التصوير المساحى الفوتوغرافي التحتمائى (الفوتوجرامترى): نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد لدراسة الموقع الأثري المغمور تحت الماء لفنار الإسكندرية القديم بجوار قلعة قايتباى.

Underwater photogrammetry: 3D Model for studying the submerged archaeological site of the ancient lighthouse of Alexandria near Qaitbay fort

محمد السيد محمد السيد

مفتش آثار غارقة– الأدارة المركزية للآثار الغارقة– وزارة السياحة والآثار

محمد عبد العزيز عبد الحليم محمود

مفتش آثار – منطقة آثار الأسكندرية– وزارة السياحة والآثار

Mohamed Elsayed Mohamed Elsayed

underwater archaeologist, Central Department of Underwater Antiquities, Ministry of Tourism and Antiquities

mohamedelsayed9@yahoo.com

Mohamed Abdelaziz Abdelhalim Mahmoud

Inspector of antiquities, Alexandria department of Antiquities, Ministry of Tourism and Antiquities.

tornado.eyes@yahoo.com

الملخص:

يعد التصوير المساحى الفوتوغرافي التحتمائى (الفوتوجراميترى) احد التقنيات الجديدة في مجال الآثار الغارقة في مصر، حيث تم تطبيقه لأول مرة على الموقع الأثري المغمور تحت الماء والمعروف باسم موقع فنار الإسكندرية القديم الذى كان يقع على الطرف الشرقي لجزيرة فاروس القديمة بجوار قلعة قايتباي من الجهة الشرقية على عمق يتراوح بين ٢ إلى ٩ أمتار. وفي عام ٢٠٠٩/٢٠١٠م، قام المركز الفرنسى للدراسات السكندرية CEAlex بوضع برنامجًا لجمع بيانات باستخدام تقنية المساحة التصويرية (الفوتوجراميترى) لعمل نموذج للقطع الأثرية المكسورة ، كالأعمدة وبعض التماثيل ، ومحاولة اعادة تجميعها باستخدام الواقع الافتراضي فى شكل نموذج رقمى ثلاثي الأبعاد. ولكن في عام ٢٠١٣م وبداية عام ٢٠١٤م ، وبدعم من مؤسسة هونور فروست Honor Frost Foundation، تم تطوير وتحسين الأساليب المستخدمة فى التوثيق الفوتوجراميترى التحتمائى للحصول على صورة فوتوغرافية متكاملة للموقع المغمورتحت الماء بجوار قلعة قايتباي بالمجهودات اليدوية البسيطة وذلك باستخدام كاميرا DSLR وبعض المواد والأدوات البسيطة ومنخفضة التكلفة للحصول على نموذج رقمي ثلاثى الأبعاد لموقع الفنار المغمور، وأيضًا لعمل نماذج ثلاثية الأبعاد لبعض القطع الأثرية، مثل التماثيل، وقواعد التماثيل وكذلك بعض العناصر المعمارية. نقدم في هذه الورقة البحثية أهمية طرق التصوير التحتمائى فى مجال الآثار الغارقة ثم كيفية معالجة البيانات من أجل إنشاء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد للموقع المغمور لفنار الإسكندرية القديم؛ حيث ان هذا التوثيق يعد مرحلة مهمة ومتقدمة فى دراسة الموقع الأثرى. حتى عام ٢٠١٦م قد تم تصوير حوالي ٧٢٠٠ متر مربع فقط من مساحة الموقع المغمور ، والذي يتجاوزمساحته أكثر من ١٣٠٠٠ متر مربع

الكلمات الدالة:التصوير المساحى الفوتوغرافي التحتمائى (الفوتوجرامترى)؛ موقع فنار الإسكندرية القديم؛ نموذج رقمي ثلاثى الأبعاد؛ الواقع الافتراضي؛ مركز الدراسات السكندرية.

Abstract:

Underwater photogrammetry is completely a new experience in underwater archaeology in Egypt, applied for the first time on the submerged archaeological site of the lighthouse of Alexandria situated on the eastern extremity of the ancient island of Pharos at the foot of Qaitbay Fort on a depth of 2 to 9 meters. In 2009/2010, the CEAlex launched a 3D photogrammetry data-gathering programme for the virtual reassembly of broken artefacts like columns and some statues, But In 2013 and the beginning of 2014, with the support of the Honor Frost Foundation, methods were developed and refined to acquire manual photographic data of the entire underwater site of Qaitbay using a DSLR camera, simple and low cost materials to obtain a digital surface model (DSM) of the submerged site of the lighthouse, and also to create 3D models of the objects themselves, such as statues, bases of statues and architectural elements. In this paper we present the methodology used for underwater data acquisition, data processing and modelling in order to generate a DSM of the submerged site of Alexandria's ancient lighthouse. Until 2016, only about 7200 m2 of the submerged site, which exceeds more than 13000 m2, was covered

Key Words:

Underwater photogrammetry, lighthouse of Alexandria, digital surface model (DSM), virtual reality, CEALEX.

مقدمة:

تعد المساحة التصويرية التحتمائية (الفوتوجرامترى Photogrammetry) من التجارب العلمية التى تم تطبيقها لأول مرة فى مصر على الموقع المعروف بأسم فنار الإسكندرية القديم، والذى كان يقع فى أقصى شرق جزيرة فاروس قديماً والموجود حالياً إلى الشرق من قلعة قايتباى على عمق يتراوح بين ٢ إلى ٩ أمتار.

فى عام٢٠٠٩–٢٠١٠م أطلق مركز الدراسات السكندرية برنامجاً لتوثيق بعض القطع الأثرية المهشمة وإعادة تجميعها افتراضياً باستخدام تقنية التصوير المساحى الفوتوغرافى ثلاثي الأبعاد. ولكن فى عام ٢٠١٣– ٢٠١٤م وبدعم من مؤسسة هونور فروست Honor Frost foundation لمشروع اعادة البناء التصويرى لفنار اسكندرية القديم ليشمل توثيق الموقع المغمور تحت الماء بتقنية التصوير المساحى (الفوتوجرامترىPhotogrammetry) بغرض الدراسة وكذلك عمل نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد للموقع، حيث يتعدى مساحة أكثر من ١٣,...م^{٢} ثلاثة عشر الف متر مربع، ويحوى أكثر من ٣٥٠٠ قطعة أثرية، وقد أنضم الباحث د./ محمد السيد الى فريق عمل مركز الدراسات السكندرية ليقع على عاتقه إيجاد وتطوير بعض الطرق لتصوير الموقع المغمور بالكامل بتقنية التصوير المساحى تحت الماء، وبأقل الأمكانيات المتاحة حيث انه باثبات فاعلية هذه الطرق يمكن استخدامها فى توثيق مواقع اثرية غارقة اخرى وسيكون لذلك اثرا كبيرا فى عمل دراسة لإدارة المواقع الأثرية الغارقة فى مصر والأستفادة منها مستقبليا، أما السيد/ محمد عبد العزيز فكان مسؤولاً عن معالجة البيانات (معالجة الصور الفوتوغرافية) وعمل نموذج ثلاثى الأبعاد للموقع حتى يمكن دراسته من الناحية الأثرية، وقد استخدم فى البداية الكمبيوتر الشخصى الخاص به

ذو الإمكانيات المحدودة، وعلى الرغم من ذلك حققت النتيجة المبدئية للأعمال ليس فقط نجاحاً للطرق المستخدمة فى التصوير التحتمائى بل ايضا فى معالجة البيانات والتى ادت الى بناء نموذج ثلاثى الأبعاد، وكان المشروع بأكمله تحت إشراف وتمويل مركز الدراسات السكندرية CEALEX-Centre D'etudes Alexandrine.وسنستعرض فى الصفحات القادمة الوسائل المستخدمة فى التصوير المساحى التحتمائى وطرق معالجتها للحصول على نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد لسطح الموقع المعروف بفنار الإسكندرية القديم[١] والذى يحتوى على بعض الأجزاء القديمة للفنار حيث كان يعد قديماً أحد عجائب الدنيا السبع ذلك بالإضافة إلى الآثار التى القيت بالموقع بغرض حماية مدينة الأسكندرية من الحملات الصليبية فى العصور الوسطى.

تاريخ الحفائر التحتمائية بموقع فنار الإسكندرية القديم:

كانت الحفائر العلمية التى أجراها مركز الدراسات السكندرية CEAlex-Centre d'Etudes Alexandrine منذ عام ١٩٩٤م برئاسة الدكتور/ جان إيف أمبرور Jean Yves Empereur تعد أول توثيق أثرى تحتمائى فى مصر حيث انه يحتوى على أكثر من ٣٥٠٠ قطعة أثرية[٢]، فهو يعد أكبر موقع أثرى مغمور فى العالم من حيث عدد القطع الأثرية التى يحتويها. وكان الغرض الأساسى من هذه الحفائر هو إعادة اكتشاف الموقع ودراسته علمياً وذلك للتعرف على بقايا فنار الإسكندرية القديم[٣]، ولهذا قام المركز باستخدام وسائل عديدة لتوثيق الموقع المغمور وتطورت هذه الوسائل لعمل خريطة كاملة للموقع للدراسة المعمارية والأثرية لأجزاء الفنار القديم منذ عام ١٩٩٤م وحتى عام ٢٠١٠م. وجدير بالذكر أن الموقع المغمور بجوار قلعة قايتباى من الجهة الشرقية قد تم اكتشافه فى الستينيات من القرن الماضى تحديداً عام ١٩٦٠م على يد أحد هواة الغوص والصيد المدعو/ كامل أبو السعادات وبمحض الصدفة أثناء قيامه بالغوص بجوار القلعة. وقد سجل كامل أبو السعادات مشاهداته على خريطة رسمها بخط يده وحدد عليها كل الشواهد الأثرية التى شاهدها آنذاك(شكل١) والتي كان من أهمها تمثال ضخم لسيدة من الجرانيت الوردى (شكل٢) ، تلك الاكتشافات الأثرية أبلغ بها مدير المتحف اليوناني الروماني السيد الدكتور/ هنري رياض والذي بدوره اتصل بالقوات البحرية للمساعدة في انتشال تمثال السيدة الضخم من المياه في عام ١٩٦٢م والذي حدده بتمثال للإلهة إيزيس[٤]، وبعد انتشال التمثال نقل إلى عامود السواري، وفى عام ١٩٩١م نقل إلى

[١] فنار الإسكندرية القديم : كان يعد من عجائب الدنيا السبع بدأ فى انشاؤه بطلميوس الأول(٣٠٥-٢٨٣ ق.م.) واستكمل البناء فى عهد بطلميوس الثانى (٢٨٣-٢٤٦ق.م.) أى ان البناء استغرق حوالى خمسةعشر عاما، وظل يعمل طوال ١٤ قرن حتى دمر عن آخره في القرن الرابع عشر الميلادى إثرزلزال عنيف، ثم قام السلطان الأشرف سيف الدين قايتباى ببناء قلعته في موقع الفنار القديم في عام ١٤٧٧م.

[2] EMPEREUR J. , Y., GRIMAL, N.:" Les fouilles Sous-marines du Phare d'Alexandrie " , In: *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 141e année, Nº. 3, Paris, 1997, 693-713.

[3] EMPEREUR, J. Y., *Le Phare d'Alexandrie, La merveille retrouvée*, Découvertes Gallimard, Nº. 352., Paris 2004, 40, 41,42 et 59-80.

[4] RIAD, H., *récentes découvertes archéologiques en Alexandrie*, BSAA, Alexandria, 1964, 2-3

محمد السيد - محمد عبد العزيز | DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075

المتحف البحري[٥] بالإسكندرية وهو محفوظ به حتى الآن بحديقة المتحف[٦]. وقد ذاع صيت هذا الاكتشاف في أنحاء العالم ، وعليه أرسلت منظمة اليونسكو عام١٩٦٨م السيدة/هونور فروست[٧] Honor Frost ، أحد رواد الآثار الغارقة، ممثله لليونسكو، لعمل تقرير علمي عن الموقع الغارق والذي يحتوى على بقايا من فنار الإسكندرية القديم الذي دمر عن أخره في القرن الرابع عشر إثر زلزال وبني في موقعه قلعة قايتباي في القرن الخامس عشر. فقامت بإعداد تقرير نشر في عام١٩٧٥م وقد سجلت تاج تمثال للمعبودة أيزيس تخص تمثال السيدة الذى أنتشل عام١٩٦٢م، وقاعدة تمثال ضخمه ربما تخص نفس التمثال الذى انتشل فى عام ١٩٦٢م، أربعة تماثيل لأبى الهول بدون رأس، علاوة على قواعد الأعمدة وأجزاء الأعمدة الجرانيتية المنتشرة في الموقع[٨].وبعدها ظل الموقع بعيداً عن أي نشاط أثرى بسبب حالة الحروب التي كانت تمر بها البلاد آنذاك[٩]. وفى عام ١٩٩٤م طلب المجلس الأعلى للآثار من المركز الفرنسي للدراسات السكندرية برئاسة جان إيف أمبرور Jean Yves Empereur بعمل حفائر إنقاذ بالموقع لتحديد بعض القطع الأثرية الهامة لانتشالها[١٠] إثر إلقاء بعض الكتل الخرسانيه على الموقع الأثري بغرض حماية موقع قلعة قايتباى من نحر الأمواج أثناء النوات البحرية، وهذا المشروع المتعلق بانتشال الآثار الغارقة بجوار قلعة قايتباي كان مشروعاً مشتركاً بين المجلس الأعلى للآثار والمركز الفرنسي للدراسات السكندرية والأكاديمية البحرية والقوات البحرية وهدفه إنقاذ أهم القطع الأثرية من الانضمار أسفل الكتل الخرسانية ، ولكن بسبب سوء الأحوال الجوية توقف المشروع، وبعدها تقدمت بعثة مركز الدراسات السكندرية بمشروع متكامل عام ١٩٩٥م يهدف إلى الكشف عن بقايا فنار الإسكندرية القديم والتسجيل والتوثيق العلمي للموقع الأثري التحتمائى[١١] وكذلك انتشال بعض الآثار من الموقع وترميمها، وقد بدأ المشروع عام ١٩٩٥م والذي أسفر عن تسجيل أكثر من ١٥٠٠قطعه أثريه تحت الماء وانتشال ٣٥ قطعه أثرية تم نقلها إلى معمل الترميم بالمسرح الروماني بكوم الدكه[١٢]. وبعد ترميم الآثار المنتشلة وأهمها تمثال ضخم للملك بطليموس الثاني (شكل٣) وهو معروض حاليا أمام مكتبة الأسكندرية، وأعمدة بردى، تماثيل لأبى الهول، وبعض المسلات الخاصة بالملك سيتى الأول من الجرانيت،

---

5 ELSAYED, M.: "Unterwasser archäologie in Ägypten", In *Archäologie im Mittelmeer, Darmastadt*/Mainz, 2013, 131.

6 EMPEREUR J. Y., *A1exandria rediscovered*, London, 1998, 62-87.

7 EMPEREUR, *Le Phare d'Alexandrie, La merveille retrouvée* , 94-95.

8 FROST, H.: «The Pharos Site», Alexandria, Egypt, *International Journal of Nautical Archaeology 4, 1975,* 126-130.

9 EMPEREUR, J. Y., *Underwater archaeological investigations of the ancient pharos*, Underwater Archaeology & Coastal Management: Focus on Alexandria. Coastal Management, Sourcebooks 2, UNESCO, Paris, 2000, 54-59.

10 EMPEREUR, J. Y.: «Alexandrie (Egypte)», *Bulletin de correspondance hellénique* 119, №. 2, Athenes, Grece, 1995, 756-757

11 EMPEREUR, J.Y.: «Alexandrie (Egypte)», *Bulletin de correspondance hellénique* 120, №. 2, Athenes, Grece, 1996. 963-970.

12 ELSAYED, M., «L'archéologie sous-marine en Egypte. Rappel critique de son histoire et propositions pour une politique de gestion des vestiges immergés en Egypte, à la lumière des autres expériences en Méditerranée», *PhD thesies*, University Lumière Lyon II, France, 2012, 89.

والكوارتزيت وقاعدة مسلة عليها نقش للملك سيتى الأول[١٣]، تم عرض هذه القطع الأثرية(شكل٤) بالمسرح الروماني عام١٩٩٦م إثر زيارة الرئيس الفرنسي جاك شيراك[١٤] .واعيد تنظيم هذه القطع مرة أخرى عام٢٠٠٥ لتعريف أكبر عدد من الجمهور بالآثار المنتشلة من هذا الموقع الهام ، ومازالت أعمال الحفائر مستمرة حتى الآن وقد أسفرت عن تسجيل أكثر من ٣٠٠٠ قطعه اثرية مغمورة تحت الماء حتى عام ٢٠٠٨م (شكل٥) ومن بين أهم الأكتشفات، بعض الكتل من الجرانيت الوردى التى يزيد وزنها عن ٧٥ طن والتى تبين بعد دراستها أنها أجزاء من المبنى الضخم الذي أقيم فوق الطرف الشرقي لجزيرة فاروس، ألا وهو فنار الإسكندرية، حيث كانت تمثل عتب وعضد باب من أحد أبواب الفنار القديم (شكل٦) والذي كان يعد من عجائب الدنيا السبع[١٥] وفى عام ١٩٩٥م تم تسجيل أكثر من ١٥٠٠ قطعة أثرية على خريطة الموقع باستخدام جهاز الثيودوليت Theodolite والطرق التقليدية فى الرفع المساحى وقد استمر هذا الأمر لعدة سنوات حتى تم تسجيل ما يقرب من ٣١٠٠ قطعة أثرية[١٦] حتى عام ٢٠١٠م، وعلى الرغم من كل الوسائل المستخدمة فى التوثيق كان من الصعوبة أن يتم عمل حصر لكل القطع الأثرية الموجودة بالموقع وكذلك أيضاً إعادة تجميعها مرة أخرى، ولكن مع تطور وسائل التصوير الفتوغرافى الرقمى أطلق مركز الدراسات السكندرية عام ٢٠٠٩ – ٢٠١٠م برنامجاً لتوثيق بعض التماثيل المكسورة بتقنية التصوير الفوتوجرامترى وذلك للحصول على نموذج ثلاثى الأبعاد لإعادة تجميعها افتراضياً خاصةً وأن بعض هذه التماثيل قد تم بالفعل انتشالها ولايزال هناك أجزاء خاصة بها تحت الماء ومن الصعب انتشالها حيث يزيد وزنها عن عشرون طنا. ولكن باستخدام المساحة التصويرية (الفوتوجرامترى) فيمكن إعادة ترميمها افتراضياً باستخدام الكمبيوتر وبمساعدة بعض البرامج الخاصة بهذا الغرض، ومن هنا قام المركز القومى الفرنسى للبحوث ANR- Agence Nationale de Recherch بتنفيذ هذا البرنامج والذى عرف بأسم ANR-SEARCH وتطبيق هذه الطرق الحديثة، وكانت النتائج مرضية ولكنها أثبتت نجاح عمل نماذج ثلاثية الأبعاد واستخدامها افتراضياً فى إعادة بناء بعض التماثيل افتراضيا[١٧]. وبتطور تكنولوجيا التصوير الفوتوغرافى الرقمى وبدعم من مؤسسة هونور فروست لمشروع المركز الفرنسى CEAlex فى عام ٢٠١٣م تم تطبيق بعض الأساليب الجديدة قليلة التكاليف فى تصوير موقع الفنار القديم مساحياً باستخدام كاميرا تصوير فوتوغرافية رقمية**(DSLR-Digital Single Lense Reflex)**

---

13 CORTEGGIANI, J. P.: « Les Aegyptiaca de la fouille sous-marine de Qaïtbay», *Bulletin de la Société française d'égyptologie A*. 1998, Nº 142, 25-40.

14 EMPEREUR J. Y .: «Alexandrie (Egypte) » , *Bulletin de correspondance hellénique*121, №. 2, Athenes (Grece) 1997, 833-835.

15 HAIRY, I., *Pharos, l'Égypte et Platon*, dans F.H. Massa-Pairault et G. Sauron (éd.), Images et modernité hellénistiques : appropriation et représentation du monde d'Alexandre à César, Rome : EFR, 2007, 61-89.

16 HAIRY, I.:«Site sous-marin de Qaitbay, méthodes de fouilles et dernières découvertes», Société archéologique d'Alexandrie , *Bulletin* Nº48, Alexandria 2009, 113-132

17 REUTER, P., MELLADO, N., GRANIER, X., HAIRY, I, VERGNIEUX, R., COUTURE, N., *Semi-automatic 3D acquisition and reassembly of cultural heritage*: The SeARCH project, ERCIM News, special theme: Cultural Heritage, 86, July 2011.

محمد السيد - محمد عبد العزيز | DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075

وذلك للحصول على نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد لسطح الموقع المغمور تحت الماء والذى يتجاوز مساحته أكثر من ١٣،٠٠٠م٢(ثلاثة عشر الف متر مربع)، هذا بالإضافة إلى تصوير بعض القطع الأثرية التى تحتوى على نقوش أو تفاصيل معمارية لدراستها بهدف محاولة إعادة بناء الشكل التصويرى لفنار الإسكندرية القديم.

وفيما يلى سيتم عرض الطرق التى استخدمت فى تصوير الموقع مساحيا تحت الماء والتى قام بتطويرها الباحث د./ محمد السيد، علاوة على الطرق المستخدمة فى معالجة البيانات للحصول على نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد لسطح الموقع المغمور والتى قام بها الباحث /محمد عبدالعزيز وقد كان التصوير الفوتوغرافي المساحي من أهم الوسائل التي استخدمتها البعثة حديثاً لتوثيق موقع فنار الإسكندرية القديم التحتمائى وذلك لإعادة بناء الفنار افتراضيا بالأبعاد الثلاثية وحتى يتسنى للباحثين تكوين صورة شاملة عن الموقع الأثري المغمور بجوار قلعة قايتباي وهو من أحدث وأهم الوسائل في تسجيل التراث التحتمائى فى مصر.

٣. طرق وتقنيات الحصول على البيانات– Data acquisition:

يعد موقع الفنار المغمور فى شرق قلعة قايتباى من المواقع التى يكتنفها صعوبات كثيرة من حيث التضاريس واختلاف الأعماق، وكذلك أيضاً وجود الموقع فى بحر مفتوح أى أنه يتعرض للرياح والأمواج والتيارات[١٨] بشكل مباشر، وكذلك تلوث المياه حيث يؤثر كل ذلك على الرؤية تحت الماء والتى لا تتجاوز ثلاثة أمتار بشكل عام، ويشكل ذلك صعوبة كبيرة ليس فقط فى توثيق الموقع بل أيضا فى توقف استكمال الأعمال فى أغلب الأحيان بسبب النوات، لذا كان يتم انجاز الأعمال فى مواسم معينة من العام أهمها موسم الربيع والخريف وذلك لأن حالة البحر تكون فى اغلب الوقت مناسبة للغوص.

إن الموقع الأثرى هو نتاج النشاط البشرى ولذلك فيجب دراسته والحفاظ عليه بتسجيله بمنتهى الدقة لأن كل عملية تنقيب تتم بالموقع هو تدمير لتتابع أثر هذا النشاط البشرى مالم يتم ملاحظته وتوثيقه بشكل جيد، حيث أنها تكون عملية هدم غير استرجاعية للموقع[١٩]، وكما نعلم أن علم الحفائر الأثرية فى تعريفه هو التدمير الممنهج للموقع وذلك لدراسة ما تركه الأنسان من العصور السابقة، ولذا فيجب تسجيل كل ما يتم اكتشافه بدقة لأن الشواهد الأثرية إذا وجدت ولم تسجل بوعى فقدت إلى الأبد ولا يمكن استرجاعها مرة آخرى، لذلك فإن التخطيط الجيد هو أولى الخطوات فى التسجيل الدقيق للشواهد الأثرية حيث يمكننا فقط استرجاعها ومراجعتها على الورق وذلك من خلال التسجيل والتوثيق الدقيق لأنه يمثل نوع من أنواع الحفاظ على المكتشفات واللقى الأثرية على الحالة التى وجدت عليها، فالهدف الرئيسى من الحفائر العلمية الممنهجة هو أن يكون لدينا مادة يمكن وضعها كما هى فى نفس الظروف التى وجدت بها أثناء الكشف عنها وهذا ما يرتد

[18] ELGINDY, A., *Current and their variability in Eastern Harbour and Qaitbey Areas*, Underwater Archaeology & Coastal Management: Focus on Alexandria. Coastal Management, Sourcebooks 2, UNESCO, Paris, 2000, 144-146.

[19] DRAP P.: "Underwater Photogrammetry for Archaeology" In: *special applications of photogrammetry*, 20121, 11-136, http://dx.doi.org/10.5772/33999

إليه أى تسجيل أبعاد (مسح) أو رفع بالتصوير الفوتوغرافى أو رسوم تخطيطية. كما أنه من المعروف قبل إجراء أى حفائر أثرية فأن أعمال تسجيل وتوثيق الموقع تتم قبل البدء بعملية التنقيب وما يتم الكشف عنه خلال الحفائر فى المراحل اللاحقة، وهذا ما تم أتباعه أثناء العمل فى موقع فنار الإسكندرية المغمور حيث أن أهم أعمال التسجيل والتوثيق التى أتبعت فى الموقع على مدار عشرون عاماً كانت كالآتى:

-عمل خرائط مساحية وتوقيع كل ما يتم العثور عليه على خريطة للموقع أثناء كل موسم عمل، وذلك يتطلب تحديد الإتجاهات الأصلية بدقة.

-التصوير الفوتوغرافى للكتل الأثرية المغمورة قبل تنظيفها وبعد التنظيف من زاويا متنوعة.

-الرسوم التوضيحية للكتل الأثرية بأبعادها وكل هذا يتم فى ظل تقسيم الموقع إلى أجزاء لدراستها وذلك حتى عام ٢٠١٠، حيث تم تسجيل أكثر من ٣١٠٠ كتلة أثرية فى ٨ مواقع قد تم تحديدها على خريطة مساحية للموقع (شكل٥).

ولكن هذه الطرق كانت الطرق التقليدية المتبعة فى توثيق الموقع[٢٠] ورفعه مساحياً منذ عام ١٩٩٤م وحتى عام ٢٠١٠م، ولكن مع بداية عام ٢٠١٣م وبدعم من مؤسسة هونر فروست قامت بعثة مركز الدراسات السكندرية **CEAlex** باستخدام التصوير الفوتوجرامترى أو المساحة التصويرية فى توثيق الموقع للحصول على صورة كاملة للموقع المغمور وبناء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد لموقع يزيد مساحته عن ثلاثة عشر ألف متر مربع، وللمرة الأولى فى مصر يتم فيها توثيق أكبر موقع أثرى مغمور فى العالم بتقنية الفوتوجرامترى، وهو ما مكن الباحث فى الإنضمام إلى فريق العمل لوضع العديد من الطرق المختلفة للتصوير التحتمائى (المساحة التصويرية) بهدف توثيق الموقع، وذلك ما سيتم التعرف عليه لاحقاً.

٣,١. المعدات والمواد المستخدمة فى الحصول على البيانات:

تتطلب المساحة التصويرية تحت الماء السرعة والدقة فى عملية المسح بالتصوير الفوتوغرافى تحت الماء ، ويعد موقع الآثار الغارقة بجوار قلعة قايتباى ذو طبيعة خاصة حيث أنه من أصعب المواقع الأثرية الغارقة فى تصويرها ليس فقط بسبب ظروف البحر والظواهر الجوية المتقلبة على مدار الأيام فى أثناء العمل، كما سبقت الأشارة أعلاه، بل أيضاً بسبب قاع الموقع الصخرى المتباين فى العمق وفى التضاريس، فتتفاوت أعماق الموقع بدايةً من عمق ٢م فى الناحية الغربية إلى عمق ٩م فى الناحية الشرقية، وهذا التفاوت دفعنا إلى استبعاد المعدات الثقيلة، مثل القضبان المعدنية الثقيلة، والتى يصعب إقامتها فى الموقع لأن القاع غير مستو من الناحية الجيومورفولوجية، ولذا تم استخدام معدات وأدوات قليلة التكلفة لتساعد على تحديد وتقسيم الموقع الى أجزاء يتم تصويرها على حدى، وتختلف مساحتها تبعاً لمستوى الرؤية التحتمائية واختلاف تضاريس القاع، ومن هذه المعدات والأدوات (شكل٧) التى تم الاستعانة بها:

[20] EMPEREUR, *Le Phare d'Alexandrie, La merveille retrouvée* , 96-97.

محمد السيد - محمد عبد العزيز | DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075

- اسياخ حديدية يتراوح طولها بين ٥٠سم، ومتر ونصف.
- مقاييس رسم مصنعة يدوياً يتراوح طولها بين ٢٠سم و ٣٠سم إلى ٤٠سم.
- أمتار (أشرطة قياس) تتراوح بين ٢٠م إلى ٥٠ م.
- بعض العوامات الصغيرة.
- بعض العلامات المرقمة والمصنوعة من البلاستيك المرن لوضعها على القضبان الحديدية. او كنقط احداثية لرفعها مساحيا.
- بوصلة لتحديد الإتجاهات تحت الماء.
- كمبيوتر غوص لتحديد الأعماق.
- خيوط حريرية لتحديد كل موقع يتم تصويره.

٣.٢. الحصول على البيانات Data Acquisition:

فى عام ٢٠١٤م وقبل البدء فى التصوير المساحى كان يجب أولاً تحديد الموقع المراد تصويره حيث قام فريق العمل المكون من أكثر من عشرة أفراد بتجهيز موقع التصوير الذى تم تحديده على بعد حوالى عشرة أمتار من الرصيف أو حاجز الأمواج فى إتجاه الشمال الشرقى، حيث وقع الاختيار على منطقة تبلغ مساحتها ٤٥٠ متر مربع٣٠م طول X ١٥م عرض، حيث تقع على عمق من ٣م إلى ٥م وقد تم تقسيمها إلى جزئين متساويين، المنطقة **A** فى الشمال والمنطقة **B** (شكل٨) فى الجنوب[21] حتى يمكن الربط بينهم عند معالجة البيانات، نظرا لأن التصوير لا يتم فى يوم واحد بل يستمر لعدة ايام.

وتكمن أهمية هذه المنطقة فيما تحتويه من الكتل الأثرية ذات الأحجام الضخمة والتى يزيد وزنها عن ٤٠ طن، حيث يوجد أجزاء من باب الفنار وقواعد ضخمة للتماثيل وغيرها من العناصر المعمارية الأخرى، وتعد هذه المنطقة من المناطق الصعبة فى تصويرها بسبب التباين فى مستويات القاع وكذلك حجم الكتل الأثرية مثل قاعدة التمثال (شكل٦)الذى تم انتشاله فى عام١٩٦٢م، وهذه القاعدة تتراوح أبعادها ٢٦٠سم/٢٠٥سم/٢٤٦سم، وتزن ما يقرب من ٤٠ طن، وكذلك عتب الباب الرئيسى للفنار والذى يبلغ طوله حوالى ٥م وعرضه حوالى٢م ووزنه أكثر من ٤٣ طن(شكل٦)، وقد تم أختيار هذه المنطقة لتكون قاعدة رئيسية للبداية فى التصوير للموقع ليتم ربط باقى الموقع بها فى الشرق والغرب والشمال والجنوب على مدار المواسم القادمة. كما تم تقسيم المنطقتين **A** و **B** إلى ممرات عرضها حوالى ١٥٠سم على طول حوالى ٣٠ م وطول هذه الممرات حوالى ١٥م، ويمكن أن نطلق عليها أسم حارات تم تحديدها باستخدام أسياخ حديدية مربوط بها حبال حريرية لتحديد كل حارة على حدى (شكل9)، والهدف من هذه الممرات هو أن تكون دليل

[21] ABDELAZIZ M., ELSAYED M., *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbey fort in Alexandria,* Egypt, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XLII-2/W10, 2019 Underwater 3D Recording and Modelling A Tool for Modern Applications and CH Recording, Limassol, 2–3 May 2019, Cyprus, 2. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-1-2019

كخط مستقيم للمصور أثناء التقاط الصور حيث أنه من الأهمية أن تتداخل الصور أثناء التحرك فى خط مستقيم مع بعضهما البعض وكذلك لتسهيل العمل فى أى ظروف جوية وفى ظل الرؤية الضعيفة تحت الماء، ولكن بعد إجراء هذه التجربة فى هذا الموقع باستخدام تلك الأدوات البسيطة وجد أنها تستغرق أكثر من عشرة أيام فى تحضير وتجهيز الموقع للتصوير لمساحة قدرها ٤٥٠م٢ لذلك تم بعدها تقليل الأدوات والمواد المستخدمة فى تجهيز الموقع المراد تصويره فى المواسم التالية عامى ٢٠١٥م، ٢٠١٦م وبصفة خاصة الأستغناء عن تثبيت أسياخ حديد وربط أحبال بها، حتى نتمكن من العمل بشكل أسرع مع التزام الدقة فى التصوير، وقد أثبتت هذه الطرق المبدئية نجاحها فى عام ٢٠١٤م فى الحصول على البيانات المطلوبة حيث تم تصوير ما يقرب من ٧٥٠متر مربع فكانت أول صورة ثلاثية الأبعاد تظهر للموقع فى موسم الربيع والتى أظهرت دقة التفاصيل المراد تصويرها وأيضاً استخدامها فى دراسة الموقع(شكل ٦).

٣,٣. طرق التصوير: Photography:

أهم الخطوات فى التصوير المساحى للحصول على نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد للموقع هو التقاط سلسلة متتالية من الصور العالية الجودة والتى تعتمد أساساً على الأثرى الذى يقوم بالتصوير، باستخدام كاميرا رقمية احترافية ، حيث يجب أن يكون على قدر عالٍ من الثبات تحت الماء على مستوى وارتفاع ثابت بالنسبة للقاع، حيث أن التصوير المساحى التحتمائى يشبه إلى حد كبير التصوير الجوى لذا يجب الالتزام بأن لا يتجاوز مستوى الأرتفاع فوق سطح القاع ثلاثة أمتار فى أفضل أوقات الرؤية تحت الماء وأحياناً اخرى فى مجال الرؤية المحدودة التى لاتتجاوز ٢ متر فمن الممكن أن يكون مستوى الطيران أو الارتفاع حوالى ٢م أو ١٥٠سم فوق الهدف المراد تصويره. (شكل ١٠)

وقد قام الدكتور/ محمد السيد بوضع خطة شاملة للتصوير التحتمائى, وذلك للحصول على نموذج رقمى لسطح الموقع المغمور من بداية التجهيز للموقع المراد تصويره ومد الحبال والأمتار (شكل ٩) ومقياس الرسم فى مساحة لا تتجاوز ٢٠٠م٢ (٢٠م X ١٠م) وتم استخدام أدوات بسيطة[٢٢] فى التجهيز(شكل ٧). كما تم الاستعانة بكاميرا DSLR - نيكون D 700 بعدسة ثابتة ٢٤م وكانت توضع فى وعاء يقوم بعزلها تماماً عن الماء(شكل ١٠)، وقد أتاح استخدام العدسة الثابتة ٢٤م إلى تغطية مساحة واسعة بوضوح كامل خاصةً فى مجال الرؤية المنخفضة، وأيضاً ضبط الإعدادات اليدوية فى الكاميرا دون استخدام فلاش حتى مع صعوبة حالة وظروف البحر والرؤية، لذا فإن سرعة أخذ الصورة وسرعة غالق الكاميرا اختلفت تبعاً للرؤية تحت الماء حيث أننا استعنا فى بعض الأحيان بفتحة عدسة F / 7.6 مع سرعة 60/1 وذلك فى مجال الرؤية الجيد، أما إذا كانت الرؤية منخفضة بسبب العوالق الموجودة بالماء فإن فتحة العدسة تقل لتتسع وتساعد على دخول إضاءة أكثر فأحياناً تستخدم F/5.6 مع سرعة 1/40 علماً بأنه إذا قلت السرعة عن ذلك

[22] Abdelaziz, M., Elsayed, M., *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbey fort in Alexandria,* Egypt, Limassol, 2–3 May 2019, Cyprus, 3.

أو زادت الفتحة أكبر فسيصعب الحصول على صور عالية الجودة، وإنها ستكون غير واضحة المعالم فى أغلب الأحيان، وبالاستعانة بهذه الأدوات البسيطة وتقسيم الموقع إلى مناطق لتصويره بشكل يتداخل مع بعضه البعض .

ولزيادة المساحة المزمع تصويرها مساحياً فقد قام الفريق بتقليل المواد المستخدمة فى تحديد الموقع تحت الماء توفيراً للوقت والجهد، فاستخدمت الأمتار ومقاييس الرسم وتم الاستغناء تماماً عن مد االأحبال لتحديد الممرات تحت الماء، واعُتمد على البوصلة فى تحديد الأتجاه وأيضاً على تقنية أداء الغواص الأثرى الذى يحاول أن يحافظ على السير فى خطوط مستقيمة والتقاط الصور بشكل مستمر ومتتابع باسقاط شبه عامودى فى الذهاب والعودة على مسافة طولية قدرها عشرون متراً تقريبا، وتبلغ نسبة التداخل بين الصور وبعضها فى الأمتداد الطولى من ٦٠ إلى ٧٠%، وفى أثناء الاستدارة لتغطية الجانب الموازى لنفس الخط (شكل ١١) فإنه يتم عمل تداخل أو تغطية جانبية تزيد عن ٨٠% ويجب المحافظة طول الوقت على السير فى خطوط مستقيمة بالتوجه تحت الماء باستخدام البوصلة، ومقاييس الرسم المنتشرة بالموقع وكذلك بالأعتماد على التضاريس وشكل القاع والكتل الأثرية التى تساعد فى تحديد الإتجاه تحت الماء والسير بسرعة ثابتة وروعى ان تكون زاوية التقاط الصور قريبة من ٤٥ درجة، وبالتداخل بين الصور فى الذهاب والعودة بنسبة ٧٠ إلى ٨٠ % فانه يقلل من حدوث أخطاء عند مطابقة الصور داخل البرنامج، وتكمن الصعوبة فى تصوير الموقع فى التباين الكبير فى المنطقة المراد تصويرها من حيث تفاوت فى الأعماق نتيجة لوجود صخور أو نتوءات ونتيجة ايضا لحجم الكتل الأثرية وتفاوتت الأعماق بين ٣م ، ٨م ، لذا تم أخذ ذلك فى الأعتبار للأجزاء التى تم تصويرها فى المواسم التالية فى عامى ٢٠١٥، ٢٠١٦. وقد تم تصوير مساحة تزيد عن ٧٢٠٠م^{٢} فى الأعوام ٢٠١٤ ، ٢٠١٥، ٢٠١٦ وذلك من أصل مساحة قدرها ١٣٠٠٠م^{٢} من الموقع[٢٣]. وقد تمت أعمال التصوير للموقع المذكور فيما يقرب من ٢٦ أسبوع فى مواسم عمل بفصل الربيع والخريف على مدار ثلاث سنوات واستخدمت حوالى خمسون ألف ومائة واثنان وخمسون صورة(٥٠١٥٢) لعمل صورة أورثوغرافية (صورة عامودية) لجزء من الموقع (شكل14) ،علماً بأن الموقع لايزال العمل مستمراً به لحين الانتهاء من النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد للموقع بأكمله.

٤. معالجة البيانات:Data Processing:

لقد كان يراعى دائماً تحرى الدقة فى الحصول على البيانات وذلك بعد الانتهاء من تصوير كل جزء تحت الماء نظراً للجهد المبذول فى تجهيز الموقع (الغوص لعدة ساعات بغرض التصوير) حتى لا يتم إعادة ما تم تصويره من جديد.

[23] HAIRY, I., ELSAYED, M., ABDEL AZIZ, M., SOUBIAS, PH.: «Le Phare. Un site immerge», In *M.D. Nenna* (ed.), Alexandrie grecque, romaine et égyptienne, Dossiers d'Archéologie 374, 2016, 24.

لذا فإن المرحلة التالية هى معالجة البيانات وتتم أولاً بشكل مبدئى لمعرفة جودة الصور والطرق المتبعة فى التصوير، ثم بعد ذلك تتم المعالجة النهائية للحصول على الصورة الثلاثية الأبعاد، وسنتناول فى هذا الجزء من المقال كيفية معالجة الصور الفوتوغرافية منذ بداية الأعمال فى عام ٢٠١٤م وحتى عام ٢٠١٦م حيث قام الأثري/ محمد عبد العزيز بكل العمليات الخاصة بمعالجة الصور وبأستخدام أقل امكانيات متاحة.

فى بداية المشروع عام ٢٠١٤م كانت تتم عملية معالجة البيانات باستخدام كمبيوتر ذو إمكانات محدودة، حيث كانت خصائص وحدة المعالجة المركزية عبارة عن: RAM-16G/GPU-GT630, 2G/CPU– Intel core i3 ، بذاكرة قدرها ١٦ جيجا، ولم تكن هذه الإمكانات مناسبة لمثل هذا المشروع ولكن تم إدارته بواسطة الأستاذ| محمد عبدالعزيز للتمكن من الحصول على نتائج فرضية دقيقة إلى أن تم تحديث جهاز الكمبيوتر بواسطة مركز الدراسات السكندرية فى عام ٢٠١٦م، ولمعالجة الصور كانت هناك برامج مسبقة تستخدم فى معالجة البيانات فقد كان البرنامج الأساسى يعرف بأسم Agisoft photo scan والمعروف حالياً بأسم Metashape الذى تم استخدامه فى معالجة الصور المساحية أو المسح التصويرى بغرض بناء نموذج دقيق ثلاثى الأبعاد. وقبل معالجة الصور فى برنامج المسح التصويرى كان يتم أولاً معالجة مسبقة للصور الفوتوغرافية نفسها حيث أن الصور التى تم التقاطها تحت الماء لم تصور فى يوم واحد نظراً للمساحة الكبيرة التى يوجد عليها الموقع، لذا كان الموقع يتم تصويره فى أيام متفاوتة وكل يوم يختلف عن الآخر فى الرؤية تحت الماء كذلك أيضاً فى درجة نقاء الماء وحالة البحر، لذلك كان يسيطر على أغلب الصور اللون الأزرق أو الأخضر أو الأصفر(شكل12) كما كانت بعض الصور شبه مرئية نظراً لحجب السحب لأضاءة الشمس أثناء عملية التصوير الفوتوغرافى، وأحيانا ًلضعف الرؤية أو اختلاف الأضاءة فى أجزاء مختلفة من الموقع تبعاً لطبوغرافية المكان المزمع تصويره، وكل ذلك يشكل صعوبة فى استخدام الصور دون تحسين مسبق أو معالجة مسبقة لذا كان يجب تصحيح الألوان والتباين فى الصورة وإزالة الظلال (شكل12) وذلك بهدف الحصول على المزيد من النقاط المشتركة بين الصور المتداخلة أو بالتحديد يتم تحويل إمتدادها من الأمتداد الأصلى Raw إلى إمتداد JPG حتى يتم قبول هذا الأمتداد الأخير بواسطة المسح التصويرى للحصول على صورة ونموذج ثلاثى الأبعاد[٢٤].

وفي بداية موسم الربيع عام ٢٠١٤ تم الحصول على اول صورة اورثوغرافيةOrtho Photo لمساحة قدرها ٧٥٠م٢ وقد استخدمت ١٣٢٢ صورة فوتوغرافية للحصول على نموذج ثلاثى الأبعاد (شكل ١٣).

[24] Abdelaziz, M., Elsayed, M., *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbey fort in Alexandria,* Egypt, Limassol, 2–3 May, Cyprus, 2019, 4.

٤,١. إنشاء النموذج الثلاثى الأبعاد باستخدام برنامج Agisoft photo- scan (Metashape):

برنامج Metashape هو تطبيق برنامج ثلاثى الأبعاد تم تطويره بمعرفة الشركة الروسية Agisoft LLC وهو يقوم ببناء أو بإنشاء نموذج ثلاثى الأبعاد بدقة عالية من خلال الصور الفوتوغرافية، ويتم تحويل هذه الصور إلى نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد فى أربعة خطوات[٢٥]:

- محاذاة الصور Aligne photos
- إنشاء شبكة كثيفة Build dense cloud
- إنشاء شبكة Build Mesh
- إنشاء نسيج Build texture

هذا وقد تمت إضافة بعض الأجراءات فى البرنامج وذلك لتحسين النتائج المطلوبة مثل إخفاء صور معينة وحذف النقاط الخاطئة، ويتم أيضاً تشغيل المعايرة التلقائية فى البرنامج وذلك من خلال خوارزميات رياضية منذ اللحظة الأولى التى يتم فيها إدخال الصور المتداخلة والغير معايرة إلى البرنامج وبعدها يتتبع البرنامج عدد النقاط التى تنتقل عبر سلسلة الصور حتى التى لم يتم معايرتها سيتم حسابها تلقائياً داخل برنامج المسح التصويرى.

٤,٢. بناء سحابة نقط كثيفة وشبكات باستخدام كمبيوتر ذو كفاءة منخفضة: Building a dense point cloud and mesh

يستخدم برنامج Metashape خاصية خوارزمية الكشف عن الميزة "feature detection algorithm" وفيها يقوم البرنامج بمحاذاة الصور(aligne photos) ذات الصلة ببعضها البعض والكشف وتحديد الميزات بها ومطابقتها تلقائياً فى الصور المتداخلة وذلك استناداً على الخصائص المكتشفة ومعامل معايرة الكاميرا، وتأتى بعد ذلك الخطوة التالية وهى بناء سحابة كثيفة للنقاط مع مراعاة إمكانيات الكمبيوتر الضئيلة حيث أنه إذا تم معالجة الصور بجودة عالية جداً فإن العمل فى معالجة البيانات بهذه الأمكانيات البسيطة سيظل لعدة أسابيع، علاوة على أن البرنامج نفسه من الممكن أن يتعطل بعد ساعات من المعالجة لذلك فإن هناك خاصية فى هذا البرنامج لمعالجة هذه المشكلة فهو يقوم بإنتاج لغة برمجة python تسمى "split in chunks"، حيث استخدمها الباحث فى هذه العملية نظراً لاستخدام عدد هائل من الصور حيث أنه من المستحيل التعامل معها جميعاً كدفعة واحدة، لذلك يمكن للسحابة الكثيفة ومن بعدها إنشاء شبكة مربعات ليتم معالجة كل مربع على حدى وهذا الشكل عبارة عن مربع يحتوى على الصور

[25] VAN DAMME T., *Computer vision photogrammetry for underwater archaeological site recording in a Low-Visibility environment*, the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information science, vol Xl-5/w5, 2015 underwater 3d recording and modeling, 16-17 april, Piano di Sorrento, Italy. 2015, 232.http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-231-2015

المتوافقة التى يمكن للبرنامج دمجها بعد ذلك مرة آخرى فى قطعة واحدة وبذلك يقوم البرنامج بمعالجة ما بداخله باستخدام جزء قليل من RAM/GPU/CPU، وذلك بتقليل حجم المربع أو ما نعرفه اصطلاحياً الصندوق[٢٦] Boundary Box ويقوم أيضاً البرنامج بمعالجة السحابة ذات النقاط الكثيفة بإعدادات منخفضة والحصول فى نهاية الأمر على نتيجة جيدة من خلال الالتزام الصارم بخطة التصوير وجودة الصور(**شكل ١٤**).

وعلى سبيل المثال فى بداية معالجة البيانات(الصور)، استغرق العمل أكثر من ٣٠ ساعة لإنشاء سحابة نقط كثيفة Dense point cloud، فى عام ٢٠١٤م حيث بلغ إجمالى النقط أكثر من ١٥٠ مليون نقطة.

والخطوة التالية هى إعداد شبكة mesh بمعنى هندسة النموذج المبنى على أساس سحابة النقاط point cloud.

والمرحلة الأخيرة هى إنشاء نسيج Texture للنموذج من خلال إسقاط مواضع آلة التصوير فى داخل النموذج ثلاثى الأبعاد.

٤,٣. منهجية العمل:

كان عدد الصور المستخدم فى إنشاء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد للموقع حتى عام ٢٠١٦م خمسون الفا ومائة واثنان وخمسون صورة (٥٠١٥٢) تمثل حصيلة الصور التى تم معالجتها خلال مواسم العمل لأعوام ٢٠١٤م، ٢٠١٥م، ٢٠١٦م، وقد تم الانتهاء من تغطية حوالى ٧٢٠٠ متر مربع من الموقع المغمور(شكل١٤) من المساحة الكلية والتى تزيد عن ١٣،٠٠٠ متر مربع، وهى تعد أكبر مساحة فى العالم تم تغطيتها فى موقع أثرى مغمور تحت الماء وأول موقع أثرى مغمور فى مصر يتم فيه تطبيق تقنية استخدام التصوير الفوتوجرامترى تحت الماء، فلذلك كان من الصعب معالجة كل هذه الصور دفعة واحدة نظراً للإمكانات المحدودة والمتاحة فى ذلك الوقت لجهاز الكمبيوتر ولذا كانت الصور يتم معالجتها يوماً بعد يوم، بمعنى أنه بالانتهاء من تصوير جزء معين فى يوم ما يتم معالجة هذا الجزء على حدى، ومن هنا أصبح لدينا حوالى ٣٩ جزءاً من الموقع المغمور يمثلون الصور اليومية التى تم التقاطها خلال المواسم المختلفة منذ عام ٢٠١٤م وحتى عام ٢٠١٦م، وقد راعى الباحث أن يوجد تداخل بين صور أجزاء الموقع (شكل١٥) بنسبة تبلغ حوالى ٢٥ % فى كل جزء يتم معالجته حتى يمكن دمج كل هذه الأجزاء مع بعضها البعض فى المعالجة النهائية، ولإنجاز هذا العمل وضعت علامات رقمية يدوياً على كل من القطع المقترنة أو المتشابهة ويتم الإشارة إليها مع بعضها فى كل جزء وذلك أثناء المعالجة على الكمبيوتر حتى تم دمج كل الأجزاء معا للحصول على مساحة قدرها حوالى ٧٢٠٠ م^{٢} من الموقع فى صورة واحدة(شكل ١٦).

[26] ABDELAZIZ, M.,& ELSAYED, M., *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbey fort in Alexandria,* Egypt, Limassol, 2–3 May, Cyprus, 2019, 5.

٤,٤. الأحداثيات الجغرافية:

من المهام الرئيسة والضرورية لبناء نموذج ثلاثى الأبعاد DSM هو أن يتم تحديد نقاط مرجعية ثابتة تحت الماء حتى تكون بمثابة إحداثيات جغرافية يتم رفعها بالطرق التقليدية باستخدام جهاز Total Station، وكانت تستخدم علامات يتم ترقيمها وتثبت على سطح القاع الصخرى باستخدام مسمار فى وسط العلامة ليكون هذا المسمار بمثابة النقطة التى يتم تحديد موقعها على الخريطة لتصبح النقطة المرجعية للنموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد، وتم توزيع هذه الأبعاد فى جميع أنحاء الموقع أو المكان الذى تم تصويره فى عام ٢٠١٤م، ٢٠١٥م حيث تم تثبيت حوالى ٣٠ نقطة وحتى يتمكن فريق عمل المساحة التابع لمركز الدراسات السكندرية من رفع هذه النقاط تم تطوير عوامة تطفو فوق سطح البحر(شكل٢٠) يثبت فيها مرآة عاكسة

(الخاصة لجهاز التوتال ستيشن Total Station) على عمود حديدى مربوط من أسفله بحبل يتصل فى نهايته فى القاع بأوزان من الرصاص تصل الى عشرون كجم(شكل٢٠)، ويتم تثبيت هذه الأداه على النقطة بمساعدة ثلاث غواصين بشكل ثابت حتى يتم رفع النقطة، وأثناء تصوير الموقع يتم أخذ صور لهذه النقطة (شكل ٢١) ودمجها داخل النموذج، لذلك تم العمل على كل موسم على حدى لتوقيع الأحداثيات، وتم العمل على برامج آخرى مثل meshlab&Autocad للحصول على نموذج ثلاثى الأبعاد وكانت نسبة الخطأ فى هذه العملية تصل الى حوالى ١٣سم.

٤,٥. الصورة الأورثوغرافية Orthophoto ونموذج الارتفاعات الرقميةEM (Digital Elevation Model):

بعد الأنتهاء من المراحل السابق ذكرها يمكن من خلال الصورة الأورثوغرافية إنتاج نموذج منسوب (ارتفاع) رقمى يمثل ارتفاعات تضاريس سطح القاع Digital Elevation Model (شكل١٧) وذلك على المساحة الواقعية بعد إنشاء الشبكة Mesh، وفى أثناء معالجة برنامج Metashape للصور الفوتوغرافية يقوم البرنامج تلقائياً بمعالجة المناطق التى تشبه الضباب على النموذج الرقمى أو الصورة الأورثوغرافية حيث يقوم البرنامج بتحرير خط التماس وذلك للحصول على نتائج بصرية أفضل. وبعد المعالجة النهائية يمكن الحصول على صورة أورثوغرافية، ونموذج ارتفاع رقمى باستخدام برنامج Metashape بأى إسقاط مطلوب ونفضل دائماً فى حالة التصوير التحتمائى الإسقاط الرأسى للحصول على قطاعات فى الموقع (شكل١٨) وكذلك خرائط تبين الارتفاعات فى القاع، وقد تم إنتاج الصورة الأورثوغرافية التى تم تجميعها من الصور بمتوسط حجم بيكسل ٥٠مم الى ٦٠مم pixel بسبب اختلاف ارتفاع الكاميرا عن سطح قاع البحر[٢٧].

[27] ABDELAZIZ,& ELSAYED, *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site*, 6

٥. النتائج البحثية:

– من أهم النتائج التى تم التوصل إليها من خلال بناء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد للموقع انه ساعد كثيراً فى دراسة الموقع من الناحية الأثرية، فقد كانت هذه هى المرة الأولى فى تاريخ الآثار الغارقة فى مصر يتم تطبيق التصوير المساحى الفوتوجرامترى تحت الماء، وقد اثبتت طريقة التصوير، واستخدام مواد بسيطة فى توثيق الموقع، انه يمكننا رؤية الموقع فى صورة واحدة ثلاثية الأبعاد، ومن خلالها تم دراسة أهم التغييرات التى تطرأ على الموقع فى مواسم العمل المختلفة، حيث لوحظ تغيير فى مستوى منسوب الرمال بين عامى ٢٠١٤م، ٢٠١٦م، ففى عام ٢٠١٤م كان يوجد قطع أثرية ظاهرة فى الصورة الأورثوغرافية إلا أنها اختفت تحت سطح الرمال فى عام ٢٠١٦م وهذا ما نراه فى الصورة التوضيحية والتى تبين هذه التغييرات(شكل١٣ ، شكل ١٥)، وبالتالى فإن أول النتائج المهمة التى يمكن أن يعتمد عليها من النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد هو دراسة التغييرات الطبيعية التى تطرأ على الموقع الأثرى المغمور وكذلك دراسة مدى الإرسابات والتغييرات الجيولوجية التى يتعرض لها الموقع.

– من خلال التجربة الأولى لإنشاء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد باستخدام تقنية الفوتوجرامترى Photogrammetry تم الاستعانة بمواد وأدوات منخفضة التكاليف للحصول على البيانات ومعالجتها وذلك بغرض توثيق أكبر موقع أثرى تحت الماء فى العالم من حيث عدد الكتل الأثرية الموجودة بالموقع، فقد تم توثيق ما يقرب من ٦٠% من مساحة الموقع لمساحة قدرها ٧٢٠٠ متر مربع ومن هنا فيمكن استخدام هذه الطرق البسيطة فى توثيق أى موقع أثرى تحت الماء.

– لم تنته أعمال التوثيق الفوتوجرامترى للموقع بعد حيث تم تسجيل ما يقرب من ٧٢٠٠ متر مربع من المساحة الكلية للموقع حتى عام ٢٠١٦م والتى تتعدى أكثر من ١٣،٠٠٠متر مربع، بل وستزيد المساحة عن ما هو متوقع حتى يتسنى لنا دراسة الموقع بالتفصيل خاصةً بعد إضافة المساحة التى توجد على أطراف الموقع فى الناحية الشمالية والشمالية الشرقية والجنوبية والجنوبية الغربية والتى يوجد بها بقايا جزيرة فاروس القديمة، وسيتم بناءاً على ذلك زيادة عدد النقاط الجغرافية أو الأحداثيات الجغرافية المرجعية GCP- Geographic Control Point ، وقبل البدء فى عمليات التصوير من أجل الحصول على نموذج ثلاثى الأبعاد عالى الدقة لسطح الموقع(DSM-Digital Surface Model) والذى يمكن استنباط نموذج تضاريس (DTM-Digital Terrin Model) للموقع مع بيانات تكميلية تساعد على استخراج خريطة الأورثوغرافية بحجم بيكسل عالى وفقاً لكفاءة أجهزة الكمبيوتر المتوفرة والتى يمكن أن تصل درجة الوضوح للقاع من 50 مم إلى 64 مم.

– ومن أبرز النتائج التى تم التوصل إليها من إنشاء نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد هى إمكانية إنشاء نموذج Digital Elevation Model –DEM وهو نموذج رقمى لمنسوب أو ارتفاع لأى كتلة فى الموقع دون استخدام GPS-Global Positioning System لأن الأحداثيات موقعة جغرافياً بالفعل على النموذج

DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075 | محمد السيد - محمد عبد العزيز

الرقمى ويمكن أيضاً عمل قطاعات (Sections) لرؤية مستويات السطح غير المستوية والحجم لأى كتلة فى النموذج الرقمى (شكل١٨). وأيضاً الحصول على رسم ثنائى الأبعاد (شكل١٩) من الصورة الأورثوغرافية على برنامج Autocad كوسيلة سريعة لعمل مسقط أفقى فى خلال أيام وذلك بالمقارنة بما كان يستغرقه ذلك من وقت ومجهود فى التوثيق التقليدى تحت الماء لمواقع الآثار الغارقة.

– باستخدام تقنية المساحة التصويرية تحت الماء(الفوتوجرامترى) بالمجهود البشرى يمكن التوثيق ثلاثى الأبعاد بتكلفة بسيطة بالمقارنة باستخدام تقنيات آخرى أكثر تكلفة مثل السونار Side Scan Sonar أوباستخدام مركبة التحكم عن بعد,ROV-Remote Operating Vehicle حيث أن الأعتماد على المجهود البشري فى أداء المهمة يساعد على الدقة فى الأداء على الرغم من طول المدة الزمنية فى تنفيذ هذه الأعمال بالمقارنة باستخدام الأجهزة الدقيقة والتى تساعد فى إنجاز المهام بشكل أسرع ولكن التكلفة المادية لهذه المعدات الدقيقة عالية جداً، والدقة فى التوثيق تؤدى إلى نتائج مهمة منها محاكاة الواقع وبذلك يساعد على الحصول على تفسيراً أكثر وضوحاً لحالة الموقع الأثرى وكذلك اللقى الأثرية وإعادة تقييم النتائج فى المستقبل وذلك باستخدام الكمبيوتر دون الحاجة إلى الغوص على الموقع، فيتم دراسة الموقع من خلال النموذج الأفتراضى الثلاثى الأبعاد للموقع المغمور.

– من خلال معالجة البيانات داخل برنامج Agisoft Metashape فقد تغلب البرنامج على الكثير من العوائق التى واجهت المساحة التصويرية التحتمائية لدرجة أنه تم الوصول إلى أنه يمكن الأعتماد على الصورة الأورثوغرافية فى الرسم وعمل قطاعات ونموذج لمنسوب الأرتفاعات وكذلك نموذج لتضاريس القاع.

– ويجب الإشارة هنا إلى أهم نتيجة وهى استخدام النموذج الثلاثى الأبعاد فى عمل زيارة افتراضية لموقع فنار الأسكندرية الغارق باستخدام تقنية الواقع الأفتراضى، حيث أن ذلك سيسمح لمن يمارس رياضة الغوص بعمل جولة افتراضية بالموقع وقد تم عمل تجربة مبدأية بعمل فيديو افتراضي من الصورة الأورثوغرافية لمساحة ٧٢٠٠متر مربع والتى سبق ذكرها، علماً بأن رؤية الموقع الأثرى الغارق بجوار قلعة قايتباى منذ عام ١٩٩٩م وحتى الآن يقتصر فقط على من يحمل مؤهل للغوص والغوص عن طريق مركز غوص، ولكن مع وجود نموذج ثلاثى الأبعاد للموقع بالكامل سيساعد ذلك فى توظيفه لعمل جولات افتراضية تساعد من لا يمارس رياضة الغوص مشاهدة الموقع كما لو كان تحت الماء.

– ويساعد النموذج أيضاً على وضع خطط مستقبلية للأستفادة بالموقع الأثرى الغارق فى تطوير سياحة الغوص الأثرى سواء لموقع قلعة قايتباى أو أى موقع آخر، فهذا الموقع يعد النموذج الأول الذى يمكن الأعتماد عليه والأستفادة منه فى التطبيق على المواقع الآخرى.

– وقد تزايد أيضاً دور المساحة التصويرية فى عمليات التدريس مما سيساعد الطلبة فى دراستهم للمواقع الأثرية وبالتحديد للآثار الغارقة وكذلك أيضاً دراسة القطع الأثرية. يمكن استخدام تقنية المساحة التصويرية الفوتوجرامترى التحتمائية فى عمليات الترميم الأفتراضى للقطع الأثرية، فهناك بعض هذه القطع التى تم

انتشالها وهناك أجزاء مكملة لها لاتزال موجودة تحت الماء، لذلك يمكن استخدام هذه التقنية فى إعادة ترميم وتركيب هذه الأجزاء، وعلى سبيل المثال: التمثال الضخم الذى عثر عليه كامل أبو السعادات والذى تم انتشاله فى عام ١٩٦٢م والمحفوظ حالياً بالمتحف البحرى والمعروف بأسم تمثال إيزيس وهو مكسوراً إلى جزئين ويزيد وزنه عن ٢٠ طن، وقاعدة هذا التمثال لاتزال موجودة تحت الماء أما التاج الخاص به فقد تم انتشاله عام ١٩٩٥م ومحفوظ حالياً فى المسرح الرومانى بمتحف الآثار الغارقة المفتوح. باستخدام الفوتوجرامترى قام المركز الفرنسى بعمل نموذج افتراضى للتمثال والتاج والقاعدة معاً مما أتاح للجمهور والدارسين رؤية التمثال كاملاً على الرغم من وجود أجزاءه فى أماكن متفرقة(شكل ٢٢).

– وتجدر الإشارة فى نهاية البحث على أن أهم استنتاج هو أن الطرق البسيطة المستخدمة فى أعمال التوثيق بالمساحة التصويرية (الفوتوجرامترى) لموقع الفنار المغمور اثبتت فاعليتها ونجاحها فى الحصول على نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد، الأمر الذى يمكن لاى باحث فى استخدام هذه الطرق فى توثيق اى موقع أثرى مغمور اعتمادا على المهارات الذاتية. علما بأن اعمال التوثيق مستمرة فى مواسم العمل المختلفة والتى يتم خلالها تحسين الأداء فى الحصول على البيانات وتوقيع الأحداثيات الجغرافية بدقة قبل البدء فى التصوير وسيتم نشر النتائج فى المستقبل عند الأنتهاء من النموذج الرقمى ثلاثى الأبعاد للموقع بالكامل علماً بأن الأعمال توقفت فى أعوام ٢٠١٧م، وبداية عام ٢٠١٨م, إلا أنه منذ عام ٢٠١٩م وعام ٢٠٢٠م تم توثيق أجزاء آخرى فى جنوب وشمال شرق الموقع لاستكمال الأجزاء المتبقية ،, حيث تم تسجيل ما يقرب من ٧٠% من الموقع منذ عام ٢٠١٤م حتى الآن.

شكر وتقدير:

نتوجه بالشكر لمركز الدراسات السكندرية (CEALEX - USR3134) برئاسة الدكتور/ جان إيف أمبرور Jean Yves Empereur، ومارى دومنيك نينا Dominique Nenna Marie مديرى المركز وكذلك توجه بالشكر إلى إيزابيل هيرى Isabelle Hairy مسئولة الموقع ودراسة بقايا فنار الإسكندرية القديم لإعادة بنائه التصويرى وذلك لدعمنا خلال هذا المشروع والترحيب بنا كجزء من فريق البحث.

Bibliography:

– ABDELAZIZ M., ELSAYED M., *Underwater photogrammetry digital surface model (dsm) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbey fort in Alexandria,* Egypt, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XLII-2/W10, 2019 Underwater 3D Recording and Modelling ,A Tool for Modern Applications and CH Recording, Limassol, 2–3 May 2019, Cyprus, 2, 3, 4, 5, 6.

– CORTEGGIANI, J. P.: « Les Aegyptiaca de la fouille sous-marine de Qaïtbay», *Bulletin de la Société française d'égyptologie A.* 1998, Nº 142, 25-40.

– DRAP, P.: "Underwater Photogrammetry for Archaeology" , In: *special applications of photogrammetry*, 2012, 111-136

– ELGINDY, A., *Current and their variability in Eastern Harbour and Qaitbey Areas*, Underwater Archaeology and Coastal Management: Focus on Alexandria, Coastal Management, Sourcebooks 2, UNESCO, Paris, 2000, 144-146.

– ELSAYED, M.: «L'archéologie sous-marine en Egypte. Rappel critique de son histoire et propositions pour une politique de gestion des vestiges immergés en Egypte, à la lumière des autres expériences en Méditerranée», (*PHD*, University Lumière Lyon II, France 2012) 2012, 89.

– ELSAYED, M.: "Unterwasser archäologie in Ägypten ", In: *Archäologie im Mittelmeer, Darmastadt*/Mainz, 2013, 131.

– EMPEREUR J. Y., *A1exandria rediscovered*. London, 1998, 62-87.

– EMPEREUR J.Y., GRIMAL, N., .: " Les fouilles Sous-marines du Phare d'Alexandrie " ,In: *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 141e année*, Nº 3, Paris, 1997, 693-713.

– EMPEREUR J. Y.: «Alexandrie (Egypte) », *Bulletin de correspondance hellénique*, Vol 121, livraison 2, Athenes (Grece) 1997, 833-835.

– EMPEREUR,J. Y.: «Alexandrie (Egypte) » , *Bulletin de correspondance hellénique*, Vol 119, livraison 2, Athenes (Grece) 1995. 756-757

– EMPEREUR, J. Y., *Underwater archaeological investigations of the ancient pharos*, Underwater Archaeology and Coastal Management: Focus on Alexandria. Coastal Management, Sourcebooks 2, UNESCO, Paris, 2000, 54-59.

– EMPEREUR, J.Y., *Le Phare d'Alexandrie, La merveille retrouvée* Découvertes Gallimard, Nº. 352., Paris 2004, 40, 41,42 et 59-80.

– EMPEREUR, J.Y.: « Alexandrie (Egypte) » , *Bulletin de correspondance hellénique*,Vol 120, livraison 2, Athenes (Grece) 1996. 963-970.

– FROST, H .: «The Pharos Site, Alexandria», Egypt, *International Journal of Nautical Archaeology 4, 1975,* 126-130.

– HAIRY, I., *Pharos, l'Égypte et Platon*, dans F.H. MASSA-Pairault et G. Sauron (éd.), Images et modernité hellénistiques : appropriation et représentation du monde d'Alexandre à César, Rome : EFR, 2007, 61-89.

– HAIRY, I., ELSAYED, M., ABDEL AZIZ, M., SOUBIAS, PH., .: «Le Phare. Un site immerge», In M.- D. Nenna (ed.), Alexandrie grecque, romaine et égyptienne, Dossiers d'Archéologie 374, 2016, 24.

– HAIRY, I., *Site sous-marin de Qaitbay, méthodes de fouilles et dernières découvertes*, Société archéologique d'Alexandrie - bulletin Nº 48, Alexandria 2009, 113-132

– MORCUS, S., *Early discoveries of submarine archaeological sites in Alexandria*, Underwater Archaeology and Coastal Management: Focus on Alexandria. Coastal Management, Sourcebooks 2, UNESCO, Paris,2000, 40-41.

– REUTER, P., MELLADO, N., GRANIER, X., HAIRY, I, VERGNIEUX, R., COUTURE, N., *Semi-automatic 3D acquisition and reassembly of cultural heritage*: The SeARCH project, ERCIM News, special theme: Cultural Heritage, 86, July 2011.

– RIAD, H., *récentes découvertes archéologiques en Alexandrie*, BSAA, Alexandria, 1964, 2-3

– VAN DAMME, T., *Computer vision photogrammetry for underwater archaeological site recording in a Low-Visibility environment*, the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information science, vol Xl-5/w5, 2015 underwater 3d recording and modeling, 16-17 april, Piano di Sorrento, Italy. 2015, 232.

WEB SITES:

– Agisoft Metashape user manual professional edition, version 1.5,
– https://www.agisoft.com/downloads/installer/ (accessed 07/03/2019).
– http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-231-2015
– http://dx.doi.org/10.5772/33999
– https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-1-2019

ملحق الصور:

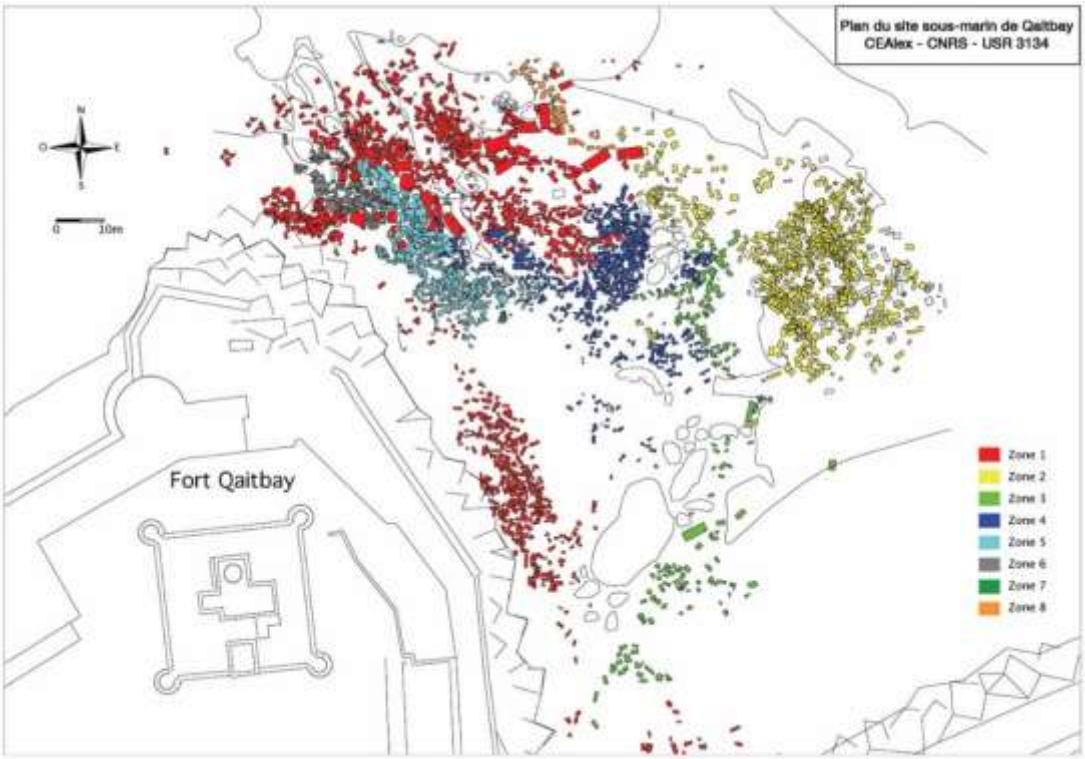
(شكل١) خريطة رسمها السيد/كامل ابو السعادات بخط يده وحدد عليها كل الشواهد الأثرية التى شاهدها بموقع الفنار القديم والميناء الشرقى عام ١٩٦١م نقلا عن: MORCUS S , 2000, 41

(شكل ٢) تمثال ضخم لملكة بطلمية تمثل الألهة ايزيس انتشل من موقع الفنار عام١٩٦٢ م

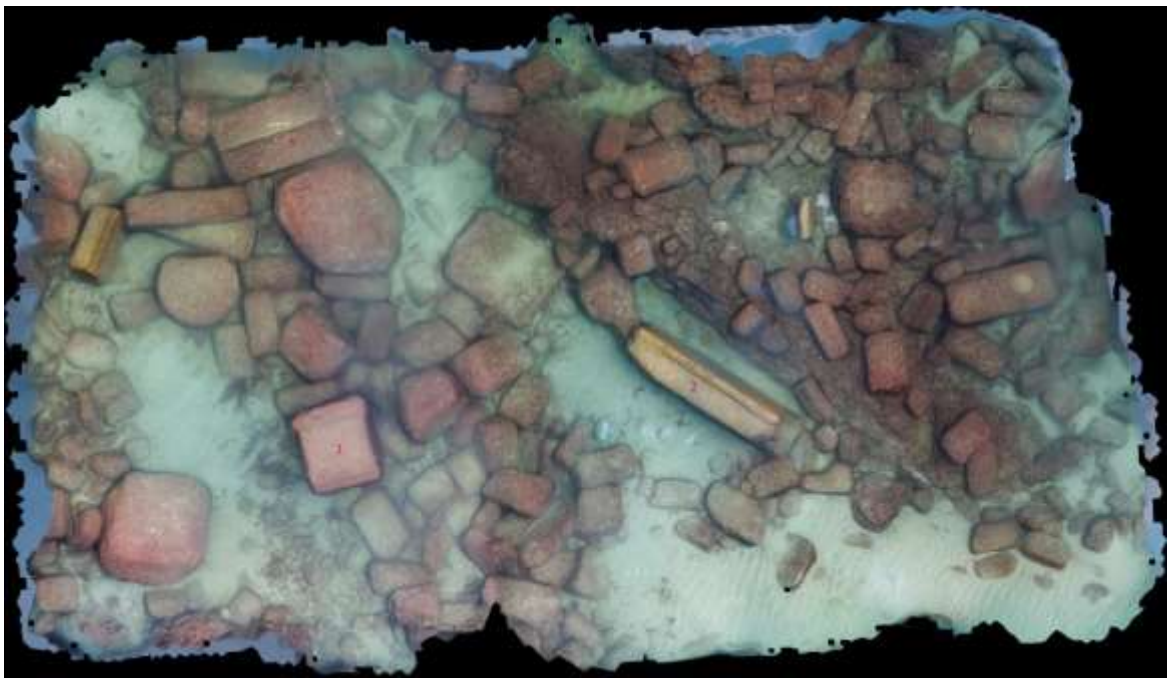
(تصوير ومعالجة– د. محمد السيد، ٢٠١٠م)

(شكل ٣) تمثال الملك بطلميوس الثانى المنتشل من موقع الفنار القديم بجوار قلعة قايتباى عام ١٩٩٥م والمعروض حاليا امام مكتبة الأسكندرية (تصوير د. محمد السيد ٢٠١٨م)

(شكل ٤) المتحف المفتوح للآثار المنتشلة من موقع فنار الأسكندرية القديم بجوار قلعة قايتباى عام ١٩٩٥م والمعروضة حاليا بمنطقة المسرح الرومانى بكوم الدكة (تصوير د. محمد السيد ٢٠٠٨م)



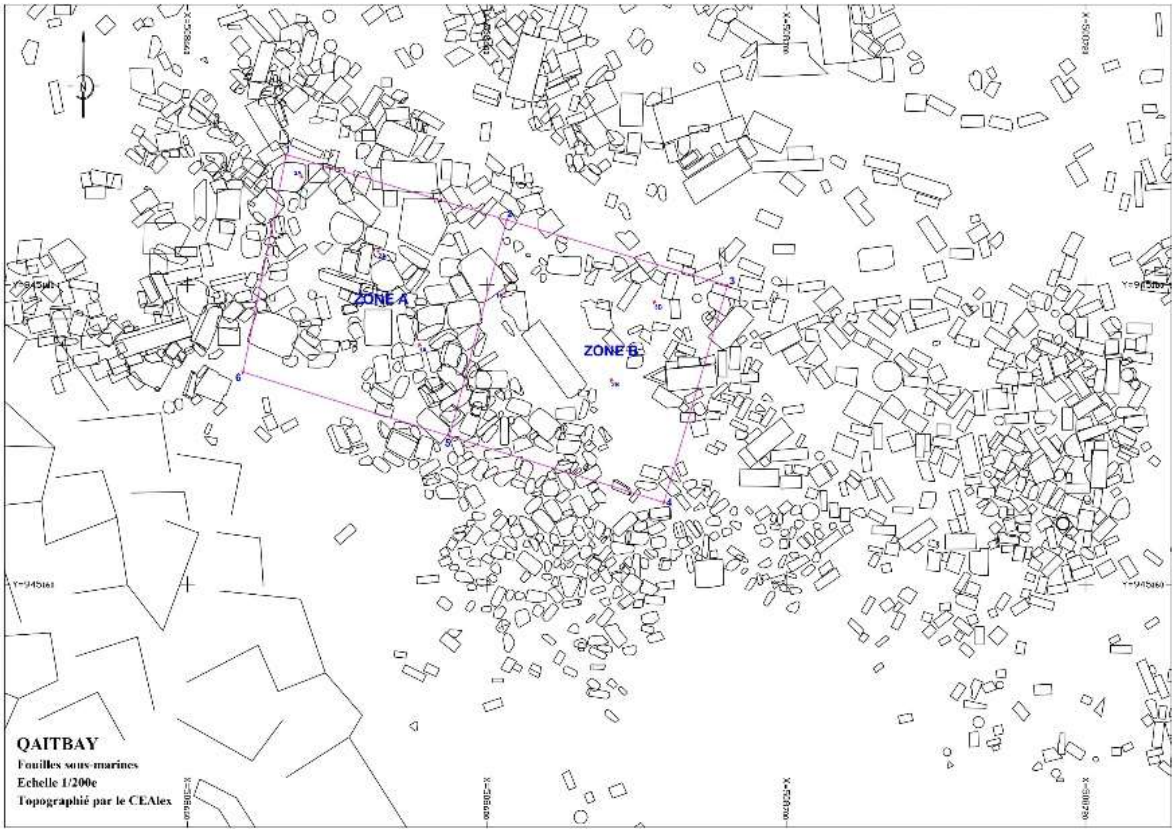
(شكل ٥) خريطة لموقع فنار الأسكندرية يوضح عليها مناطق العمل (عن مركز الدراسات السكندرية CEAlex)



(شكل ٦) صورة ثلاثية الأبعاد (أورتوغرافية) يلاحظ فيها شكل القاع المتباين فى تضاريسه والكتل الضخمة التى يزيد وزنها عن ٤٠ طن ومنها ارقام على الصورة: ١. قاعدة تمثال، ٢. عتب الباب الضخم، ٣. عضد الباب

(تصوير د./ محمد السيد ومعالجة –محمد عبد العزيز ٢٠١٤م)

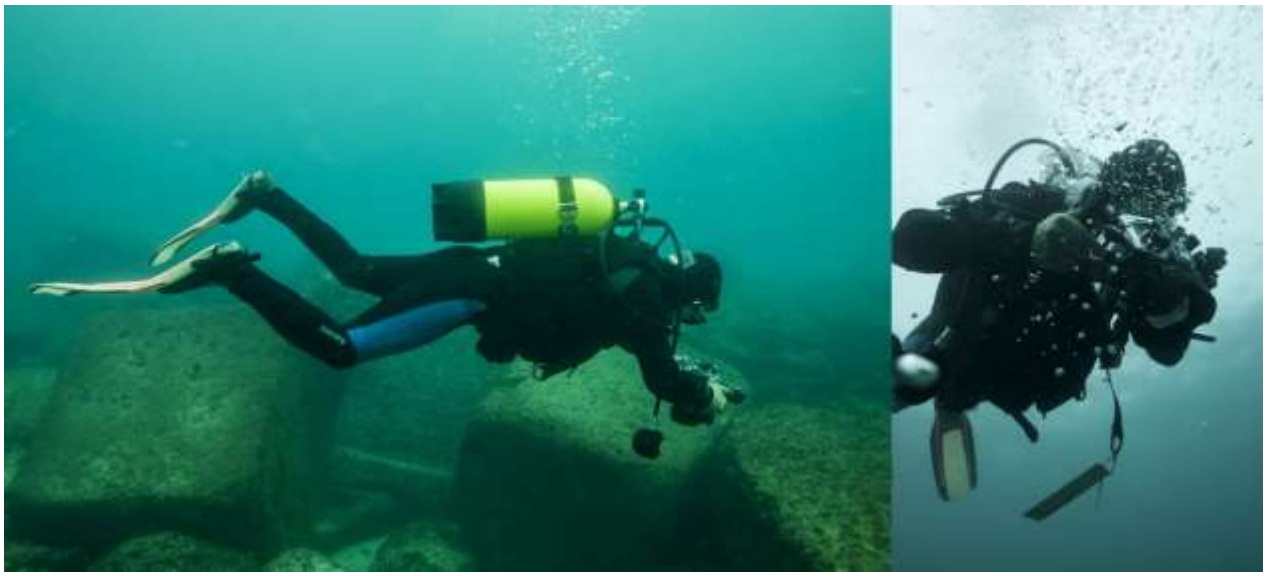
(شكل٧) المعدات والأدوات المستخدمة فى التصوير المساحى (تصوير د.محمد السيد)



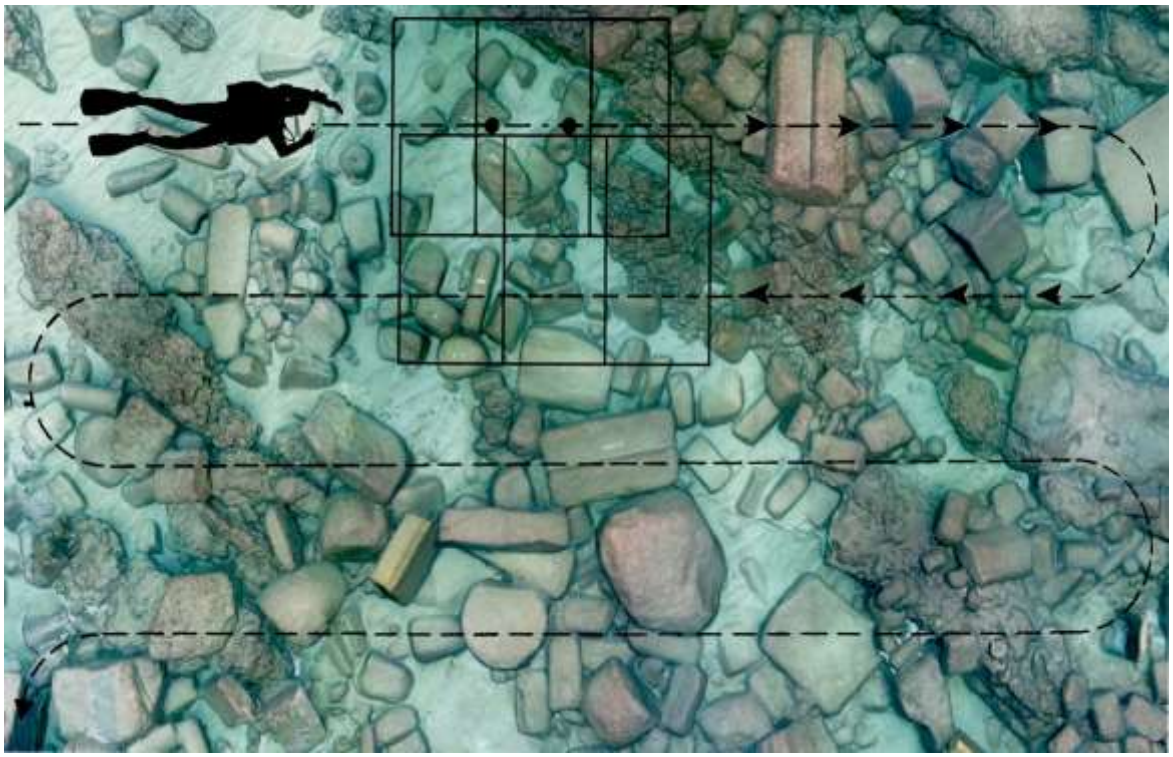
(شكل٨) خريطة توضح اول موقع يتم تصويره فى عام ٢٠١٤م وقد تم تقسيمه الى المنطقة **A** والمنطقة **B**

(عن مركز الدراسات السكندرية CEAlex)

(شكل ٩) موقع العمل شرق قلعة قايتباى وطرق العمل بتثبيت الحبال على اسياخ حديدية وتحديد ممرات عرضها ١٥٠سم
(تصوير: د.محمدالسيد ،أشرف حسين –مركز الدراسات ٢٠١٤م)

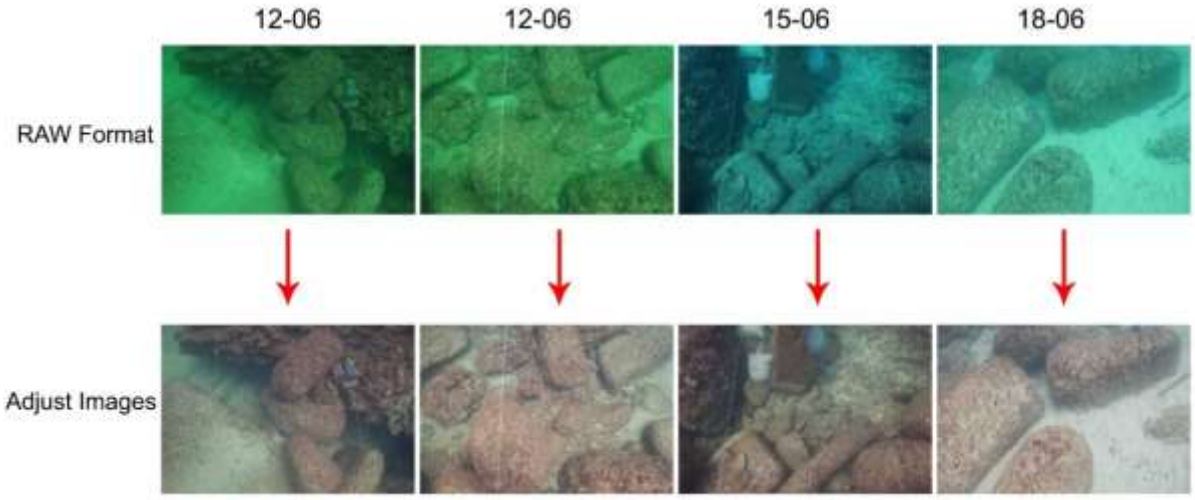


(شكل ١٠) د. محمد السيد اثناء تصوير الموقع مساحيا تحت الماء بأستخدام كاميرا Nikon D700 والتقاط الصور بشكل مستمر ومتتابع باسقاط شبه عامودى (تصوير –فيليب سوبياس Philippe soubias مركز الدراسات السكندرية٢٠١٦م)



(شكل١١) طرق التصوير المساحى التحتمائى توضح التداخل بين الصور فى الذهاب والعودة، ونرى بالصورة التباين فى الأعماق نتيجة لوجود صخور وحجم الكتل الأثرية وتفاوت الأعماق بين ٣م الى ٨م

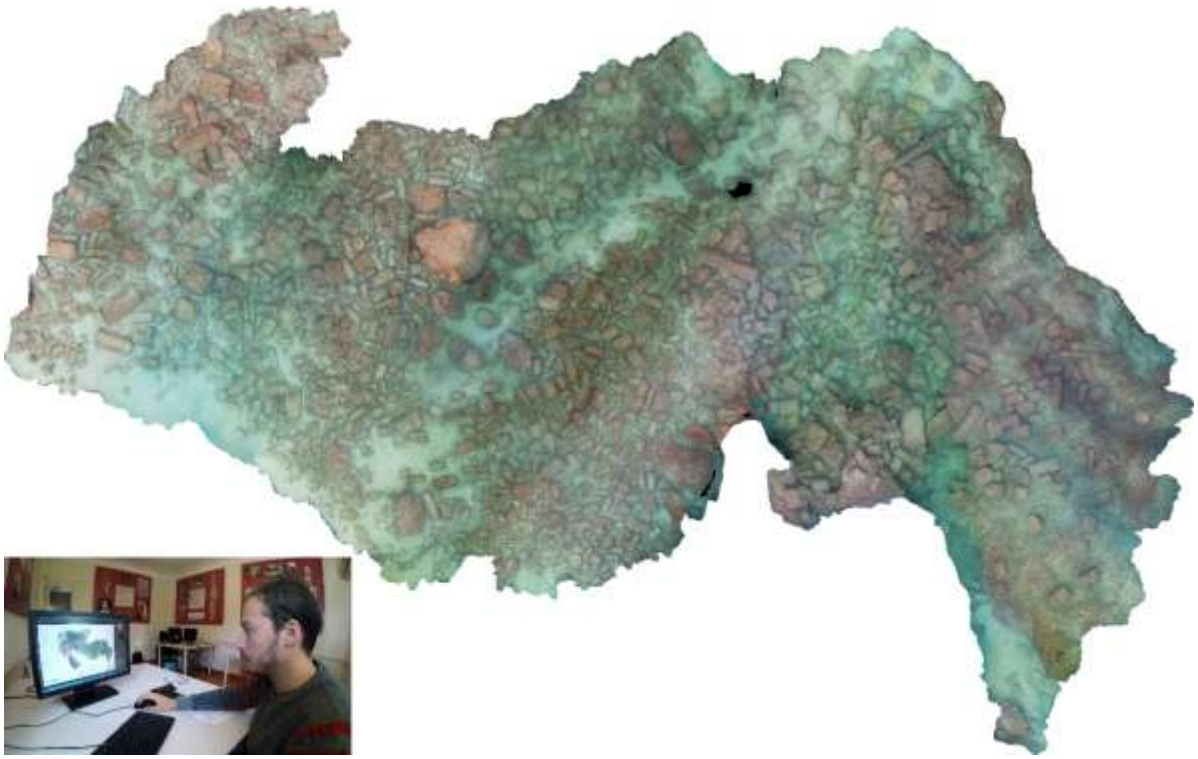
(صورة اورثوغرافية ، معالجة –محمد عبد العزيز وتصوير د. محمد السيد)



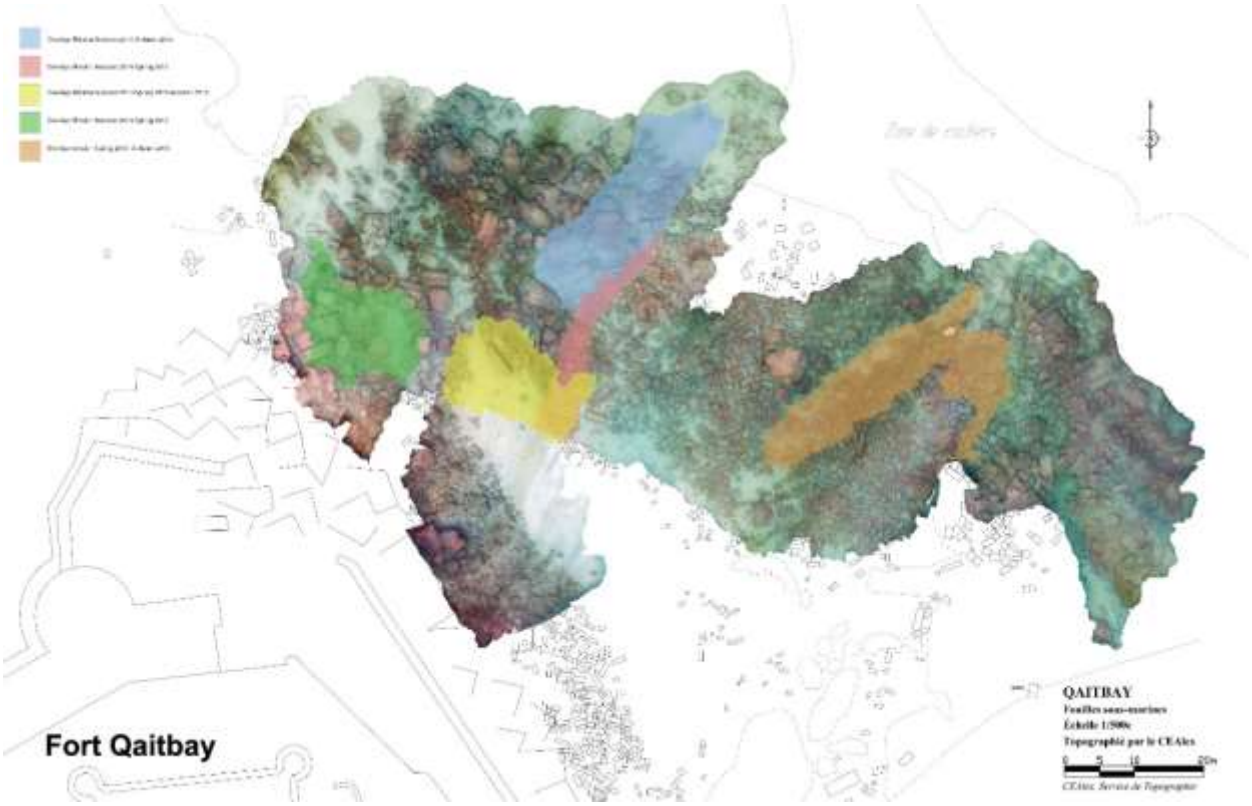
(شكل ١٢) معالجة مسبقة للصور الفوتوغرافية ، حيث كان يسيطر على أغلب الصور اللون الأزرق أو الأخضر أو الأصفر لذا يتم تصحيح الألوان والتباين فى الصورة وإزالة الظلال باستخدام برامج تحسين الصور (معالجة–محمد عبد العزيز ٢٠١٤م)

(شكل ١٣) أول صورة اورثوغرافيةOrtho Photo تمثل جزء من اموقع المغمور لمساحة قدرها ٧٥٠م٢ وقد استخدمت ١٣٢٢ صورة فوتوغرافية للحصول على نموذج ثلاثى الأبعاد .

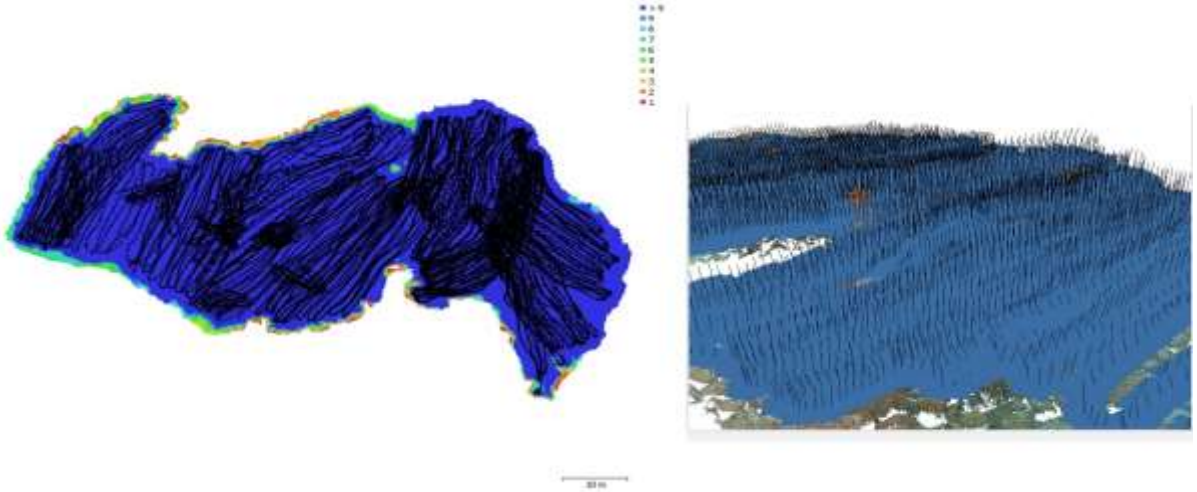
(معالجة– محمد عبد العزيز ، تصوير د. محمد السيد، ٢٠١٤م)



(شكل ١٤) صورة اورثوغرافية Orthophoto مكونة من اثنان وعشرون الف صورة وهى حصيلة الصور التى تم معالجتها خلال مواسم العمل لأعوام ٢٠١٤م، ٢٠١٥م, وقد تم الانتهاء من تغطيةحوالى ٧٢٠٠م٢ من الموقع المغمور حتى عام ٢٠١٦م(معالجة–محمد عبد العزيز، تصوير د. محمد السيد)

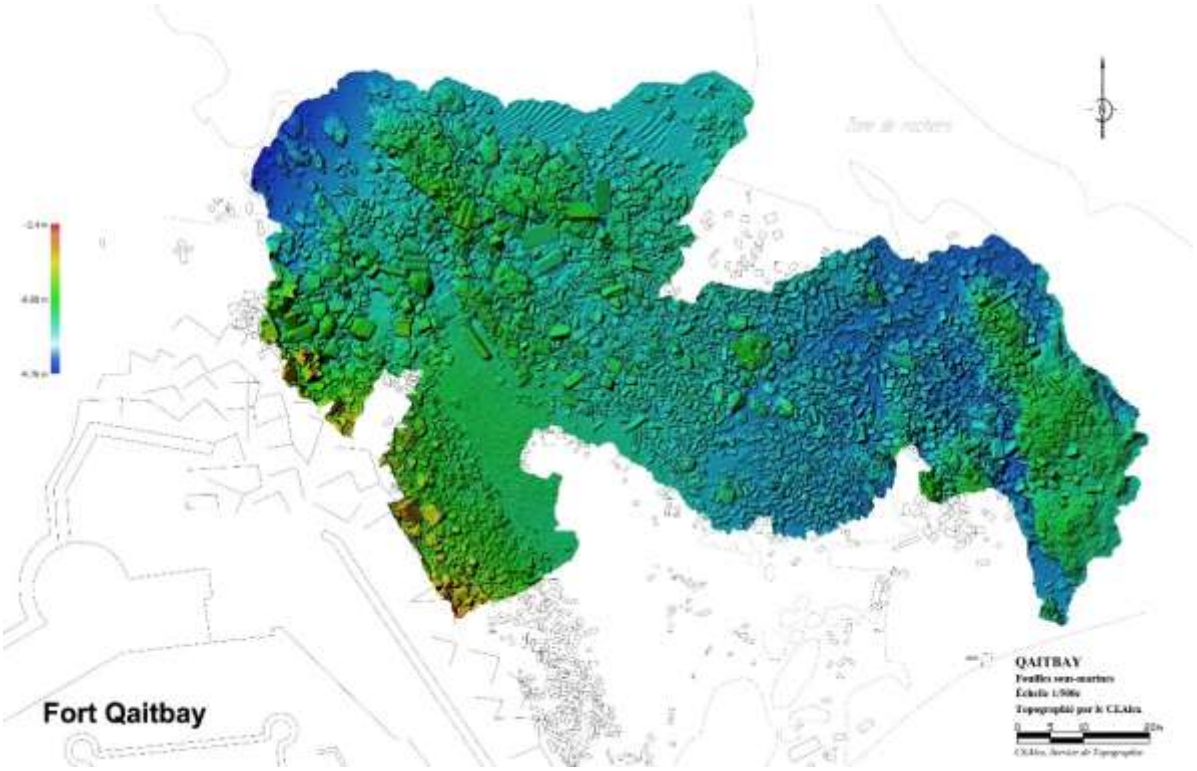


(شكل ١٥) صورة اورثوغرافية Orthophoto مكونة من خمسون الفا ومائة واثنتان وخمسون صورة فوتوغرافية (٥٠١٥٢) تبين التداخل بين صور أجزاء الموقع (منذ عام ٢٠١٤م وحتى عام ٢٠١٦م (معالجة–محمد عبد العزيز)



(شكل ١٦) صورة توضح التداخل بين الصور (الصورة اليمنى) ، والصورة اليسرى توضح مسارات الغواص اثناء التصوير المساحى (معالجة- محمد عبد العزيز)

محمد السيد - محمد عبد العزيز | DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075

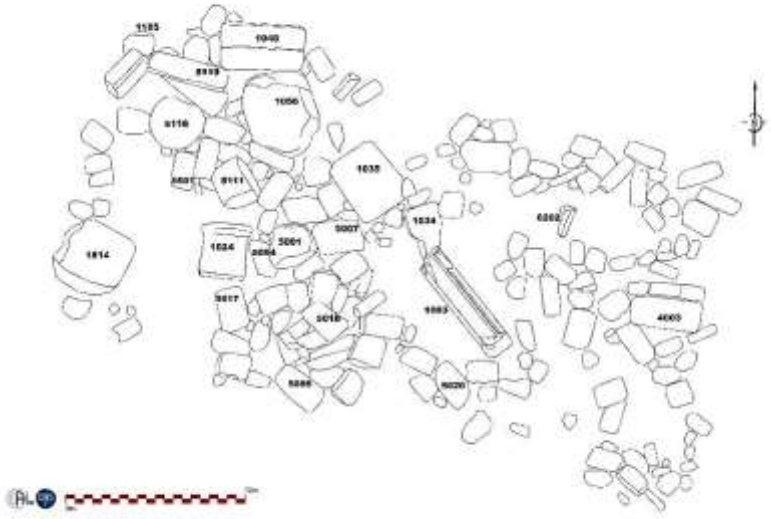


(شكل١٧) نموذج منسوب (ارتفاع) رقمى يمثل ارتفاعات تضاريس سطح القاع

Digital Elevation Model(معالجة–محمد عبدالعزيز)

(شكل ١٨) التصوير التحتمائى الإسقاط الرأسى للحصول على قطاعات فى الموقع

(معالجة– محمد عبد العزيز)



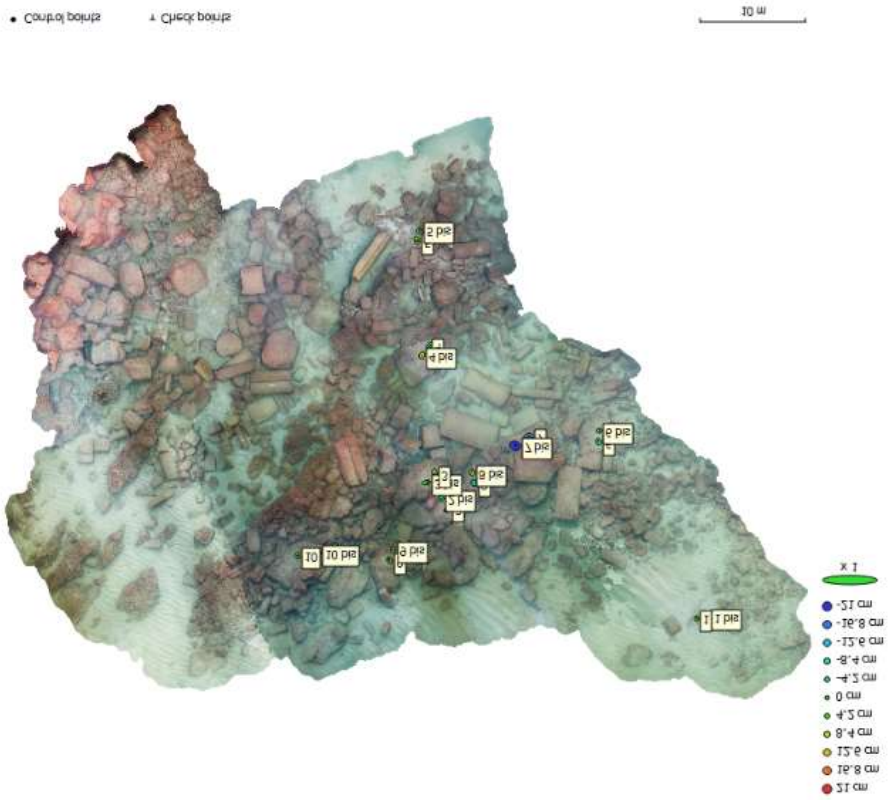
(شكل١٩) الحصول على رسم ثنائى الأبعاد من الصورة الأورثوغرافية على برنامج Autocad كوسيلة سريعة لعمل مسقط أفقى لأى جزء من الموقع (محمد عبد العزيز – معالجة)

(شكل ٢٠) عوامة تطفو فوق سطح البحريثبت فيها مرآة عاكسة (الخاصة لجهاز التوتال ستيشن Total Station)

على عمود حديدى مربوط من أسفله بحبل يتصل فى نهايته فى القاع بأوزان من الرصاص تصل الى عشرون كجم، وذلك للرفع المساحى للأحداثيات

(تصوير فيليب سوبياس Philippe Soubias، د.محمد السيد)

محمد السيد - محمد عبد العزيز | DOI 10.21608/cguaa.2021.60813.1075



(شكل٢١) النقاط الثابتة او الأحداثيات بالموقع والتى يتم دمجها داخل النموذج ثلاثى الأبعاد (معالجة – محمد عبد العزيز)

(شكل ٢٢) نموذج افتراضى للتمثال الضخم والذى تم انتشاله فى عام ١٩٦٢م وهو فى الصورة مكون من ثلاث أجزاء

(جسم التمثال من جزئين بالأضافة الى التاج) تصوير – أشرف حسين / معالجة– محمد عبد العزيز)