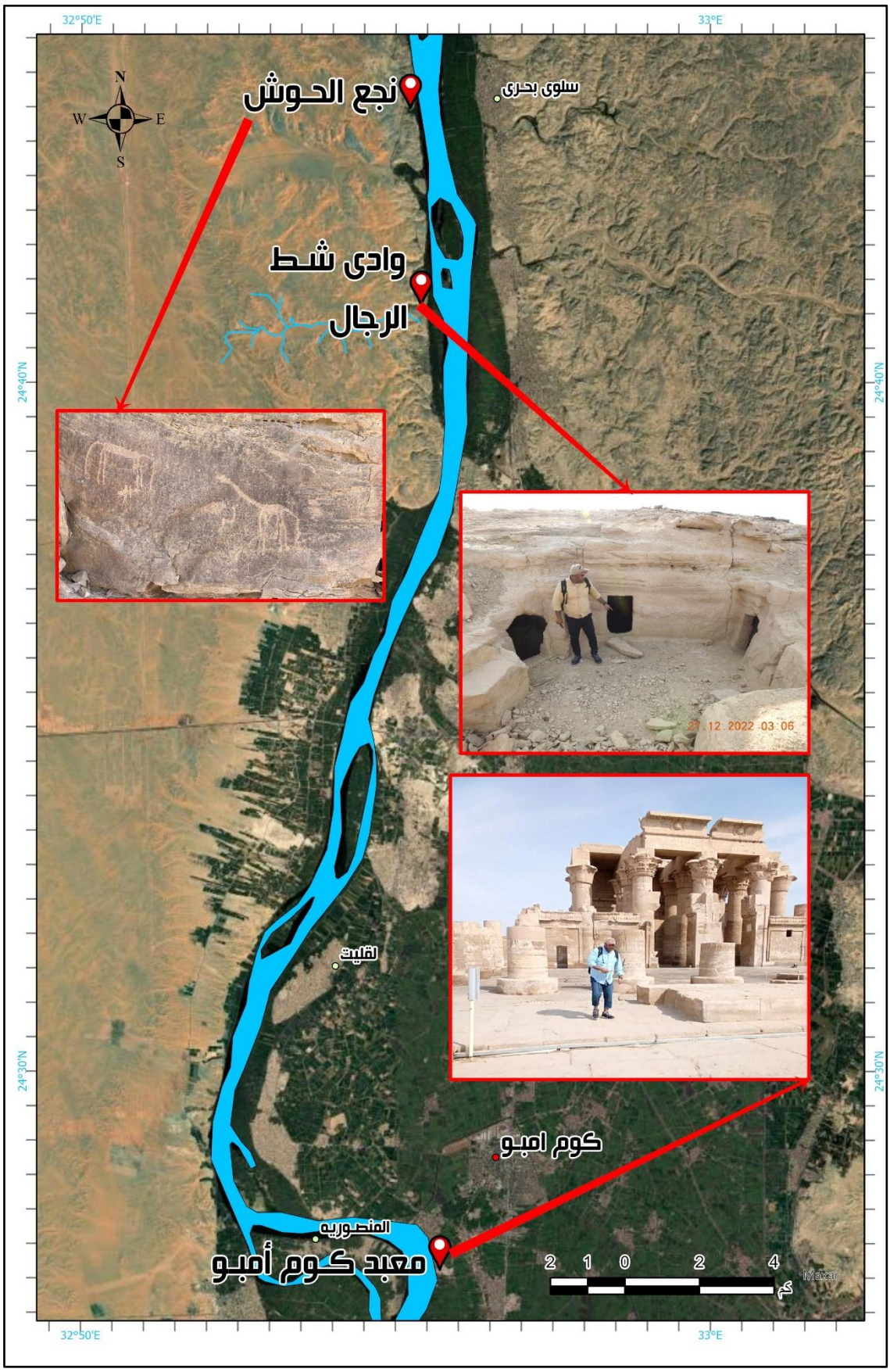
يقع وادى شط الرجال شمال مركز كوم أمبو بحوالي ٢٣ كم غرب النيل ،و يقع أثرياً ضمن تفتيش أثار السلسلة و يبعد عنها مسافة ٤ كم ،وهو وادى ضيق ،وترجع الأهمية الأثرية لوادي شط الرجال بانه يحتوى على العديد من النقوش الصخرية خاصة على الحافة الجنوبية للوادي ، تمثل تلك النقوش حيوانات كالزراف و الأفيال والتي ترجع الى البيئات المطيرة مما يجعل في دراسة تلك النقوش سبيل لدراسة التغيرات المناخية التي طرأت على المنطقة وكيف كانت البيئة في ذلك الوقت مهيئة مناخياً لأعاشه تلك الأنواع من الحيوانات، ولكن من اشهر تلك النقوش (جرافيتي الملك منتو حتب الثاني مؤسس الاسرة الحادية عشر) والذى يظهر فيه أربعة اشخاص بالحجم الطبيعي يُرجعها العلماء الى الملك منتو حتب الثاني وحاشيته و كانت هذه اللوحة تسجل قافله صحراوية مرت بهذا الوادى ،ذلك بالإضافة الى بعض حجرات الدفن الاثرية الواقعة على تل مرتفع بالحافة الجنوبية للوادي و التي سنتعرض لدراستها في البحث (صورة رقم ٢).

٣- معبد كوم أمبو Kom Ombo Temple

يقع موقع كوم أمبو بمركز كوم أمبو (محافظة اسوان) على الضفة الشرقة لنهر النيل مباشرة ويقابله جزيرة المنصورية، يرجع اسم الموقع إلى كلمة "كوم" بالعربية، وهو مصطلح موجود في أسماء العديد من المواقع الأثرية، وكلمة "أمبو" والمشتقة من اللغة المصرية القديمة "نوبت" بمعنى الذهب، وبوجه عام يعني اسم المنطقة "(المدينة) الذهبية"، المعبد كرس لعبادة معبودان معاً هما المعبود "سوبك" التمساح، والمعبود حور ور ذو هيئة الصقر "حورس الأكبر". على الرغم من وجود معبد سابق بنفس الموقع خلال عصر الدولة الحديثة (حوالي١٥٥٠-١٠٦٩ ق.م)، فقد تم بناء الهيكل الحالي للمعبد خلال العصر اليوناني الروماني (٣٣٢ ق.م – ٣٩٥م)، وكان أول اسم ملكي موثق فيه هو بطليموس. السادس (١٨٠ - ١٤٥ ق.م). أكمل بطليموس الثاني عشر (٨٠-٥١ ق.م) معظم الزخرفة في المعبد. (موقع وزارة السياحة والآثار).

يقع المعبد على تله مرتفعة كانت تعطى المعبد اطلاله على نهر النيل و ربما كانت لحمايته من أخطار فيضان النيل، بنيت أعمدة المعبد من صخور الحجر الرملي النوبي والتى تتبع تكوين القصير "Quseir Formation of "Nubian Sandstone جيولوجياً، وربما يكون تم تحجيرها من محاجر السلسلة القريبة التي تعد أهم محاجر الحجر الرملي في مصر القديمة ،ولم يكن الحجر الرملي يستخدم في بناء المعابد بديلاً عن الحجر الجيري الا في آواخر الاسرة الثامنة عشر.

(صورة ٢) نقوش وادي شط الرجال (الدراسة الميدانية)



شكل (١) مواقع حالات الدراسة

أولاً: بيانات الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد LIDAR Data

تقنية LIDAR هي اختصار للمصطلح Light Detection and Ranging وهي طريقة استشعار عن بعد تستخدم الضوء على شكل ليزر نابض لقياس المسافات ما بين المستشعر والاجسام الصلبة التي يصل اليها، تنتج هذه النبضات الضوئية معلومات دقيقة ثلاثية الأبعاد حول شكل (الأرض أو الأجسام) وخصائص سطحها ، وعادة ما كانت تلك التقنية تستخدم عن طريق الطائرات في بدايات تطبيقها، و لكن مع التطور العلمي والتكنولوجي بدأت تظهر تلك التقنية في أجهزة محمولة يدويا و التي يطلق عليها Mapping Systems ، حتى تطورت لتكون مدمجة في الهواتف الخلوية (المحمولة) Cell phones .

نناقش في هذا البحث البيانات التي تخرج من المستشعر الخاص بهاتف iPhone 12 pro و هو اول هاتف تنتجه شركة Apple يحمل تلك التقنية في عام ٢٠٢٠، ودراسة كيفية استخدامها في (صورة ١).

ينتج ماسح ليزر هاتف iPhone 12 pro البيانات التالية:

- عمق الأجسام والمسافات بدقة سنتيمتريه، حيث يقوم المسح بقياس الوقت الذي تستغرقه أشعة الليزر للعودة بعد ارتدادها من الأجسام، وباستخدام سرعة الضوء يتم حساب المسافة.
- تحديد المعالم والأشكال حيث يستطيع الماسح بتحديد معالم الأجسام مثل الحواف والزوايا والمنحنيات.
- توليف خريطة ثلاثية الأبعاد للمنطقة المحيطة حيث يقوم المسح بواسطة الليزر برسم خريطة ثلاثية الأبعاد للأجسام والمسافات في المنطقة المحيطة.
- التقاط صور ثلاثية الأبعاد حيث يمكن لبيانات المسح الليزرية بناء صور ثلاثية الأبعاد للمشهد.
- بيانات LiDAR point cloud وهي عبارة عن مجموعة من النقاط في الفضاء ثلاثي الأبعاد تُنتج هذه البيانات نقطة تمثل موقعًا واحدًا وتحتوي على معلومات عن الارتفاع والاتجاه والخصائص الأخرى للنقطة، وتعتبر هي اهم المعلومات التي يقدمها المستشعر والتي يمكن اجراء تحليلات وقياسات عليها باستخدام البرامج المخصصة لذلك.

وفى عملية التحليل الجيوأركيولوجى بواسطة تلك البيانات مرت بالمراحل الآتية:

١- جمع(مسح) البيانات ميدانياً:

تم من خلال استخدام جهاز المسح الضوئي المدمج بالهاتف الذي يقوم بإرسال شعاع ليزري باتجاه السطح المراد فحصه. وعندما يصطدم الشعاع بالسطح، يعود إلى الجهاز الماسح مع معلومات عن المسافة والارتفاع والعرض والطول لكل نقطة يصل إليها الشعاع.، وذلك عن طريق التحرك حول الجسم المراد تصويره ومتابعة الشاشة حتى يتم التأكد من جمع البيانات الخاصة بالنقطة (صورة ٢،٣) مع القرب من الجسم المستهدف بمسافة لا تزيد عن خمسة أمتار وقد وجد الباحث توافق ميداني فيما يخص تلك المسافة مع ماورد في بحث لوتزنبورغ (Gregor Luetzenburg,2020,P.2) الذي درس فيه تقييم بيانات الهاتف في الدراسات البيئية و الذى حدد اقصى مسافة للمسح بقيمة بخمسة امتار .

يقوم الهاتف بتخزين هذه المعلومات بشكل رقمي ويمكن استخدامها لخلق نموذج ثلاثي الأبعاد للنقش الصخري كما يمكن تحميل هذا النموذج على جهاز الحاسوب وتحليله باستخدام برامج خاصة

للتعرف على الأشكال والرموز والنقوش الموجودة في النموذج، ومن ثم اجراء القياسات على البيانات النقطية ثلاثية الأبعاد التي ينتجها المستشعر.

(صورة ٢) مسح أحد النقوش الصخرية التي ترجع لعصر ماقبل التاريخ بقرية الحوش جنوب ادفو

(صورة ٣) مسح النقوش الصخرية بأحد الاعمدة في مدخل معبد كوم امبو

٢. معالجة البيانات:

تم استخدام أدوات التحرير في برنامج المسح 3D SCANNER App لتحسين النموذج ودمج الصور الحية مع نقاط الارتفاعات، ومن ثم التصدير بمجرد الانتهاء من تحرير النموذج، ويوفر التطبيق تصديره بتنسيق مناسب مثل OBJ أو CSV ليمكن المستخدم من استخدام وتحليل البيانات في عدة برمجيات لكل منها صياغة وامتداد هو الأكثر مناسبة للعمل في بيئته وقد قد اعتمدت الدراسة امتداد LAS للمعالجة البرمجية باستخدام برنامج ARC MAP وكذلك CSV للمعالجة ببرنامج Cloud Compare مفتوح المصدر.

ثانياً: التحليل الجيوأركيولوجى Geoarchological Analysis:

يُعرف علم الجيواركولوجيا بانه علم تكامل المعلومات، المشاهدات والبيانات الجيومورفولوجية والأثرية للتعرف على كيفية التأثير المتبادل ما بين الأنسان والعوامل الطبيعية على الاندسكيب الطبيعي، وهو أحد الأعمدة الأساسية التي يستند اليها علة الاثار البيئي Environmental Archeology French, C ,2003,p.3))

تبين من خلال العمل الميداني والقياسات ومعالجة بيانات التصوير أن هناك عدة جوانب ربما تعطى للتصوير ثلاثي الابعاد ميزة نسبية لم تكن متوفرة من خلال صور الأقمار الصناعية التقليدية او نموذج الارتفاع الرقمي المشتق منه، وكذلك الصور الفتوغرافية، وسيكون العرض هنا مقتصر على تلك التحليلات التي يعتقد الباحث ان لها ميزة نسبية عندما تتم على تلك البيانات بعينها، وهي على النحو الآتي:

١) التحليل الجيومترى Geometric Analysis

التحليل الجيومترى هو تحليل الابعاد باستخدام معادلات رياضية وجيوديسية. كقياس الأطوال والمساحات والزوايا - لقياس طول الخطوط ومساحة المناطق ودراسة العلاقات الهندسية كالموازية والتعامد بين العناصر، التحليل الشكلي وذلك لوصف ودراسة الأشكال والمعالم الجغرافية مثل التلال، الحفر، المباني ولدراسة خصائص المنحدرات والتضاريس مثل اتجاه المنحدر وزاوية الميلان والتذبذبات الأفقية، واخيراً التحليل الإحصائي وذلك للحصول على مقاييس ومؤشرات كمية حول الخصائص الهندسية للبيانات، وقد تم تطبيق تلك التحليلات على نماذج مختارة من منطقة الدراسة على النحو لآتى:

أ- تحليل العمودية (الرأسية) وتطبيقها في دراسة هيكلية المباني الاثرية بمعبد كوم امبو Verticality Analysis

التحليل العمودي Verticality analysis هو تقنية تستخدم لقياس انحراف كل نقطة من نقاط المسح الضوئي عن الاتجاه العمودي. وهو يعطي معلومات حول مدى انحدار وميلان السطوح، ويتم ذلك من خلال حساب زاوية ما بين اتجاه كل نقطة والاتجاه العمودي (٩٠ درجة)، فكلما كانت الزاوية أكبر دل ذلك على انحراف أكبر عن الاتجاه العمودي. ويمكن استخدام نتائج التحليل العمودي لتحديد وتمييز وفهم العديد من المعالم الجيومورفولوجية والأثرية، مثل: التلال والوديان وذلك بالنسبة للرفع المساحي LIDAR Survey المنتج بواسطة الطائرات، الطبقات والشقوق الصخرية، الجدران والأسوار القديمة ومناطق التعرية والانحدارات.

وبالتطبيق على منطقة الدراسة في حالة احد المقصورات الاثرية بمعبد كوم امبو والتي تقع جنوب غرب مقياس النيل في البهو الخارجي للمعبد (شكل رقم ٢) ،تم المسح ثلاثي الابعاد عليها وكذلك تطبيق تحليل العمودية لتبيان تدرج المناسيب وذلك لقياس مستوى العمودية للنقاط السحابية Point cloud و لتحليل تلك العملية وجب في البداية تعيين قيمة نصف قصر المجاور المحلى المرجع المجاور local neighborhood radius ويعنى نصف القطر الدائرة التي سيقارن فيها البرنامج حيود النقاط عن المستوى الأفقي المستوى و التي تم تحديدها في العملية بقيمة ٠.٠١٦ متر لتكون اكثر دقة .

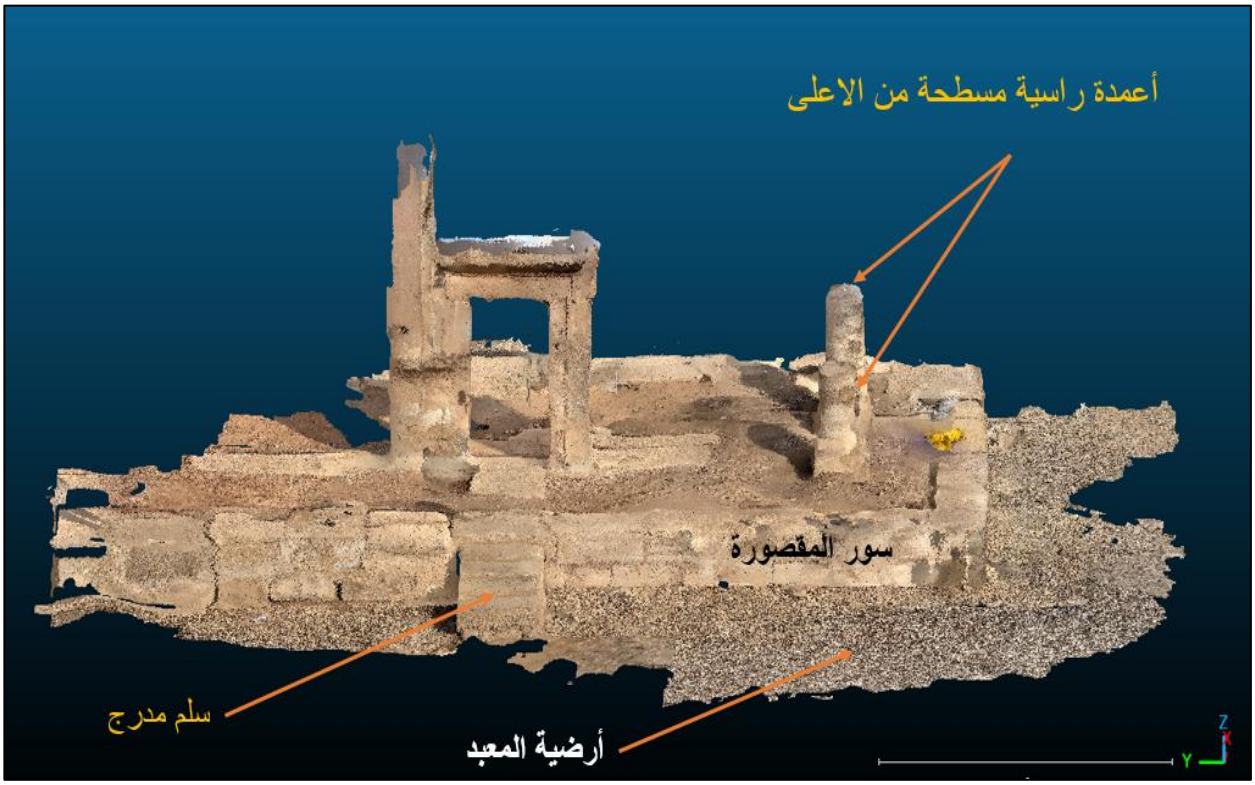
يقوم البرنامج بدراسة النقاط ضمن هذه الدائرة حول كل نقطة في سحابة النقاط ويحسب مقياسًا لمدى تواجد تلك النقاط على مستوى رأسي. يتم تطبيق هذا المقياس بين ٠ و١، حيث يشير الرقم ٠ إلى عدم توجه أي من النقاط المجاورة بشكل رأسي مع النقطة المركزية، بينما يشير الرقم ١ إلى أن جميع النقاط المجاورة تمامًا متواجدة على نفس المستوى الرأسي مع النقطة المركزية.

يظهر من (الشكل رقم ٤) في مقياس التدرج لمستوى العمودية ان جميع النقاط المستوية تأخذ القيم من صفر: ٠.١٢٥ متر مما يل على الاستواء و هذا يرتبط منطقياً مع أرضية المعبد، وكذلك مع درجات السلم و المسطبة التي تقوم عليها الاعمدة كلها تأخذ اللون الأزرق اى مستوية تماماً، و على العكس فيشير اللون الأحمر الى الرأسية كما هو في الاعمدة و واجهة سور المصطبة كما هو موضح بشكل ٤ .

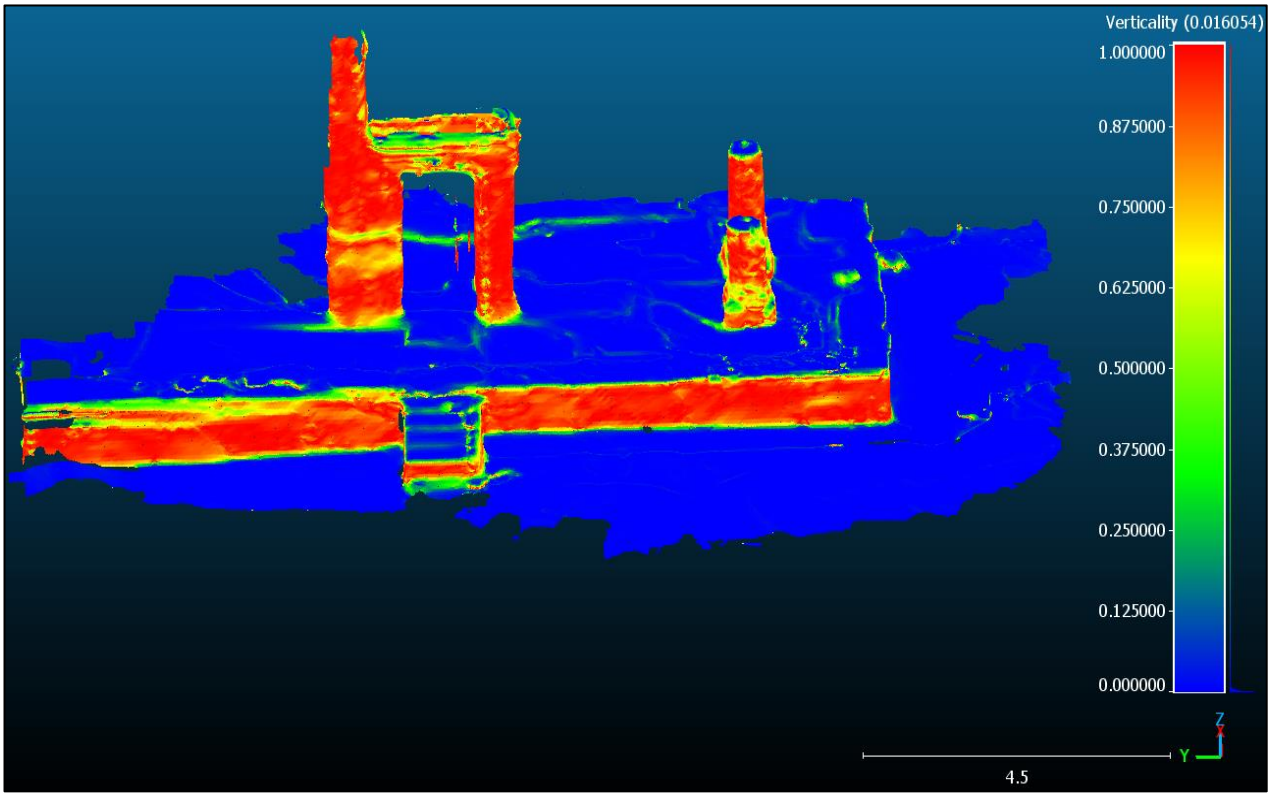
ومما سبق يتضح الفائدة التي يعطيها تحليل العمودية ونوجز أهمها في النقاط التالية:

- التحليل الهيكلي للمباني الاثرية مما يسهل معه عمل الرسومات الهندسية لتلك المباني.
- تحليل الواجهات الجرفية للسفوح في مناطق النقوش الصخرية التي ترجع لعصور ماقبل التاريخ و التي لم يتسع صفحات البحث لوضع نتائجها هنا .
- تحليل اثار حيث عادةً ما تمتلك السطوح المعرضة للتعرية عمودية أقل انتظامًا، بينما تكون السطوح السليمة أكثر استقامة. وهذا يكشف أنماط التعرية.
- تحديد المعالم البشرية حيث عادةً ما تكون الجدران والسواتر والأراضي المدرجة التي من صنع الانسان لها توزيعًا أكثر عمودية أو زاوية لقيم العمودية.

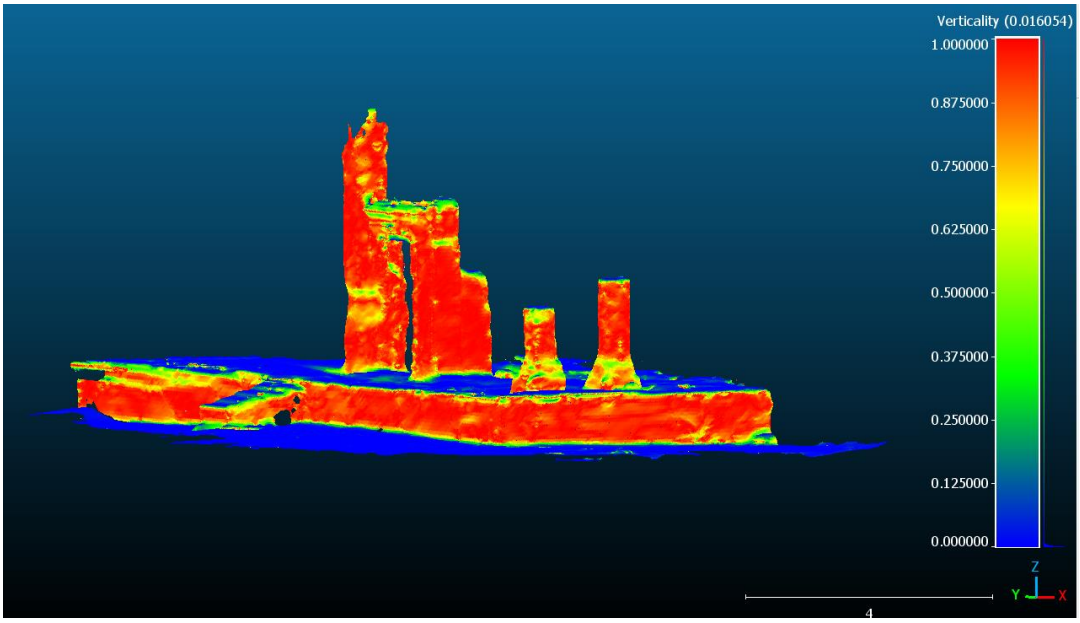
(شكل٢) مسقط رأسي لمعبد كوم امبو يظهر المقصورة (Google Earth)



(شكل٣) تصوير ثلاثى الأبعاد للمقصورة



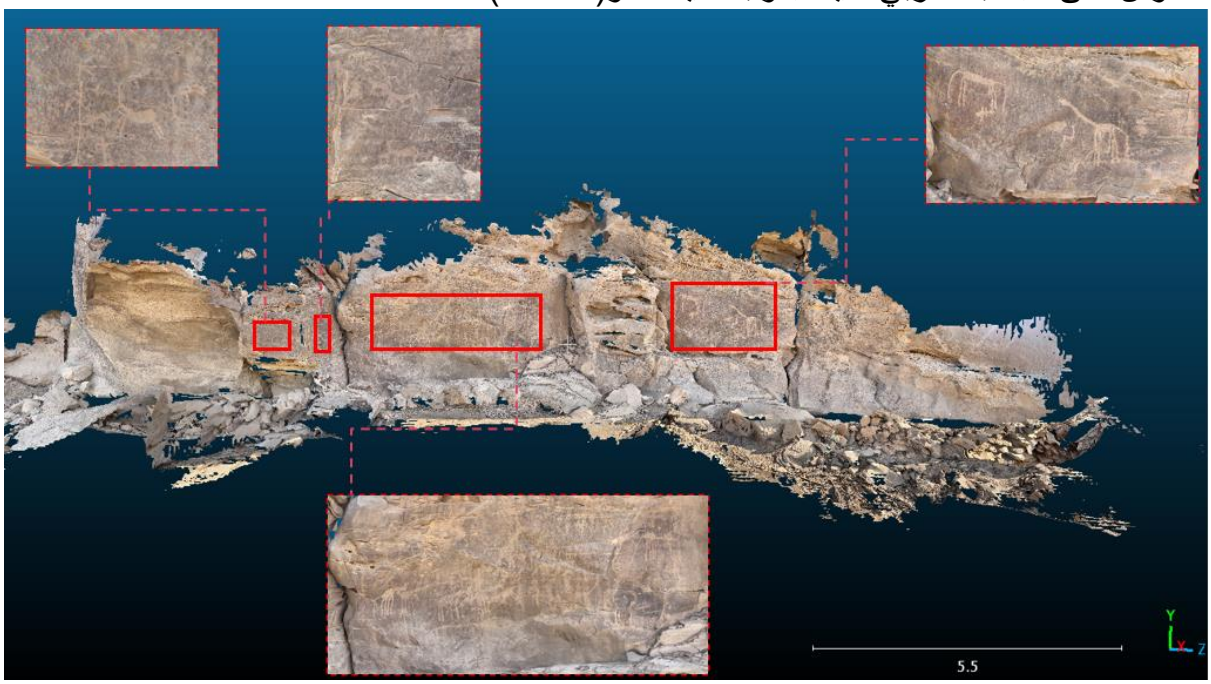
(شكل٤) تحليل العمودية **Verticality Analysis** (واجهة المقصورة)



(شكل٥) تحليل العمودية Verticality Analysis (مسقط جانبي لتوضيح التحليل بصورة جانبية)

ب- تحليل خشونة السطح (العمودية) ومواضع النقوش الصخرية في الحوش Roughness Analysis

الخشونة (Roughness) مقياس لتغيرات السطح الميكانيكي الصغيرة في الحجم والارتفاع والعرض، وهي تعبر عن تعدد الانحناءات والانحرافات الموجودة على السطح. وتعتبر الخشونة مفتاحًا في فهم خصائص السطح وتحليلها، وتستخدم في العديد من التطبيقات في الهندسة الميكانيكية والصناعية والعلوم الأرضية والجيوفيزياء وغيرها، وسيتم المعالجة على بعض النقوش الصخري بمنحدرات قرية الحوش على الجانب الغربي للنيل جنوب مدينة ادفو(شكل ٦).



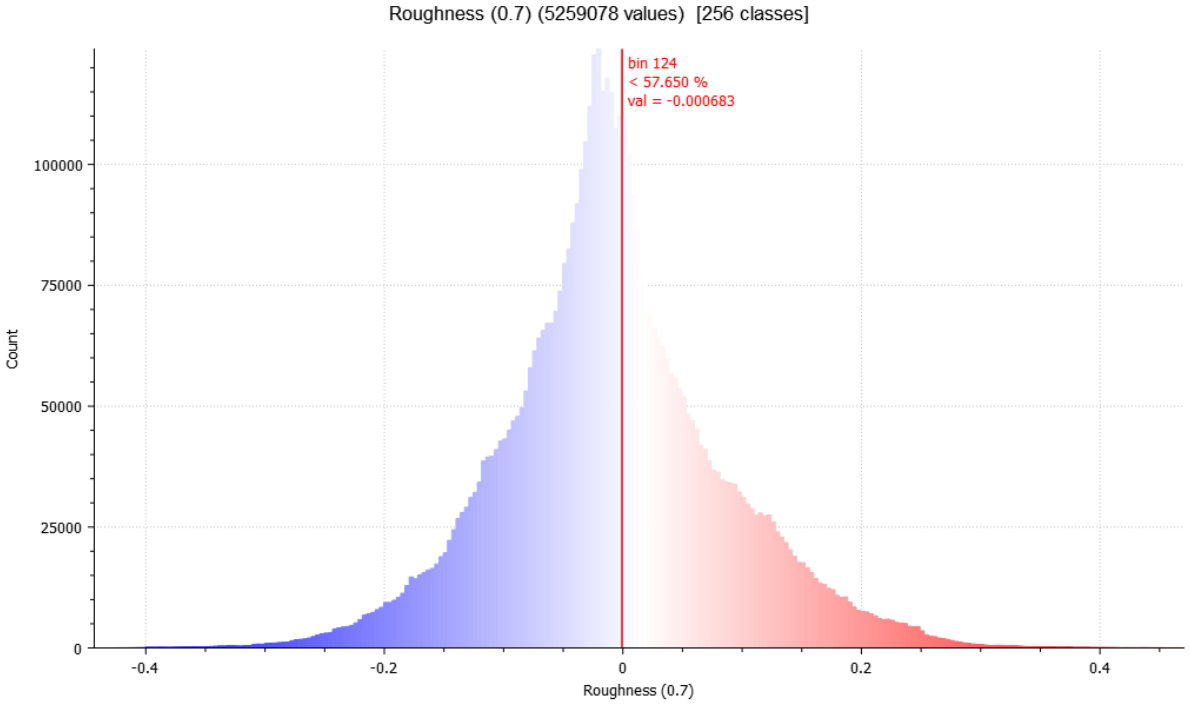
(شكل ٦) توضح مسح ثلاثي الأبعاد لجرف صخري بمنطقة الحوش الاثرية موضح عليه مواضع لنقوش صخرية تمثل حيوانات مثل الزراف والوعل البري (تصوير الباحث الدراسة الميدانية ديسمبر ٢٠٢٢)

ب -١ : معالجة البيانات:

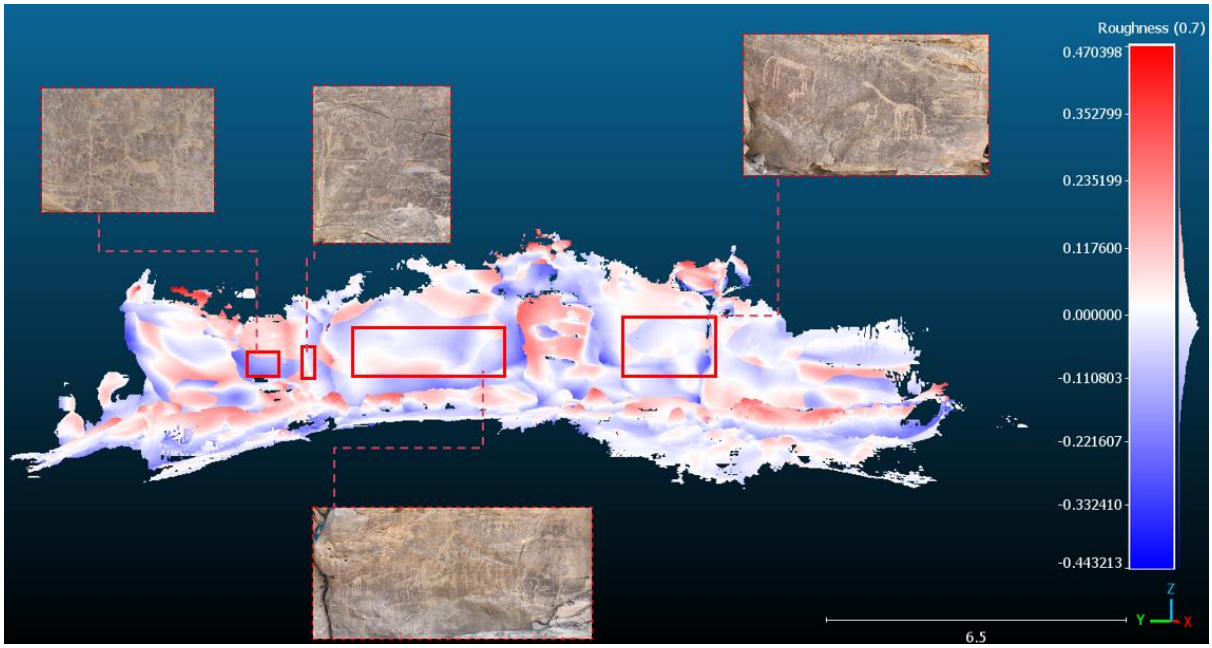
تمت المعالجة لاستخراج الخشونة باستخدام أداة Roughness في برنامج cloud compare ، قامت الأداة بحساب الانحراف المعياري لمسافات النقطة إلى السطح في الحيز المحلي حول كل نقطة، وتقدم قياسًا للخشونة المحلية للبيانات النقطية ،بمعنى انه يجب ان نحدد في البرنامج مستوى الحيز المحلى Neighborhood Radius الذى ينسب اليه المعالجة وقام الباحث باختيار حيز نصف قطره بمقدار ٠.٧ متر ، والذي يحدد حجم الحيز المحلي المستخدم لحساب الانحراف المعياري لمسافات النقطة إلى السطح. وبما أن قيمة نصف القطر المقارنة هنا هي ٠.٧، فإن ذلك يعني أن الحيز المحلي الذي تم استخدامه لحساب الخشونة يبلغ حوالي ١.٤ وحدة (نصف قطر المقارنة × ٢).

ب .٢ النتائج:

١) يظهر من نتاج العملية والتوزيع التكراري للبيانات انها يكاد تكون متماثلة في المنطقة من حيث توزيع عدد النقاط على المحور الصادي والانحراف المعياري لقيم الخشونة على قيم الحيز المحلى ٠.٧ ويظهر الشكل (٧،٨) ان الجرف تتدرج قيم الخشونة بين -٠.٤ و٠.٤، ونصف قطر المقارنة هو ٠.٧، فإن ذلك يعني أن السطح الذي تم حساب خشونته يتراوح بين سطح ناعم (منخفض الخشونة- يميل الى اللون الأزرق) وسطح خشن (ارتفاع الخشونة- يميل الى اللون الأحمر،) ولكنه ليس قاسيًا جدًا.



(شكل ٧) التوزيع التكراري لقيم خشونة السطح



(شكل ٨) توضح نتائج تحليل الخشونة و ارتباط المواقع النقوش الصخرية بمواضع ذات خشونة متوسطة الى منخفضة

كما يظهر من (شكل ٨) جميع النقوش الصخرية التي ترجع الى مرحلة متقدمة من الهولوسين (Huyge, Dirk et al,1998) تقع ضمن واجهات صخرية مقابله للوادي ،وتقع ضمن فئة متوسطة الى قليلة من الخشونة -٠.١ الى ٠.١ من الممكن أن يكون هناك عدة تفسيرات جيو اركيولوجية لهذه النتيجة وهى على النحو التالي:

- الواجهات ذات الخشونة المتوسطة كانت أسهل في الوصول إليها والكتابة عليها. وهذا يتفق مع فكرة النقوش الصخرية في ذلك العصر حيث يكون النقش عبارة عن خدش للطبقة الخارجية المجواه والملونة بفعل التجوية الكيمائية مما يعطى النقش لون اقل دكانه وسطوعا مما حوله، كانت تناسب أدوات النقش التي استخدمت في ذلك الوقت.
- قد تكون الواجهات ذات الخشونة المنخفضة إلى المتوسطة كانت أكثر وضوحا بالنسبة لأنسان تلك الفترة وبالتالي اختاروها لعرض الرسومات والنقوش حيث انها جغرافية تطل على نهر النيل.

ثالثًا: التحليل الجيومورفولوجي Geomorphological Analysis :

تكمن الإشكالية في دراسة مواقع الكشوف الاثرية باستخدام مرئيات الاستشعار من البعد كونها في الاغلب محدودة المساحة ؛ ولا توفر مرئيات الأقمار الصناعية صور دقيقة بمقياس رسم كبير للمناطق محدودة المساحة ،فالمرئيات الفضائية و نماذج الارتفاع الرقمية اكثر مناسبة للمناطقة ذات المساحة الكبيرة ،وتزاد الإشكالية في حالة النقوش الصخرية والتي تكون في الاغلب في واجهات السفوح لا تسطيع المرئيات الفضائية تصويرها ،و هنا كان للتصوير ثلاثي الابعاد بالأجهزة المحمولة ،و الماسح الضوئي ثلاثي الابعاد ملاذا للباحثين لتصوير تلك المناطق الوعرة و صغيرة المساحة و التي تحتاج لتصوير عالي الدقة يظهر تفاصيل تصل أحيانا الى سنتميترات .

كما سبق الذكر توفر بينات الليدار من المستشعرات المحمولة يدويا مميزات في كونها سهلة الحمل ، سهلة الاستخدام في المناطق الوعرة ،تتيح التصوير الجانبي و منخفضة التكلفة مقارنة بأجهزة الاستشعار الكبيرة او بيانات الطائرات بدون طيار Drones ولكن في مقابل ذلك توفر بيانات الليدار من الأجهزة المحمولة بيانات في شكل نقطي Point clouds او تصوير ثلاثي الابعاد Texture لا يتعامل معها برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وبالتالي يستوجب تحويل تلك البيانات الى اسطح ثلاثية الابعاد بصيغ تقبلها برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وحتى يتثنى التحليل عليها و استخراج البيانات التضاريسية و التحليلات المورفولوجية وهم ما سندرسه في السطور التالية بعد التعريف بموقع تطبيق دراسة الحالة:

١) دفنات اثرية بوادي شط الرجال (موقع التطبيق ومنهجية الاختيار)

خلال الاستطلاع الميداني لهذا البحث في ديسمبر ٢٠٢٢ في منطقة وادى شط الرجال التي تتبع منطقة آثار جبل السلسلة ، وقد تم رصد و توثيق حجرات دفن قديمة اعلى الحافة الشرقية لوادي شط الرجال(شكل ٩) وهى عبارة قطع رأسي في صخور الحجر الجيري في منسوب ادنى من منسوب التل في شكل حجرة رئيسية تؤدى الى حجرات أخرى في عمق التل(شكل ١٠) ،لم يستدل الباحث خلال البحوث المنشورة عن وادى شط الرجال على اى ذكر لحجرات الدفن تلك او أي تأريخ دقيق لها ،ولكنها تشبه في تصميمها الدفنات التي ترجع الى العصر اليوناني الرومانيGreco-Roman و التي تم اكتشافها حديثا في منطقة محاجر السلسة ،وقد تم اختيار هذه الحالة من قبل الباحث لعدة أسباب نوجزها في الاتي:

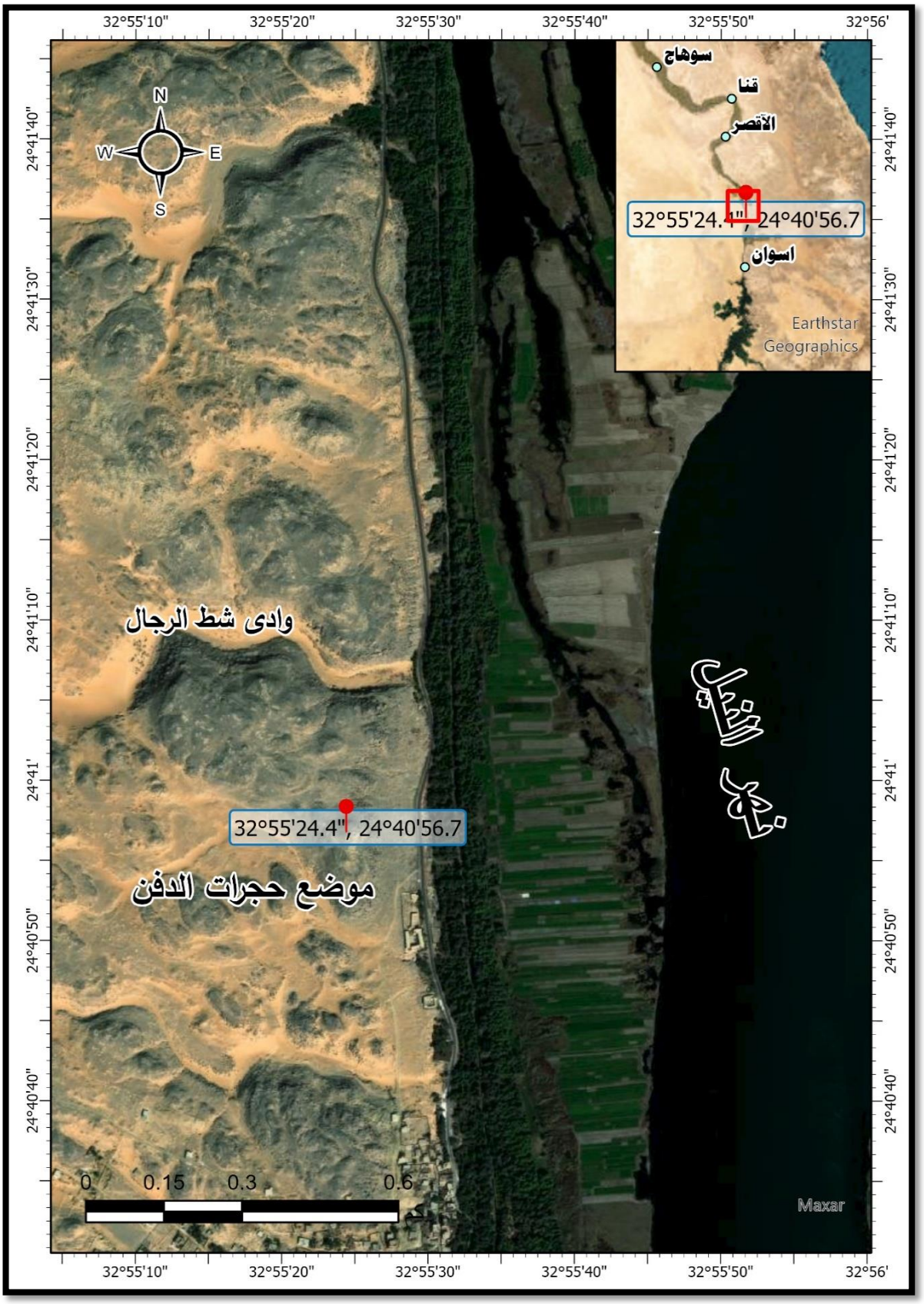
أ- المنطقة تتميز بتفاوت في المناسيب الموجبة والسالبة، مما يعطى فرصه لاختبار بيانات التصوير ثلاثي الابعاد في تسجيل واخراج التضاريس المرتفعة والمنخفضة عن منسوبها المحلى.

ب- تتمثل الدفنات بتعمق تحت سطح الأرض الامر الذي يستحيل مع التصوير ثلاثي الابعاد لما بالداخل من خلال الأجهزة كبيرة الحجم او التصوير بالطائرات من دون طيار مما سيظهر الأهمية النسبية للتصوير بالأجهزة المحمولة يدويا.

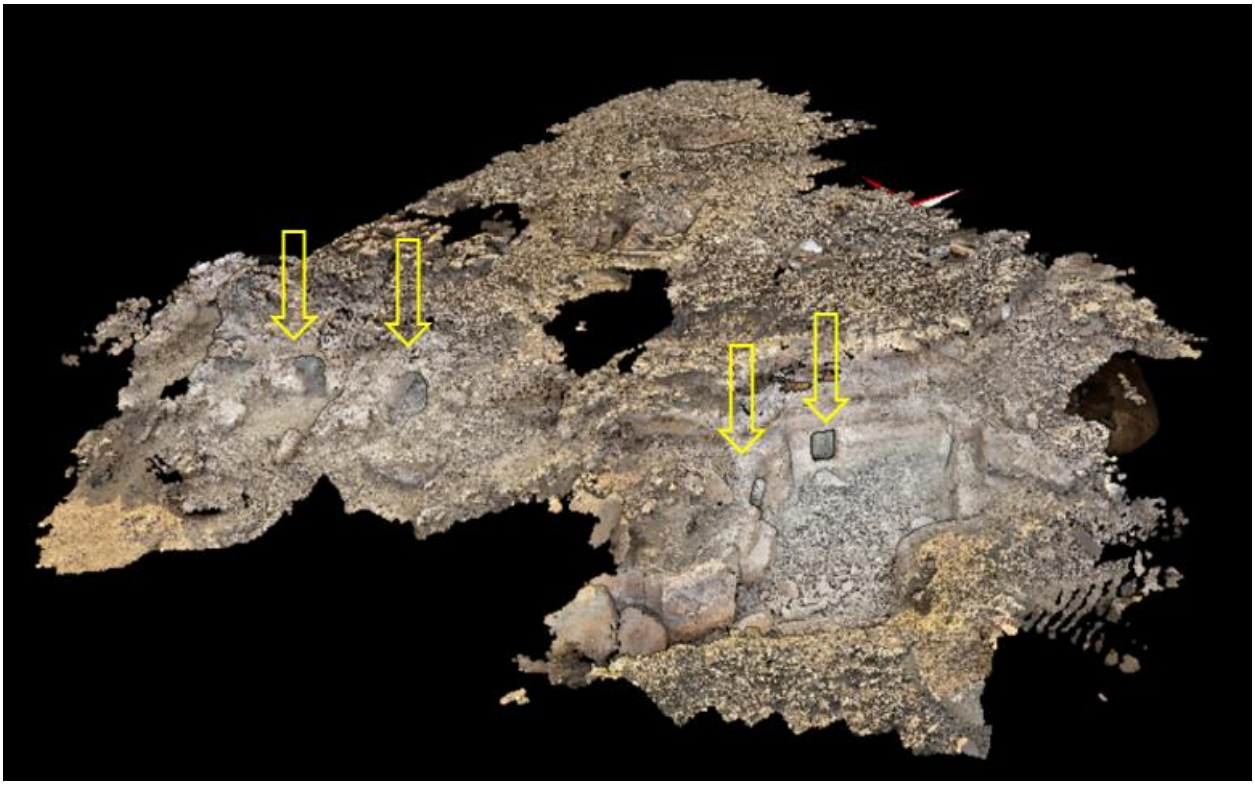
٢) معالجة البيانات Data Processing

تمت المعالجة الرقمية للبيانات المستخرجة من مستشعر الهاتف للوقوف على مدى قابليتها للتحليل واستخراج معلومات جيواركيولوجية تفيد الباحثين فيما بعد في دراسة المواقع الاثرية التي تقع تحت الأرض مثل المقابر الفرعونية، وكانت المعالجة على برنامج Global Mapperمن خلال الخطوات التالية:

- استخراج البيانات في عدة صيغ تتوافق مع برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (جدول ١).
- تحسين البياناتNoise reduction المستوردة للتخلص من الضوضاء أو العيوب الصغيرة وتحسين دقة النقاط.
- انتاج نموذج ارتفاع رقمي DEM مبنى على قيمة ارتفاع النقاط Z VALUE تمهيدا لاختبار التحليلات التضاريسية عليه.



(شكل ٩) موضع حجرات الدفن بمنطقة وادي شط الرجال موضح بالإحداثيات الجغرافية

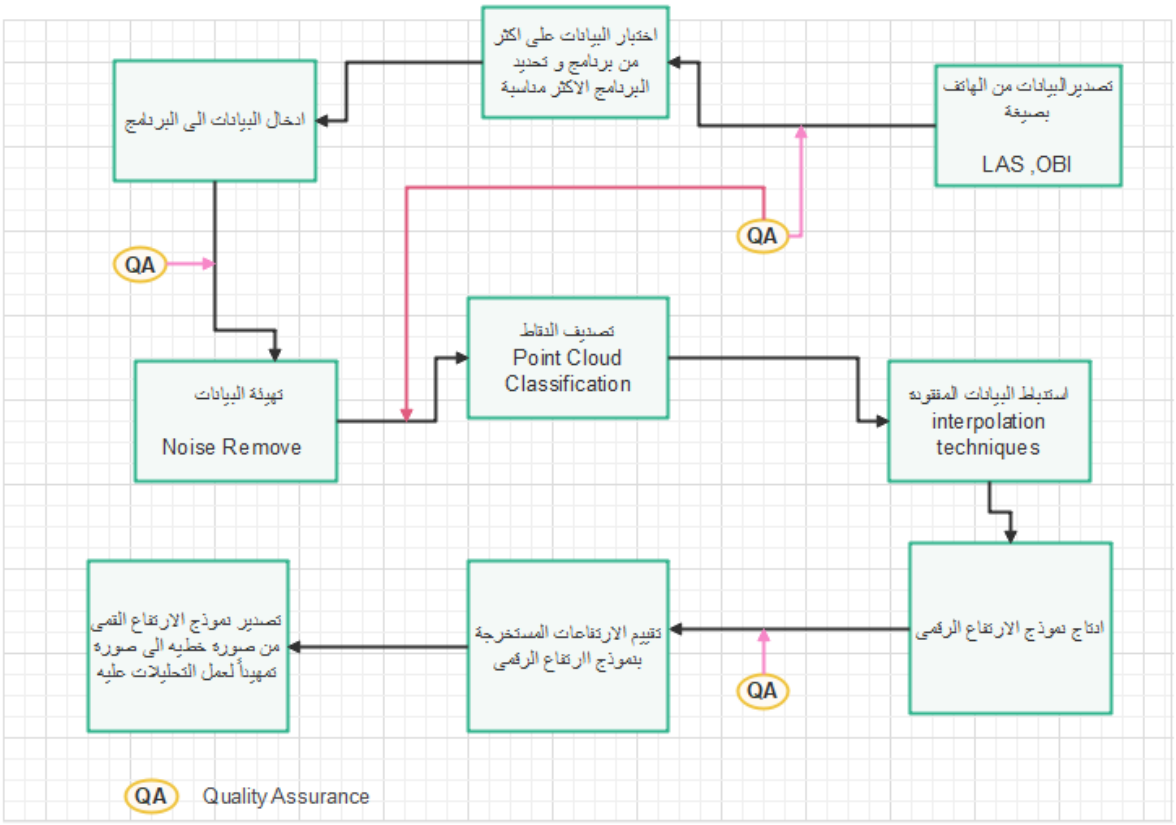


(شكل ١٠) موضع حجرات الدفن على المجسم ثلاثى الابعاد للمنطقة (بواسطة مستشعر هاتفiPhone 12 pro)

(جدول ١) امتدادات أشهر صيغ ملفات المسح ثلاثي الابعاد المتوافقة مع برمجيات نظم المعلومات الجغرافية

الامتداد	المميزات
LAS (Lidar Data Exchange Forma)	LAS: هو تنسيق ملف ثنائي الأبعاد يستخدم لتخزين البيانات النقاط السحابية المستخرجة من تقنية الليدار (Lidar). وهو تنسيق مضغوط بشكل كبير يدعم مجموعات البيانات الكبيرة، ويتضمن بيانات وصفية مثل احداثيات النقاط بالإضافة الى ارتفاع كل نقطه، وهو أكثر الصيغ المستخدمة في الاعمال المساحية و الانشائية.
LAZ	LAZ: هو تنسيق ملف مضغوط مشابه لتنسيق LAS، ولكنه يستخدم ضغطًا أكبر لتوفير حجم ملف أصغر. يمكن لملفات LAZ أن تحتوي على نفس البيانات الوصفية التي تحتوي عليها ملفات LAS ولكنه مفيد اكثر في حالة البيانات الكبيرة و في حالة نقل البيانات.
OBJ	تنسيق ملف ثلاثي الأبعاد يستخدم لتخزين نماذج ثلاثية الأبعاد والتصاميم. يحتوي ملف OBJ على معلومات المثلثات (الوجوه 3D faces) والإحداثيات الهندسية للنقاط المكونة لهذه المثلثات. يُستخدم هذا التنسيق في تطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد لأنه يعطى صورة واقعية في البعد الثالث.

المصدر: بتصرف عن موقع برنامجhttps://www.cloudcompare.org

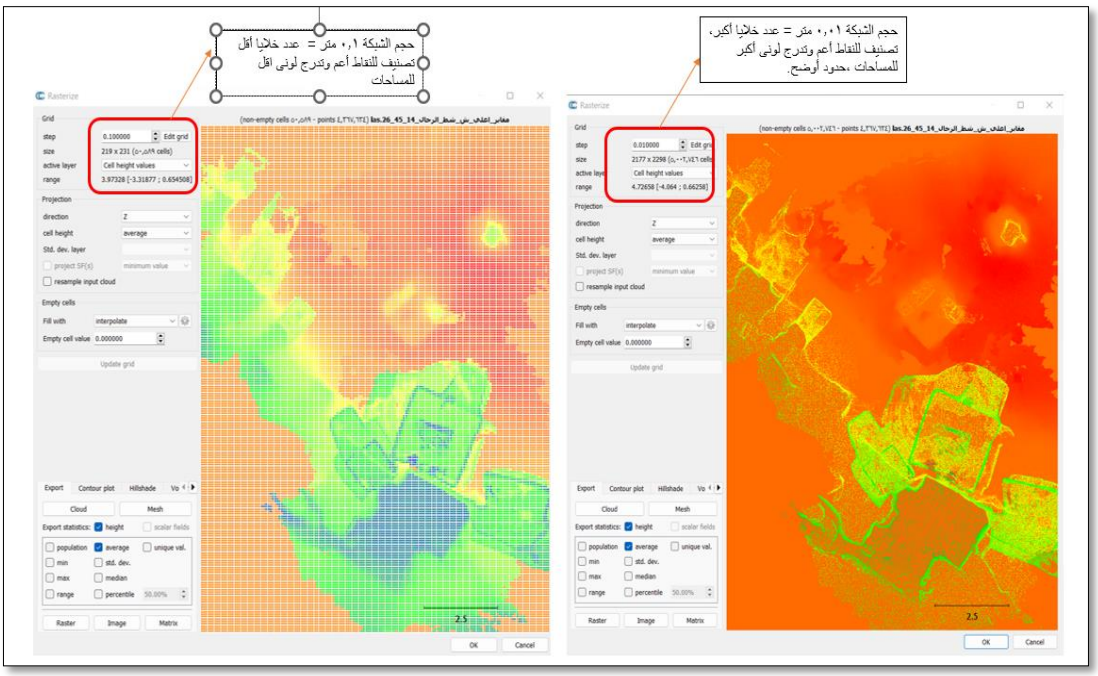


(شكل ١١) نموذج انتاج نموذج الارتفاع الرقمي من بيانات المسح ثلاثي الابعاد

٣) النتائج:

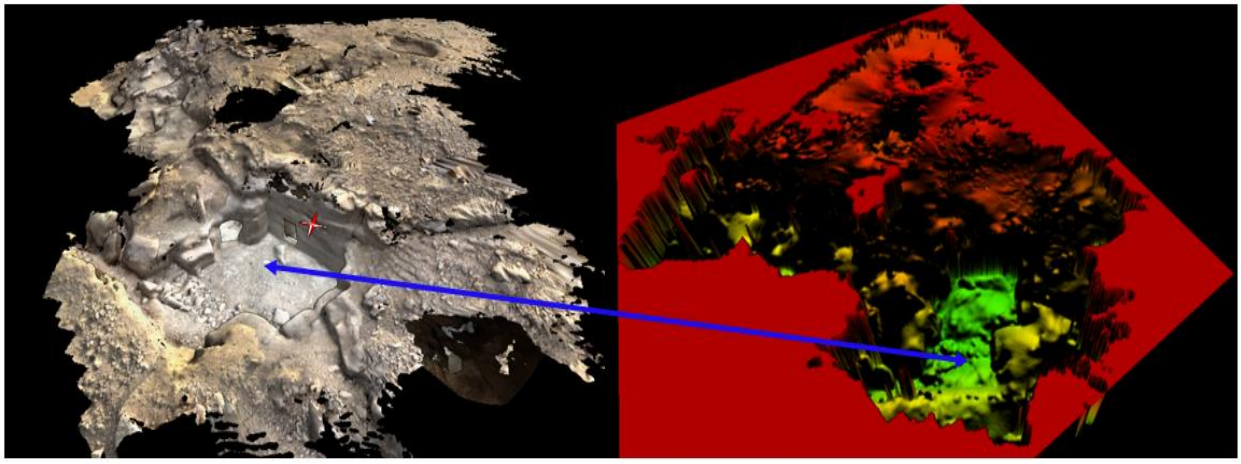
من خلال التحليلات السابقة على الرفع ثلاثي الابعاد للدفنات الاثرية بمنطقة وادى شط الرجال تم استنتاج النتائج التالية:

أ- اثناء محاولات استخراج نموذج ارتفاع رقمي من البيانات السحابية Point c أعمق باستخدام برنامج global mapper و برنامج Cloud Compare نموذجين لارتفاع الرقمي ، تبين ان كلما زادت حجم الشبكة المستخرجة في اختيار GRID SIZE كلما زادت التفاصيل لأشكال الهندسية (الحدود الخارجية Out lines) في الصورة المستخرجة وبالتالي سهولة تحديد العناصر الاثرية في المسح قيد الدراسة (شكل١٢) ولذلك يرجع عند استخدام النقاط السحابية في الدراسات الاثرية و تصنيف الصور وزيادة حجم الخلية لزيادة الدقة وخاصة في الحالات التي تتطلب عمل تحديد حدود وحرم المنطقة الاثرية كتمهيد لدراستها بشكل اعمق.



(شكل ١٢) توضح نتائج استخراج نموذج ارتفاع رقمى مع تغيير حجم الخلية في بيئة برنامج Cloud Compare

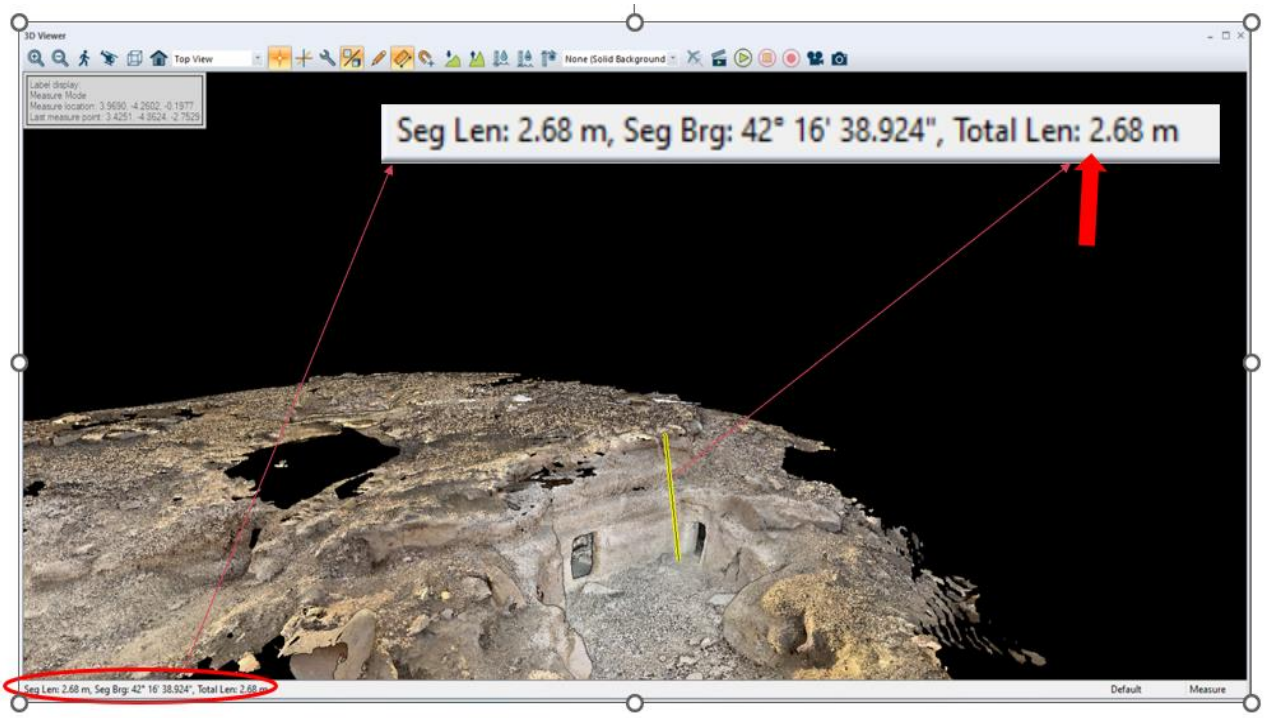
ب- عند عمل التحليلات على نموذج الارتفاع الرقمي المستخرج DEM، وجد ان النموذج اثناء بناءه أغفل جميع التعمقات الجانبية مثل حجرات الدفن الجانبية Side champers وأعطى ارتفاعات النقاط منسبة لسطح لأرض فقط، ويصعب معها قياس الأشكال الهندسية مقارنة بصيغة OBJ التي تظهر التفاصيل والابعاد بشكل ادق (شكل ١٣) وبالتالي يمكن استخدام نموذج الارتفاع الرقمي المبنى على بيانات النقاط السحابية فقط في التحليلات الجغرافية والتضاريسية العامة.



(شكل ١٣) الفرق بين وضوح البيانات بين نموذج لارتفاع الرقمي DEM (يمين الصورة) وبين صيغة OBJ (يسار الصورة)

ج- تبين من خلال الدراسة دقة بيانات النقاط السحابية المستخرجة من هاتف iPhone فيما يخص القياسات خاصة في صيغة OBJ ،كما يتبين من الشكل (١٢) تظهر ارتفاع حائط حجرة الدفن محفورة بشكل رأسي في التل و اظهر القياس باستخدام برنامج Global mapper ٢.٦٨ م ،و تظهر الصورة رقم (٤) استخدام الباحث نفسه مقياس رسم ليظهر تقارب منطقي في

الارتفاع ما بين الصورة و القياس على البيانات السحابية المرفوعة بواسطة هاتف iPhone 12 pro مما يبين صلاحية استخدام تلك البيانات في دراسة الارعاد المورفومترية للمعالم الاثرية مثل الطور و العرض و الارتفاع و التعمق .



(شكل ١٤) قياس الابعاد على بيانات Point cloud في صيغة OBJ

(صورة ٤) قياس الابعاد على بيانات Point cloud في صيغة OBJ

رابعًا: النتائج والتوصيات:

من خلال البحث تم اختبار إمكانية استخدام تقنية الرفع المساحي ثلاثي الابعاد لمستشعر LIDAR المدمج في هاتف iPhone 12 pro في دراسة الخصائص الجيواركيولوجية ،و على الرغم من كون التطبيقات و البرامج المستخدمة حديثة نسبياً و لازالت تحت التطوير البرمجي و لكن الباحث حاول استنتاج بعض النتائج على النحو التالي:

١- ألقت الدراسة الضوء على تقنية حديثة نسبياً فى الرفع المساحي عالى الدقة وسهل التحكم وقليل التكلفة بالمقارنة بالأجهزة المشابهة والطائرات من دون طيار .Drone.

٢- مهد البحث للمهتمين بهذه التقنية الطريق لأبحاث أكثر تعمقاً وعمل تحليلات مختلفة بتطبيقات أخرى في فروع الجيومورفولجيا التطبيقية، كما عرض برمجيات مفتوحة المصدر تفيد في عمل التحليلات على تلك النوعية من البيانات.

٣- ثبت فاعلية البيانات المتوفرة من الهاتف محل الدراسة في دراسة المواقع الاثرية الوعرة وما تميز به من سهولة استخدام وخفة الوزن وقلة التكلفة.

٤- من خلال البحث تم التوصل الى عدم القدرة على الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM المنتج من رفع الهاتف حيث تتم بشكل جانبي وتفتقر الى الدقة في دراسة الاشكال الاثرية وبالمقارنة مع تنسيق OBJ، يظهر أن نموذج DEM يفتقر إلى تفاصيل وأبعاد أكثر دقة؛ ونتيجة لذلك، يمكن استخدام نموذج الارتفاع الرقمي المبني على بيانات النقاط السحابية فقط في التحليلات الجغرافية والتضاريسية العامة، والتي تهدف إلى فهم الأشكال العامة والتضاريس العامة للمنطقة المدروسة. ومع ذلك، يجب أن يؤخذ في الاعتبار أنه قد يكون هناك صعوبة في قياس الأشكال الهندسية المعقدة وتوفير التفاصيل الدقيقة باستخدام نموذج DEM.

وبناء على ذلك توصى الدراسة بما يلي:

١. يوصى بمراعاة استخدام تنسيق OBJ إذا كانت الأشكال الهندسية المعقدة والتفاصيل الدقيقة ضرورية لأغراض التحليل، كما يمكن أيضًا أن يتم استخدام مزيج من البيانات من مصادر مختلفة لتحقيق نتائج أكثر دقة واستيعابًا للتفاصيل المتعمقة.

٢. الدراسة المتعمقة لتلك البيانات في أبحاث أكثر مع تطبيقات أكثر لفهم أكبر للفائدة النسبية التي يمكن ان توفرها تلك البيانات

قائمة المراجع

- **المراجع العربية**

- سليم حسن (١٩٤٨) موسوعة مصر القديمة (الجزء الثالث): في تاريخ الدولة الوسطى ومدينتها وعلاقتها بالسودان والأقطار الآسيوية والعربية، مؤسسة هنداوي للنشر، القاهرة، طبعة محدثة ٢٠١٩.

- **المراجع الاجنبية**

- Caminos, R. A. (1955). Surveying Gebel Es-Silsilah. The Journal of Egyptian Archaeology, 41(1), 51.
- French, C. (2003). Geoarchaeology in Action: Studies in soil micromorphology and landscape evolution. Routledge.
- Huyge, D., et al. (1998). Hilltops, silts, and petroglyphs: the fish hunters of El-Hosh (Upper Egypt).
- Luetzenburg, G., Kroon, A. & Bjørk, A.A. (2021) Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. Sci Rep 11, 22221. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9, 11(1), 22221.

Geoarchaeological Analysis Using Mobile Phones LIDAR Sensor Data
"A Case Studies on some Archeological Sites in Aswan"

BY

Magdy Moussa Ahmed Ismaiel
Mitwally Abd Al Samad Abd Al AZIZ
Professor of Physical Geography and GIS

Head of Geography Department- Faculty of Arts- Cairo University

Abstract:
The archaeological rock art in Aswan Governorate is considered a valuable cultural site that reflects the history and culture of the humans who inhabited various areas along the Nile Valley and its surrounding slopes, both east and west. This scientific research aims to study the effectiveness of using integrated three-dimensional scanning data in mobile phones for geoarchaeological analysis of the archaeological rock art as a low-cost and user-friendly alternative to large-sized devices. The three-dimensional scanning data extracted from mobile phones are analyzed to determine the geomorphological features of the sites and quantitatively analyze the changes that occur over time. The results of the analysis are compared with traditional methods of geomorphological analysis to ensure the accuracy and reliability of the data extracted from the mobile phone scanners. The study also includes interpretations of the cultural and environmental context of the rock art based on the integration of scanning data with other archaeological information.

Key Words:
LIDAR, 3D Scanning, Geoarchaeology, Geomorphology.