

التصوير المساحي الفوتوغرافي التحتمائي (الفوتوجرامترى): نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لدراسة الموقع الأثري المغمور تحت الماء لفنار الإسكندرية القديم بجوار قلعة قايتباي.

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- الإدارة المركزية للآثار الغارقة- وزارة السياحة والآثار

محمد عبد العزيز عبد الحليم محمود

مفتش آثار - منطقة آثار الإسكندرية- 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 المساحي الفوتوغرافي التحتمائي (الفوتوجرامترى) 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 الذي 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 الفرنسي للدراسات السكندرية CEALex بوضع برنامجًا لجمع بيانات باستخدام تقنية المساحة التصويرية (الفوتوجرامترى) لعمل نموذج للقطع الأثرية المكسورة، كالأعمدة وبعض التماثيل، ومحاولة إعادة تجميعها باستخدام الواقع الافتراضي في شكل نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد. ولكن في عام ٢٠١٣م وبداية عام ٢٠١٤م، وبدعم من مؤسسة هونور فروست Honor Frost Foundation، تم تطوير وتحسين الأساليب المستخدمة في التوثيق الفوتوجرامترى التحتمائي للحصول على صورة فوتوغرافية متكاملة للموقع المغمور تحت الماء بجوار قلعة قايتباي بالمجهودات اليدوية البسيطة وذلك باستخدام كاميرا DSLR وبعض المواد والأدوات البسيطة ومنخفضة التكلفة للحصول على نموذج رقمي ثلاثي 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 التحتمائي في مجال الآثار الغارقة ثم كيفية معالجة البيانات من أجل إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للموقع المغمور لفنار الإسكندرية القديم؛ حيث ان هذا التوثيق يعد مرحلة مهمة ومتقدمة في دراسة الموقع الأثري. حتى عام ٢٠١٦م قد تم تصوير حوالي ٧٢٠٠ متر مربع فقط من مساحة الموقع المغمور، والذي يتجاوز مساحته أكثر من ١٣٠٠٠ متر مربع

الكلمات الدالة: التصوير المساحي الفوتوغرافي التحتمائي (الفوتوجرامترى)؛ موقع فنار الإسكندرية القديم؛ نموذج رقمي ثلاثي 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 التي تم تطبيقها لأول مرة في مصر على الموقع المعروف بأسم فنار الإسكندرية القديم، والذي كان يقع في أقصى شرق جزيرة فاروس قديماً والموجود حالياً إلى الشرق من قلعة قايتباي على عمق يتراوح بين ٢ إلى ٩ أمتار.

في عام ٢٠٠٩-٢٠١٠م أطلق مركز الدراسات السكندرية برنامجاً لتوثيق بعض القطع الأثرية المهشمة وإعادة تجميعها افتراضياً باستخدام تقنية التصوير المساحي الفوتوغرافي ثلاثي الأبعاد. ولكن في عام ٢٠١٣-٢٠١٤م وبدعم من مؤسسة هونور فروست Honor Frost foundation لمشروع إعادة البناء التصويري لفنار اسكندرية القديم ليضم توثيق الموقع المغمور تحت الماء بتقنية التصوير المساحي (الفوتوجرامترى Photogrammetry) بغرض الدراسة وكذلك عمل نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للموقع، حيث يتعدى مساحة أكثر من ١٣,٠٠٠م^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 المساحي تحت الماء، وبأقل الإمكانيات المتاحة حيث انه باثبات فاعلية هذه الطرق يمكن استخدامها في توثيق مواقع أثرية غارقة اخرى وسيكون لذلك اثرا كبيرا في عمل دراسة لإدارة المواقع الأثرية الغارقة في مصر والأستفادة منها مستقبلياً، أما السيد/ محمد عبد العزيز فكان مسؤولاً عن معالجة البيانات (معالجة الصور الفوتوغرافية) وعمل نموذج ثلاثي الأبعاد للموقع حتى يمكن دراسته من الناحية الأثرية، وقد استخدم في البداية الكمبيوتر الشخصي الخاص به

ذو الإمكانيات المحدودة، وعلى الرغم من ذلك حققت النتيجة المبدئية للأعمال ليس فقط نجاحاً للطرق المستخدمة في التصوير التحتمائي بل أيضاً في معالجة البيانات والتي أدت إلى بناء نموذج ثلاثي الأبعاد، وكان المشروع بأكمله تحت إشراف وتمويل مركز الدراسات السكندرية CEALEX-Centre D'études Alexandrine. وسنستعرض في الصفحات القادمة الوسائل المستخدمة في التصوير المساحي التحتمائي وطرق معالجتها للحصول على نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لسطح الموقع المعروف بفنار الإسكندرية القديم^١ والذي يحتوي على بعض الأجزاء القديمة للفنار حيث كان يعد قديماً أحد عجائب الدنيا السبع ذلك بالإضافة إلى الآثار التي القيت بالموقع بغرض حماية مدينة الإسكندرية من الحملات الصليبية في العصور الوسطى.

تاريخ الحفائر التحتمائية بموقع فنار الإسكندرية القديم:

كانت الحفائر العلمية التي أجراها مركز الدراسات السكندرية CEAlex-Centre d'Etudes Alexandrine منذ عام ١٩٩٤م برئاسة الدكتور/ جان إيف أمبرور Jean Yves Empeur تعد أول توثيق أثري تحتمائي في مصر حيث انه يحتوي على أكثر من ٣٥٠٠ قطعة أثرية^٢، فهو يعد أكبر موقع أثري مغمور في العالم من حيث عدد القطع الأثرية التي يحتويها. وكان الغرض الأساسي 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 قايتباي من الجهة الشرقية قد تم اكتشافه في الستينيات من القرن الماضي تحديداً عام ١٩٦٠م على يد أحد هواة الغوص والصيد المدعو/ كامل أبو السعادات ويمحض الصدفة أثناء قيامه بالغوص بجوار القلعة. وقد سجل كامل أبو السعادات مشاهداته على خريطة رسمها بخط يده وحدد عليها كل الشواهد الأثرية التي شاهدها آنذاك (شكل ١) والتي كان من أهمها تمثال ضخم لسيدة من الجرانيت الوردي (شكل ٢) ، 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، وفي عام ١٩٩١م نقل إلى

^١ فنار الإسكندرية القديم : كان يعد من عجائب الدنيا السبع بدأ في انشاؤه بطلميوس الأول (٣٠٥-٢٨٣ ق.م.) واستكمل البناء في عهد بطلميوس الثاني (٢٨٣-٢٤٦ ق.م.) أي ان البناء استغرق حوالي خمسة عشر عاماً، وظل يعمل طوال ١٤ قرن حتى دمر عن آخره في القرن الرابع عشر الميلادي إثر زلزال عنيف، ثم قام السلطان الأشرف سيف الدين قايتباي ببناء قلعته في موقع الفنار القديم في عام ١٤٧٧م.

^٢ 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, N^o. 3, Paris, 1997, 693-713.

^٣ EMPEREUR, J. Y., *Le Phare d'Alexandrie, La merveille retrouvée*, Découvertes Gallimard, N^o. 352., Paris 2004, 40, 41,42 et 59-80.

^٤ RIAD, H., *récentes découvertes archéologiques en Alexandrie*, BSAA, Alexandria, 1964, 2-3

المتحف البحري° بالإسكندرية وهو محفوظ به حتى الآن بحديقة المتحف^٦. وقد ذاع صيت هذا الاكتشاف في أنحاء العالم ، وعليه أرسلت منظمة اليونسكو عام ١٩٦٨م السيدة/هونور فروست^٧ Honor Frost ، أحد رواد الآثار الغارقة، ممثلة لليونسكو، لعمل تقرير علمي عن الموقع الغارق والذي يحتوى على بقايا من فنار الإسكندرية القديم الذي دمر عن آخره في القرن الرابع عشر إثر زلزال وبني في موقعه قلعة قايتباي في القرن الخامس عشر. فقامت بإعداد تقرير نشر في عام ١٩٧٥م وقد سجلت تاج تمثال للمعبودة أيزيس تخص تمثال السيدة الذي أنتشل عام ١٩٦٢م، وقاعدة تمثال ضخمة ربما تخص نفس التمثال الذي انتشل في 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. وفي عام ١٩٩٤م طلب المجلس الأعلى للآثار من المركز الفرنسي للدراسات السكندرية برئاسة جان إيف أمبرور Jean Yves Empeur بعمل حفائر إنقاذ بالموقع لتحديد بعض القطع الأثرية الهامة لانتشالها^{١٠}. إثر إلقاء بعض الكتل الخرسانية على الموقع الأثري بغرض حماية موقع قلعة قايتباي 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 الانضمام 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 التحتائى^{١١} وكذلك انتشال بعض الآثار من الموقع وترميمها، وقد بدأ المشروع عام ١٩٩٥م والذي أسفر عن تسجيل أكثر من ١٥٠٠ قطعة أثرية تحت الماء وانتشال ٣٥ قطعه أثرية تم نقلها إلى معمل الترميم بالمسرح الروماني بكم الدكة^{١٢}. وبعد ترميم الآثار المنتشلة وأهمها تمثال ضخم للملك بطليموس الثاني (شكل ٣) وهو معروض حالياً أمام مكتبة الإسكندرية، وأعمدة بردى، تماثيل لأبى الهول، وبعض المسلات الخاصة بالملك سبتي الأول من الجرانيت،

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

⁶ EMPEREUR J. Y., *Alexandria 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, N° 2, Athenes, Grece, 1995, 756-757

¹¹ EMPEREUR, J.Y.: «Alexandrie (Egypte)», *Bulletin de correspondance hellénique* 120, N° 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 سيتي الأول^{١٣}، تم عرض هذه القطع الأثرية (شكل ٤) بالمرح الروماني عام ١٩٩٦م إثر زيارة الرئيس الفرنسي جاك شيراك^{١٤}. واعدت تنظيم هذه القطع مرة أخرى عام ٢٠٠٥ لتعريف أكبر عدد من الجمهور بالآثار المنتشرة من هذا الموقع الهام، وما زالت أعمال الحفائر مستمرة حتى الآن وقد أسفرت عن تسجيل أكثر من ٣٠٠٠ قطعة أثرية مغمورة تحت الماء حتى عام ٢٠٠٨م (شكل ٥) ومن بين أهم الأكتشافات، بعض الكتل من الجرانيت الوردي التي يزيد وزنها عن ٧٥ طن والتي 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 (شكل ٦) والذي كان يعد من عجائب الدنيا السبع^{١٥} وفي عام ١٩٩٥م تم تسجيل أكثر من ١٥٠٠ قطعة أثرية على خريطة الموقع باستخدام جهاز الثيودوليت Theodolite والطرق التقليدية في الرفع المساحي 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 في التوثيق كان من الصعوبة أن يتم عمل حصر لكل القطع الأثرية الموجودة بالموقع وكذلك أيضاً إعادة تجميعها مرة أخرى، ولكن مع تطور وسائل التصوير الفوتوغرافي الرقمي أطلق مركز الدراسات السكندرية عام ٢٠٠٩ - ٢٠١٠م برنامجاً لتوثيق بعض التماثيل المكسورة بتقنية التصوير الفوتوجرامترى وذلك للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد لإعادة تجميعها افتراضياً خاصة وأن بعض التماثيل قد تم بالفعل انتشالها ولا يزال هناك أجزاء خاصة بها تحت الماء ومن الصعب انتشالها حيث يزيد وزنها عن عشرين طناً. ولكن باستخدام المساحة التصويرية (الفوتوجرامترى) فيمكن إعادة ترميمها افتراضياً باستخدام الكمبيوتر وبمساعدة بعض البرامج الخاصة بهذا الغرض، ومن هنا قام المركز القومي الفرنسي للبحوث ANR- Agence Nationale de Recherch بتنفيذ هذا البرنامج والذي عرف بأسم ANR-SEARCH وتطبيق هذه الطرق الحديثة، وكانت النتائج مرضية ولكنها أثبتت نجاح عمل نماذج ثلاثية الأبعاد واستخدامها افتراضياً في إعادة بناء بعض التماثيل افتراضياً^{١٧}. ويتطور تكنولوجيا التصوير الفوتوغرافي الرقمي وبدعم من مؤسسة هونور فروست لمشروع المركز الفرنسي CE Alex في عام ٢٠١٣م تم تطبيق بعض الأساليب الجديدة قليلة التكاليف في 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 Qaitbay », *Bulletin de la Société française d'égyptologie* A. 1998, N° 142, 25-40.

¹⁴ EMPEREUR J. Y. : «Alexandrie (Egypte) » , *Bulletin de correspondance hellénique* 121, N°. 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* N°48, 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.

وذلك للحصول على نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لسطح الموقع المغمور تحت الماء والذي يتجاوز مساحته أكثر من ١٣,٠٠٠م^٢ (ثلاثة عشر الف متر مربع)، هذا بالإضافة إلى تصوير بعض القطع الأثرية التي تحتوى على نقوش أو تفاصيل معمارية لدراستها بهدف محاولة إعادة بناء الشكل التصويرى لفنار الإسكندرية القديم.

وفيما يلي سيتم عرض الطرق التي استخدمت في تصوير الموقع مساحيا تحت الماء والتي قام بتطويرها الباحث د./ محمد السيد، علاوة على الطرق المستخدمة في معالجة البيانات للحصول على نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لسطح الموقع المغمور والتي قام بها الباحث /محمد عبدالعزيز وقد كان التصوير الفوتوغرافي المساحي من أهم الوسائل التي استخدمتها البعثة حديثاً لتوثيق موقع فنار الإسكندرية القديم التحتمائي 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 التحتمائي في مصر.

٣. طرق وتقنيات الحصول على البيانات - Data acquisition:

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

إن الموقع الأثري 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 في تعريفه هو التدمير الممنهج للموقع وذلك لدراسة ما تركه الإنسان من العصور السابقة، ولذا فيجب تسجيل كل ما يتم اكتشافه بدقة لأن الشواهد الأثرية إذا وجدت ولم تسجل بوعي فقدت إلى الأبد ولا يمكن استرجاعها مرة أخرى، لذلك فإن التخطيط الجيد هو أولى الخطوات في 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 التي وجدت عليها، فالهدف الرئيسى من الحفائر العلمية الممنهجة هو أن يكون لدينا مادة يمكن وضعها كما هي في نفس الظروف التي 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 فإن 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 فانار الإسكندرية المغمور حيث أن أهم أعمال التسجيل والتوثيق التى أتبعت فى الموقع على مدار عشرون عاماً كانت كالاتى:

- 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 زوايا 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 (شكل ٥).

ولكن هذه الطرق كانت الطرق التقليدية المتبعة فى توثيق الموقع^{٢٠} ورفع 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 ، وبعد 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 الإشارة أعلاه، بل أيضاً بسبب قاع الموقع الصخرى المتباين فى العمق وفى التضاريس، فتفاوت أعماق الموقع بدايةً من عمق ٢م فى الناحية الغربية إلى عمق ٩م فى الناحية الشرقية، وهذا التفاوت دفعنا إلى استبعاد المعدات الثقيلة، مثل القضان المعدنية الثقيلة، التى 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 التحتمائى واختلاف تضاريس القاع، ومن هذه المعدات والأدوات (شكل ٧) التى تم الاستعانة بها:

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

- أسياخ 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 ٥٠م.
- بعض العوامات الصغيرة.
- بعض العلامات المرقمة والمصنوعة من البلاستيك المرن لوضعها على القضبان الحديدية. او كنقطة احداثية لرفعها مساحياً.
- بوصلة لتحديد الإتجاهات تحت الماء.
- كمبيوتر غوص لتحديد الأعماق.
- خيوط حريرية لتحديد كل موقع يتم تصويره.

٣.٢. الحصول على البيانات Data Acquisition:

في عام ٢٠١٤م وقبل البدء في التصوير المساحي كان يجب أولاً تحديد الموقع المراد تصويره حيث قام فريق العمل المكون من أكثر من عشرة أفراد بتجهيز موقع التصوير الذي تم تحديده على بعد حوالي عشرة أمتار من الرصيف أو حاجز الأمواج في إتجاه الشمال الشرقي، حيث وقع الاختيار على منطقة تبلغ مساحتها ٤٥٠ متر مربع ٣٠م طول X ١٥ عرض، حيث تقع على عمق من ٣م إلى ٥م وقد تم تقسيمها إلى جزئين متساويين، المنطقة A في الشمال والمنطقة B (شكل ٨) في الجنوب^{٢١} حتى يمكن الربط بينهم عند معالجة البيانات، نظراً لأن التصوير لا يتم في يوم واحد بل يستمر لعدة ايام.

وتكمن أهمية هذه المنطقة فيما تحتويه من الكتل الأثرية ذات الأحجام الضخمة والتي 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 في تصويرها بسبب التباين في مستويات القاع وكذلك حجم الكتل الأثرية مثل قاعدة التمثال (شكل ٦) الذي تم انتشاله في عام ١٩٦٢م، وهذه القاعدة تتراوح أبعادها ٢٦٠سم/٢٠٥سم/٤٦سم، وتزن ما يقرب من ٤٠ طن، وكذلك عتب الباب الرئيسي للفنار والذي يبلغ طوله حوالي ٥م وعرضه حوالي ٢م ووزنه أكثر من ٤٣ طن (شكل ٦)، وقد تم اختيار هذه المنطقة لتكون قاعدة رئيسية للبداية في التصوير للموقع ليتم ربط باقي الموقع بها في الشرق والغرب والشمال والجنوب على مدار المواسم القادمة. كما تم تقسيم المنطقتين A و B إلى ممرات عرضها حوالي ١٥٠سم على طول حوالي ٣٠م وطول هذه الممرات حوالي ١٥م، ويمكن أن نطلق عليها أسم حارات تم تحديدها باستخدام أسياخ حديدية مربوط بها حبال حريرية لتحديد كل حارة على حدى (شكل 9)، 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 في خط مستقيم مع بعضهما البعض وكذلك لتسهيل العمل في أى ظروف جوية وفي ظل الرؤية الضعيفة تحت الماء، ولكن بعد إجراء هذه التجربة في هذا الموقع باستخدام تلك الأدوات البسيطة وجد أنها تستغرق أكثر من عشرة أيام في تحضير وتجهيز الموقع للتصوير لمساحة قدرها ٤٥٠م^٢ لذلك تم بعدها تقليل الأدوات والمواد المستخدمة في تجهيز الموقع المراد تصويره في المواسم التالية عامي ٢٠١٥م، ٢٠١٦م وبصفة خاصة الاستغناء عن تثبيت أسياخ حديد وربط أحبال بها، حتى نتمكن من العمل بشكل أسرع مع التزام الدقة في التصوير، وقد أثبتت هذه الطرق المبدئية نجاحها في عام ٢٠١٤م في الحصول على البيانات المطلوبة حيث تم تصوير ما يقرب من ٧٥٠ متر مربع فكانت أول صورة ثلاثية الأبعاد تظهر للموقع في موسم الربيع والتي أظهرت دقة التفاصيل المراد تصويرها وأيضاً استخدامها في دراسة الموقع (شكل ٦).

٣،٣. طرق التصوير : Photography:

أهم الخطوات في التصوير المساحي للحصول على نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للموقع هو التقاط سلسلة متتالية من الصور العالية الجودة والتي تعتمد أساساً على الأثرى الذي 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 المساحي التحوطائي يشبه إلى حد كبير التصوير الجوي لذا يجب الالتزام بأن لا يتجاوز مستوى الارتفاع فوق سطح القاع ثلاثة أمتار في أفضل أوقات الرؤية تحت الماء وأحياناً أخرى في مجال الرؤية المحدودة التي لا تتجاوز ٢ متر فمن الممكن أن يكون مستوى الطيران أو الارتفاع حوالي ٢م أو ١٥٠سم فوق الهدف المراد تصويره. (شكل ١٠)

وقد قام الدكتور/ محمد السيد بوضع خطة شاملة للتصوير التحوطائي، وذلك للحصول على نموذج رقمي لسطح الموقع المغمور من بداية التجهيز للموقع المراد تصويره ومد الحبال والأمتار (شكل ٩) ومقياس الرسم في مساحة لا تتجاوز ٢٠٠م^٢ (٢٠م X ١٠م) وتم استخدام أدوات بسيطة^{٢٢} في التجهيز (شكل ٧). كما تم الاستعانة بكاميرا DSLR - نيكون D 700 بعدسة ثابتة ٢٤م وكانت توضع في وعاء يقوم بعزلها تماماً عن الماء (شكل ١٠)، وقد أتاح استخدام العدسة الثابتة ٢٤م إلى تغطية مساحة واسعة بوضوح كامل خاصة في مجال الرؤية المنخفضة، وأيضاً ضبط الإعدادات اليدوية في 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 في بعض الأحيان بفتحة عدسة F / 7.6 مع سرعة 60/1 وذلك في 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 في أغلب الأحيان، وبالإستعانة بهذه الأدوات البسيطة وتقسيم الموقع إلى مناطق لتصويره بشكل يتداخل مع بعضه البعض .

ولزيادة المساحة المزمع تصويرها مساحياً فقد قام الفريق بتقليل المواد المستخدمة في تحديد الموقع تحت الماء توفيراً للوقت والجهد، فاستخدمت الأمتار ومقاييس الرسم وتم الاستغناء تماماً عن مد الأبحال لتحديد الممرات تحت الماء، واعتمد على البوصلة في تحديد الاتجاه وأيضاً على تقنية أداء الغواص الأثرى الذى يحاول أن يحافظ على السير في خطوط مستقيمة والتقاط الصور بشكل مستمر ومتتابع باسقاط شبه عامودى في الذهاب والعودة على مسافة طولية قدرها عشرون متراً تقريباً، وتبلغ نسبة التداخل بين الصور وبعضها في الأمتداد الطولى من ٦٠ إلى ٧٠%، وفي 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 في خطوط مستقيمة بالتوجه تحت الماء باستخدام البوصلة، ومقاييس الرسم المنتشرة بالموقع وكذلك بالاعتماد على التضاريس وشكل القاع والكتل الأثرية التى تساعد في تحديد الإتجاه تحت الماء والسير بسرعة ثابتة وروعى ان تكون زاوية التقاط الصور قريبة من ٤٥ درجة، وبالتداخل بين الصور في الذهاب والعودة بنسبة ٧٠ إلى ٨٠ % فانه يقلل من حدوث أخطاء عند مطابقة الصور داخل البرنامج، وتكمن الصعوبة في تصوير الموقع في التباين الكبير في المنطقة المراد تصويرها من حيث تفاوت في الأعماق نتيجة لوجود صخور أو نتوءات ونتيجة ايضاً لحجم الكتل الأثرية وتفاوتت الأعماق بين ٣م ، ٨م ، لذا تم أخذ ذلك في الاعتبار للأجزاء التى تم تصويرها في المواسم التالية في عامى ٢٠١٥، ٢٠١٦ . وقد تم تصوير مساحة تزيد عن ٧٢٠٠م^٢ في 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 في 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 (شكل 14)، علماً بأن الموقع لا يزال العمل مستمراً به لحين الانتهاء من النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد للموقع بأكمله.

٤. معالجة البيانات: Data Processing:

لقد كان يراعى دائماً تحرى الدقة في الحصول على البيانات وذلك بعد الانتهاء من تصوير كل جزء تحت الماء نظراً للجهد المبذول في 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 هي معالجة البيانات وتتم أولاً بشكل مبدئي لمعرفة جودة الصور والطرق المتبعة في التصوير، ثم بعد ذلك تتم المعالجة النهائية للحصول على الصورة الثلاثية الأبعاد، وسنتناول في هذا الجزء من المقال كيفية معالجة الصور الفوتوغرافية منذ بداية الأعمال في عام ٢٠١٤م وحتى عام ٢٠١٦م حيث قام الأثري/ محمد عبد العزيز بكل العمليات الخاصة بمعالجة الصور وبأستخدام أقل إمكانيات متاحة.

في بداية المشروع عام ٢٠١٤م كانت تتم عملية معالجة البيانات باستخدام كمبيوتر ذو إمكانيات 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 الإمكانيات 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 في عام ٢٠١٦م، ولمعالجة الصور كانت هناك برامج مسبقة تستخدم في معالجة البيانات فقد كان البرنامج الأساسي يعرف بأسم Agisoft photo scan والمعروف حالياً بأسم Metashape الذي تم استخدامه في معالجة الصور المساحية أو المسح التصويري بغرض بناء نموذج دقيق ثلاثي الأبعاد. وقبل معالجة الصور في برنامج المسح التصويري كان يتم أولاً معالجة مسبقة للصور الفوتوغرافية نفسها حيث أن الصور التي تم التقاطها تحت الماء لم تصور في يوم واحد نظراً للمساحة الكبيرة التي يوجد عليها الموقع، لذا كان الموقع يتم تصويره في أيام متفاوتة وكل يوم يختلف عن الآخر في الرؤية تحت الماء كذلك أيضاً في درجة نقاء الماء وحالة البحر، لذلك كان يسيطر على أغلب الصور اللون الأزرق أو الأخضر أو الأصفر (شكل 12) كما كانت بعض الصور شبه مرئية نظراً لحجب السحب لأضاءة الشمس أثناء عملية التصوير الفوتوغرافي، وأحيانا لضعف الرؤية أو اختلاف الأضاءة في أجزاء مختلفة من الموقع تبعاً لطبوغرافية المكان المزمع تصويره، وكل ذلك يشكل صعوبة في استخدام الصور دون تحسين مسبق أو معالجة مسبقة لذا كان يجب تصحيح الألوان والتباين في الصورة وإزالة الظلال (شكل 12) وذلك بهدف الحصول على المزيد من النقاط المشتركة بين الصور المتداخلة أو بالتحديد يتم تحويل إمتدادها من الأمتداد الأصلي Raw إلى إمتداد JPG حتى يتم قبول هذا الأمتداد الأخير بواسطة المسح التصويري للحصول على صورة ونموذج ثلاثي الأبعاد^{٢٤}.

وفي بداية موسم الربيع عام ٢٠١٤م تم الحصول على اول صورة اورتوغرافية Ortho Photo لمساحة قدرها ٧٥٠م^٢ وقد استخدمت ١٣٢٢ صورة فوتوغرافية للحصول على نموذج ثلاثي 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 الثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج (Metashape):

برنامج Metashape هو تطبيق برنامج ثلاثي الأبعاد تم تطويره بمعرفة الشركة الروسية Agisoft LLC وهو يقوم ببناء أو بإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد بدقة عالية من خلال الصور الفوتوغرافية، ويتم تحويل هذه الصور إلى نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد في 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 الإجراءات في البرنامج وذلك لتحسين النتائج المطلوبة مثل إخفاء صور معينة وحذف النقاط الخاطئة، ويتم أيضاً تشغيل المعايرة التلقائية في البرنامج وذلك من خلال خوارزميات رياضية منذ اللحظة الأولى التي يتم فيها إدخال الصور المتداخلة والغير معايرة إلى البرنامج وبعدها يتتبع البرنامج عدد النقاط التي تنتقل عبر سلسلة الصور حتى التي لم يتم معايرتها سيتم حسابها تلقائياً داخل برنامج المسح التصويري.

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 في الصور المتداخلة وذلك استناداً على الخصائص المكتشفة ومعامل معايرة الكاميرا، وتأتي بعد ذلك الخطوة التالية وهي بناء سحابة كثيفة للنقاط مع مراعاة إمكانيات الكمبيوتر الضئيلة حيث أنه إذا تم معالجة الصور بجودة عالية جداً فإن العمل في معالجة البيانات بهذه الإمكانيات البسيطة سيظل لعدة أسابيع، علاوة على أن البرنامج نفسه من الممكن أن يتعطل بعد ساعات من المعالجة لذلك فإن هناك خاصية في هذا البرنامج لمعالجة هذه المشكلة فهو يقوم بإنتاج لغة برمجة *python* تسمى "split in chunks"، حيث استخدمها الباحث في 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 XI-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 التي يمكن للبرنامج دمجها بعد ذلك مرة أخرى في 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 في نهاية الأمر على نتيجة جيدة من خلال الالتزام الصارم بخطة التصوير وجودة الصور (شكل ١٤).

وعلى سبيل المثال في بداية معالجة البيانات (الصور)، استغرق العمل أكثر من ٣٠ ساعة لإنشاء سحابة نقط كثيفة Dense point cloud، في عام ٢٠١٤م حيث بلغ إجمالي النقط أكثر من ١٥٠ مليون نقطة. والخطوة التالية هي إعداد شبكة mesh بمعنى هندسة النموذج المبنى على أساس سحابة النقاط point cloud.

والمرحلة الأخيرة هي إنشاء نسيج Texture للنموذج من خلال إسقاط مواضع آلة التصوير في داخل النموذج ثلاثي الأبعاد.

٣.٤. منهجية العمل:

كان عدد الصور المستخدم في إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للموقع حتى عام ٢٠١٦م خمسون ألفاً ومائة واثنان وخمسون صورة (٥٠١٥٢) تمثل حصيلة الصور التي تم معالجتها خلال موسم العمل لأعوام ٢٠١٤م، ٢٠١٥م، ٢٠١٦م، وقد تم الانتهاء من تغطية حوالي ٧٢٠٠ متر مربع من الموقع المغمور (شكل ١٤) من المساحة الكلية والتي تزيد عن ١٣،٠٠٠ متر مربع، وهي تعد أكبر مساحة في العالم تم تغطيتها في موقع أثري مغمور تحت الماء وأول موقع أثري مغمور في مصر يتم فيه تطبيق تقنية استخدام التصوير الفوتوجراممترى تحت الماء، فلذلك كان من الصعب معالجة كل هذه الصور دفعة واحدة نظراً للإمكانيات المحدودة والمتاحة في ذلك الوقت لجهاز الكمبيوتر ولذا كانت الصور يتم معالجتها يوماً بعد يوم، بمعنى أنه بالانتهاء من تصوير جزء معين في يوم ما يتم معالجة هذا الجزء على حدى، ومن هنا أصبح لدينا حوالي ٣٩ جزءاً من الموقع المغمور يمثلون الصور اليومية التي تم التقاطها خلال المواسم المختلفة منذ عام ٢٠١٤م وحتى عام ٢٠١٦م، وقد راعى الباحث أن يوجد تداخل بين صور أجزاء الموقع (شكل ١٥) بنسبة تبلغ حوالي ٢٥% في كل جزء يتم معالجته حتى يمكن دمج كل هذه الأجزاء مع بعضها البعض في المعالجة النهائية، ولإنجاز هذا العمل وضعت علامات رقمية يدوياً على كل من القطع المقترنة أو المتشابهة ويتم الإشارة إليها مع بعضها في كل جزء وذلك أثناء المعالجة على الكمبيوتر حتى تم دمج كل الأجزاء معا للحصول على مساحة قدرها حوالي ٧٢٠٠ م^٢ من الموقع في 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 الرئيسية والضرورية لبناء نموذج ثلاثى الأبعاد DSM هو أن يتم تحديد نقاط مرجعية ثابتة تحت الماء حتى تكون بمثابة أحداثيات جغرافية يتم رفعها بالطرق التقليدية باستخدام جهاز Total Station، وكانت تستخدم علامات يتم ترقيمها وتثبت على سطح القاع الصخري 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 (شكل ٢٠) 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 (شكل ٢٠)، ويتم تثبيت هذه الأداة 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 أخرى 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 الرقمية (Digital Elevation Model):

بعد الانتهاء من المراحل السابق ذكرها يمكن من خلال الصورة الأورثوغرافية إنتاج نموذج منسوب (ارتفاع) رقمى يمثل ارتفاعات تضاريس سطح القاع Digital Elevation Model (شكل ١٧) 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 التحوطائى الإسقاط الرأسى للحصول على قطاعات فى الموقع (شكل ١٨) وكذلك خرائط تبين الارتفاعات فى القاع، وقد تم إنتاج الصورة الأورثوغرافية التى تم تجميعها من الصور بمتوسط حجم بيكسل ٥٠م الى ٦٠م 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 التي تم التوصل إليها من خلال بناء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للموقع انه ساعد كثيراً في دراسة الموقع من الناحية الأثرية، فقد كانت هذه هي المرة الأولى في تاريخ الآثار الغارقة في مصر يتم تطبيق التصوير المساحي الفوتوجراممترى تحت الماء، وقد اثبتت طريقة التصوير، واستخدام مواد بسيطة في توثيق الموقع، انه يمكننا رؤية الموقع في صورة واحدة ثلاثية الأبعاد، ومن خلالها تم دراسة أهم التغييرات التي تطرأ على الموقع في مواسم العمل المختلفة، حيث لوحظ تغيير في مستوى منسوب الرمال بين عامي ٢٠١٤م، ٢٠١٦م، ففي عام ٢٠١٤م كان يوجد قطع أثرية ظاهرة في الصورة الأورثوغرافية إلا أنها اختفت تحت سطح الرمال في عام ٢٠١٦م وهذا ما نراه في الصورة التوضيحية والتي تبين هذه التغييرات (شكل ١٣)، (شكل ١٥)، وبالتالي فإن أول النتائج المهمة التي يمكن أن يعتمد عليها من النموذج الرقمي الثلاثي الأبعاد هو دراسة التغييرات الطبيعية التي تطرأ على الموقع الأثرى المغمور وكذلك دراسة مدى الإرسابات والتغييرات الجيولوجية التي يتعرض لها الموقع.

- من خلال التجربة الأولى لإنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية الفوتوجراممترى Photogrammetry تم الاستعانة بمواد وأدوات منخفضة التكاليف للحصول على البيانات ومعالجتها وذلك بغرض توثيق أكبر موقع أثرى تحت الماء في 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 في توثيق أى موقع أثرى تحت الماء.

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

- ومن أبرز النتائج التي تم التوصل إليها من إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد هي إمكانية إنشاء نموذج Digital Elevation Model -DEM وهو نموذج رقمي لمنسوب أو ارتفاع لأي كتلة في الموقع دون استخدام GPS-Global Positioning System لأن الأحداثيات موقعة جغرافياً بالفعل على النموذج

الرقمي ويمكن أيضاً عمل قطاعات (Sections) لرؤية مستويات السطح غير المستوية والحجم لأي كتلة في النموذج الرقمي (شكل ١٨). وأيضاً الحصول على رسم ثنائي الأبعاد (شكل ١٩) من الصورة الأورثوغرافية على برنامج Autocad كوسيلة سريعة لعمل مسقط أفقي في خلال أيام وذلك بالمقارنة بما كان يستغرقه ذلك من وقت ومجهود في التوثيق التقليدي تحت الماء لمواقع الآثار الغارقة.

- باستخدام تقنية المساحة التصويرية تحت الماء (الفوتوجرامتري) بالمجهود البشري يمكن التوثيق ثلاثي الأبعاد بتكلفة بسيطة بالمقارنة باستخدام تقنيات أخرى أكثر تكلفة مثل السونار Side Scan Sonar أو باستخدام مركبة التحكم عن بعد، ROV-Remote Operating Vehicle حيث أن الاعتماد على المجهود البشري في أداء المهمة يساعد على الدقة في الأداء على الرغم من طول المدة الزمنية في تنفيذ هذه الأعمال بالمقارنة باستخدام الأجهزة الدقيقة والتي تساعد في إنجاز المهام بشكل أسرع ولكن التكلفة المادية لهذه المعدات الدقيقة عالية جداً، والدقة في التوثيق تؤدي إلى نتائج مهمة منها محاكاة الواقع وبذلك يساعد على الحصول على تفسيراً أكثر وضوحاً لحالة الموقع الأثري وكذلك اللقى الأثرية وإعادة تقييم النتائج في المستقبل وذلك باستخدام الكمبيوتر دون الحاجة إلى الغوص على الموقع، فيتم دراسة الموقع من خلال النموذج الافتراضي الثلاثي الأبعاد للموقع المغمور.

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

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

- ويساعد النموذج أيضاً على وضع خطط مستقبلية للاستفادة بالموقع الأثري الغارق في تطوير سياحة الغوص الأثري سواء لموقع قلعة قايتباي أو أي موقع آخر، فهذا الموقع يعد النموذج الأول الذي يمكن الاعتماد عليه والاستفادة منه في التطبيق على المواقع الأخرى.

- وقد تزايد أيضاً دور المساحة التصويرية في عمليات التدريس مما سيساعد الطلبة في دراستهم للمواقع الأثرية وبالتحديد للآثار الغارقة وكذلك أيضاً دراسة القطع الأثرية. يمكن استخدام تقنية المساحة التصويرية الفوتوجرامتري التحتمائية في عمليات الترميم الافتراضي للقطع الأثرية، فهناك بعض هذه القطع التي تم

انتشالها وهناك أجزاء مكتملة 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 لاي باحث فى استخدام هذه الطرق فى توثيق اى موقع أثرى مغمور اعتماداً على المهارات الذاتية. علماً بأن اعمال التوثيق مستمرة فى مواسم العمل المختلفة والتي يتم خلالها تحسين الأداء فى الحصول على البيانات وتوقيع الأحداثيات الجغرافية بدقة قبل البدء فى التصوير وسيتم نشر النتائج فى المستقبل عند الانتهاء 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 أخرى 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 Qaitbay », *Bulletin de la Société française d'égyptologie* A. 1998, N° 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, Darmstadt/Mainz*, 2013, 131.
- EMPEREUR J. Y., *Alexandria 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, N° 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, N°. 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 immergé», 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 N° 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 Alexandria*, 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 XI-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:



(شكل ١) خريطة رسمها السيد/كامل ابو السعادات بخط يده وحدد عليها كل الشواهد الأثرية التي شاهدها بموقع الفنار القديم والميناء الشرقى عام ١٩٦١م نقلا عن: MORCUS S, 2000, 41



(شكل ٢) تمثال ضخم لملكة بطلمية تمثل الآلهة ايزيس انتشل من موقع الفنار عام ١٩٦٢ م

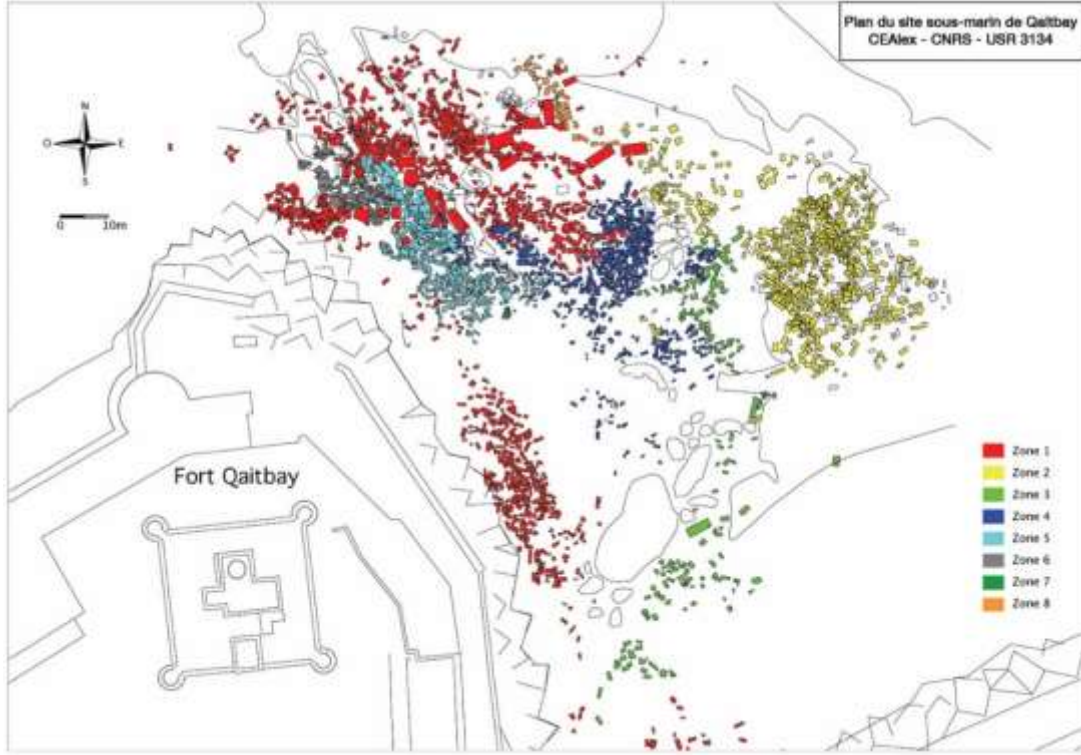
(تصوير ومعالجة- د. محمد السيد، ٢٠١٠م)



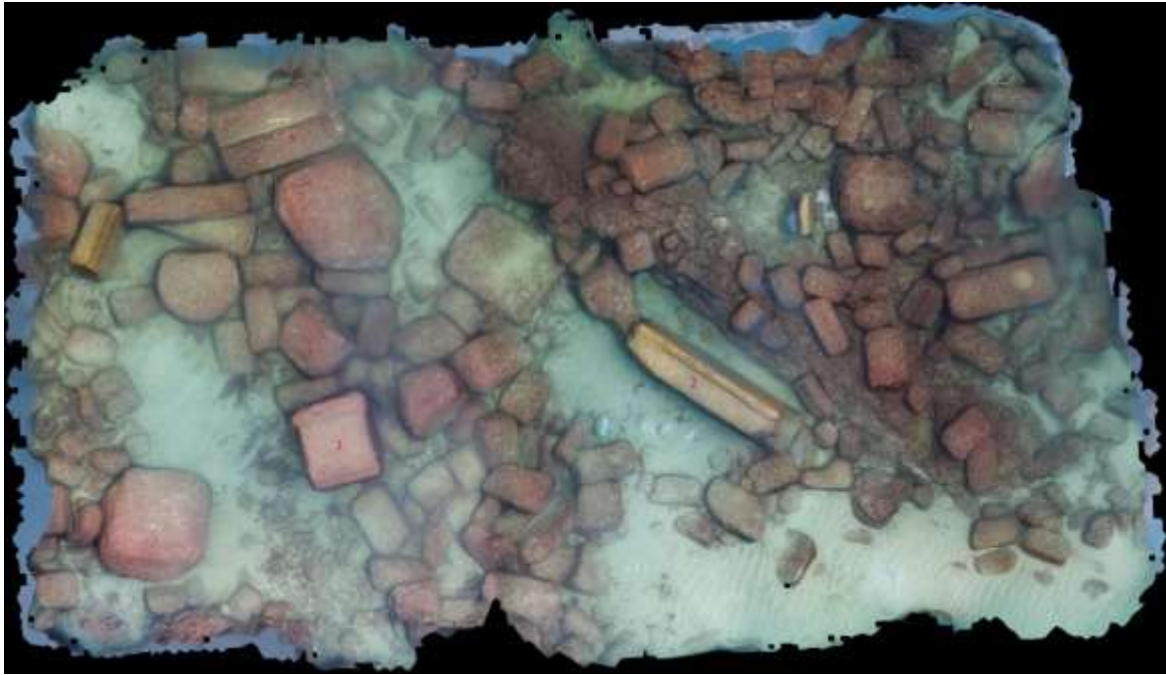
(شكل ٣) تمثال الملك بطلميوس الثاني المنتشل من موقع الفنار القديم بجوار قلعة قايتباى عام ١٩٩٥م والمعروض حاليا امام مكتبة الإسكندرية (تصوير د. محمد السيد ٢٠١٨م)



(شكل ٤) المتحف المفتوح للآثار المنتشلة من موقع فنار الإسكندرية 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)

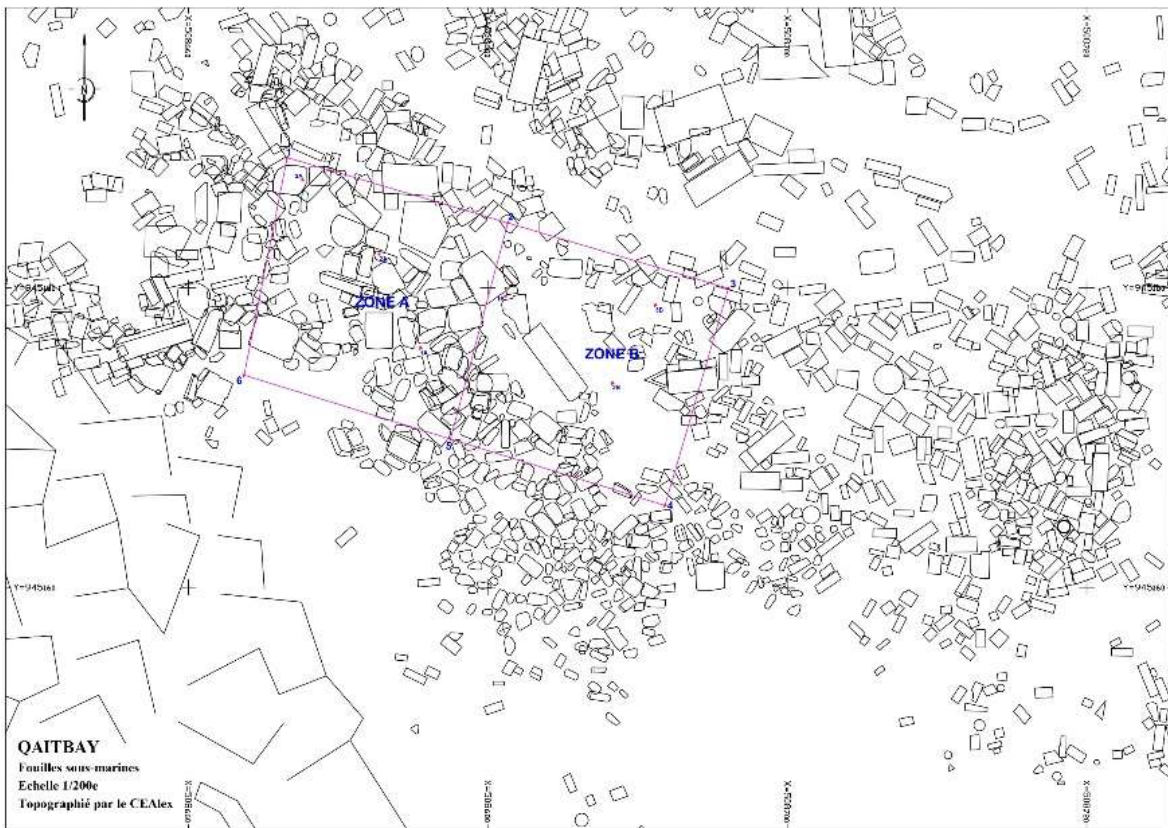


(شكل ٦) صورة ثلاثية الأبعاد (أورثوغرافية) يلاحظ فيها شكل القاع المتباين في تضاريسه والكتل الضخمة التي يزيد وزنها عن ٤٠ طن ومنها ارقام على الصورة: ١. قاعدة تمثال، ٢. عتب الباب الضخم، ٣. عضد الباب

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



(شكل ٧) المعدات والأدوات المستخدمة في التصوير المساحي (تصوير د. محمد السيد)



(شكل ٨) خريطة توضح اول موقع يتم تصويره في عام ٢٠١٤م وقد تم تقسيمه الى المنطقة A والمنطقة B

(عن مركز الدراسات السكندرية (CEALex))



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



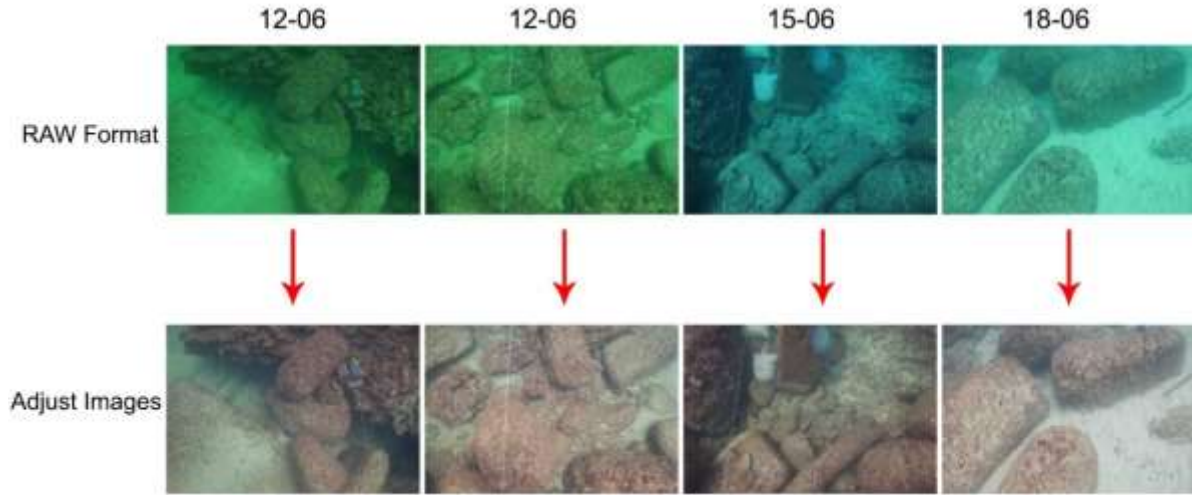
(شكل ١٠) د. محمد السيد اثناء تصوير الموقع مساحيا تحت الماء باستخدام كاميرا Nikon D700 والتقاط الصور بشكل مستمر ومتتابع باسقاط شبه عامودي (تصوير - فيليب سوبياس Philippe soubias مركز الدراسات السكندرية ٢٠١٦ م)



(شكل ١١) طرق التصوير المساحي التحتماي توضح التداخل بين الصور في الذهاب والعودة، ونرى بالصورة التباين في

الأعماق نتيجة لوجود صخور وحجم الكتل الأثرية وتفاوت الأعماق بين ٣م الى ٨م

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

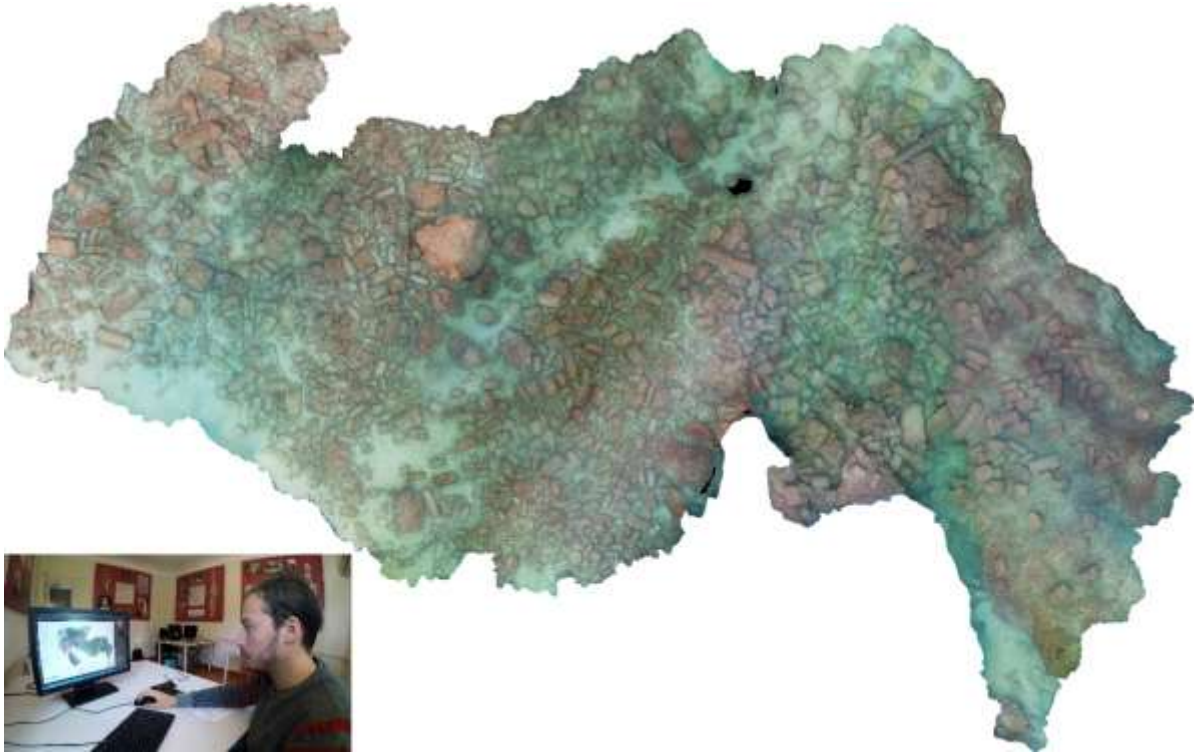


(شكل ١٢) معالجة مسبقة للصور الفوتوغرافية ، حيث كان يسيطر على أغلب الصور اللون الأزرق أو الأخضر أو الأصفر

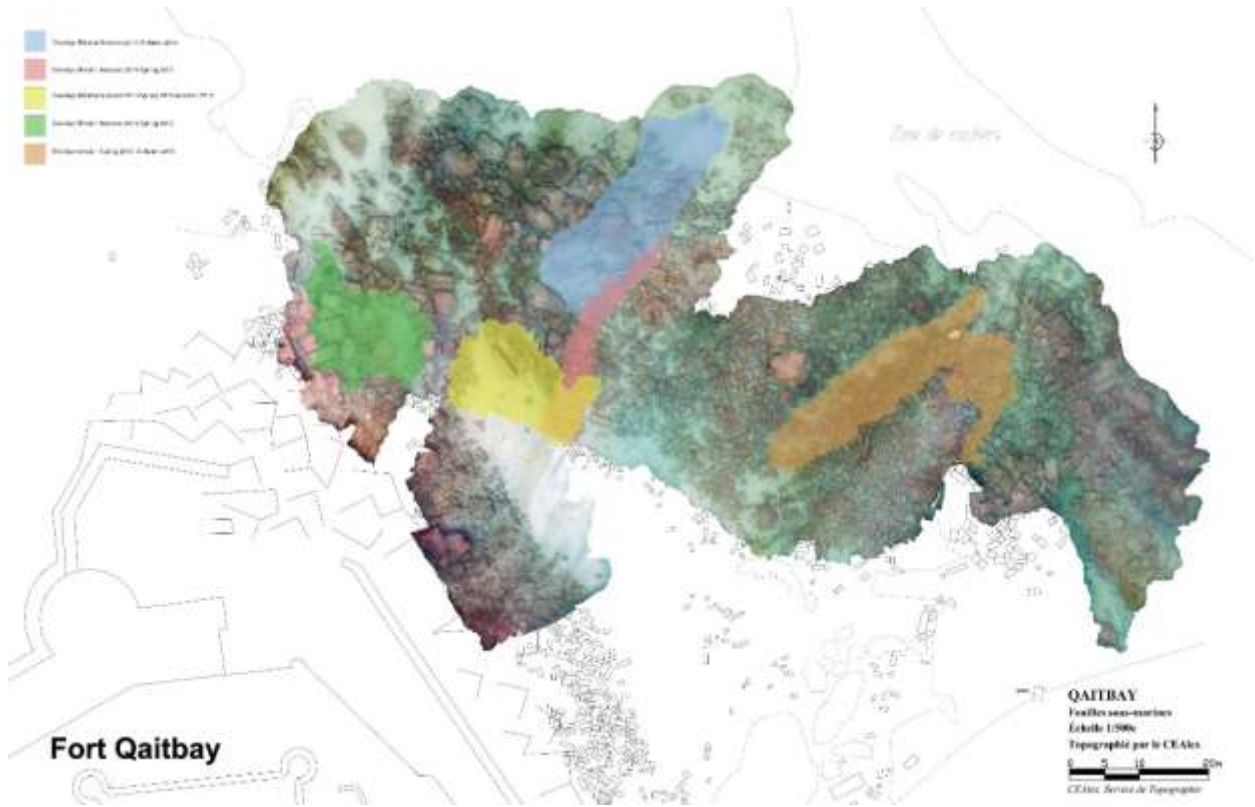
لذا يتم تصحيح الألوان والتباين في الصورة وإزالة الظلال باستخدام برامج تحسين الصور (معالجة-محمد عبد العزيز ٢٠١٤م)



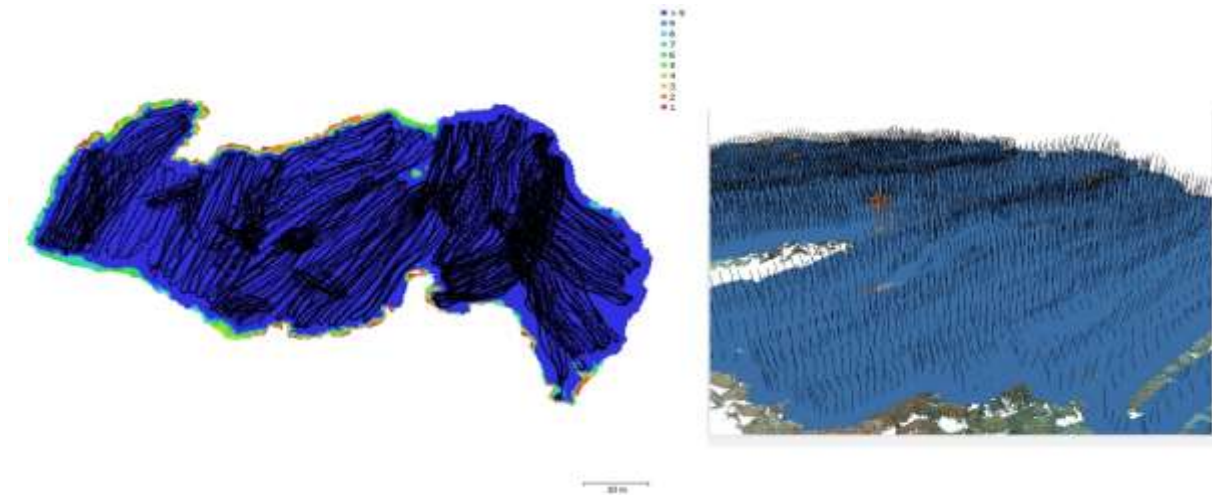
(شكل ١٣) أول صورة اورتوغرافية Ortho Photo تمثل جزء من اموقع المغمور لمساحة قدرها ٧٥٠م^٢ وقد استخدمت ١٣٢٢ صورة فوتوغرافية للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد .
(معالجة- محمد عبد العزيز ، تصوير د. محمد السيد ، ٢٠١٤م)



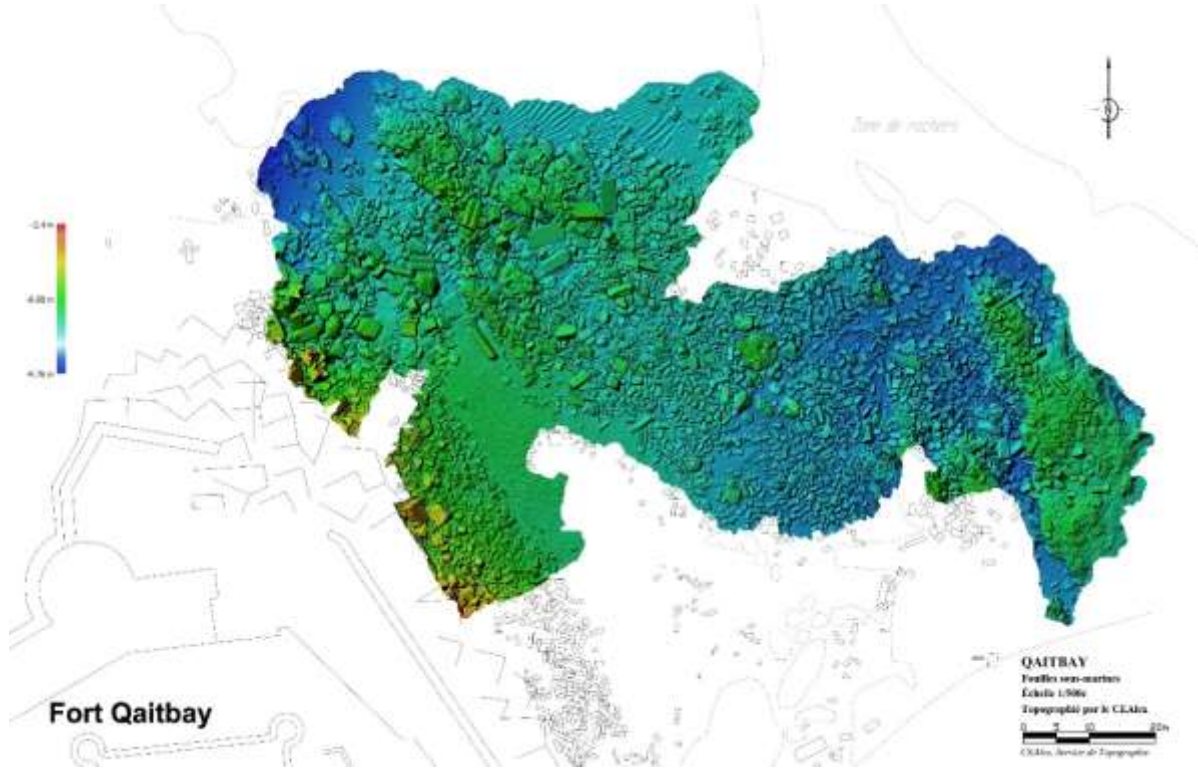
(شكل ١٤) صورة اورتوغرافية Orthophoto مكونة من اثنان وعشرون الف صورة وهي حصيلة الصور التي تم معالجتها خلال مواسم العمل لأعوام ٢٠١٤م، ٢٠١٥م، وقد تم الانتهاء من تغطية حوالي ٧٢٠٠م^٢ من الموقع المغمور حتى عام ٢٠١٦م (معالجة-محمد عبد العزيز، تصوير د. محمد السيد)



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



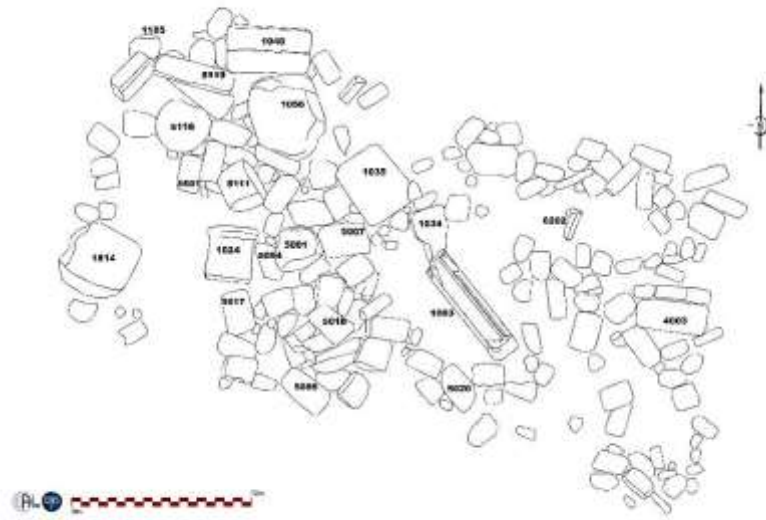
(شكل ١٦) صورة توضح التداخل بين الصور (الصورة اليمنى) ، والصورة اليسرى توضح مسارات الغواص اثناء التصوير المساحي (معالجة- محمد عبد العزيز)



(شكل ١٧) نموذج منسوب (ارتفاع) رقمي يمثل ارتفاعات تضاريس سطح القلاع
Digital Elevation Model (معالجة-محمد عبدالعزيز)



(شكل ١٨) التصوير التحوطائي الإسقاط الرأسي للحصول على قطاعات في الموقع
(معالجة- محمد عبد العزيز)

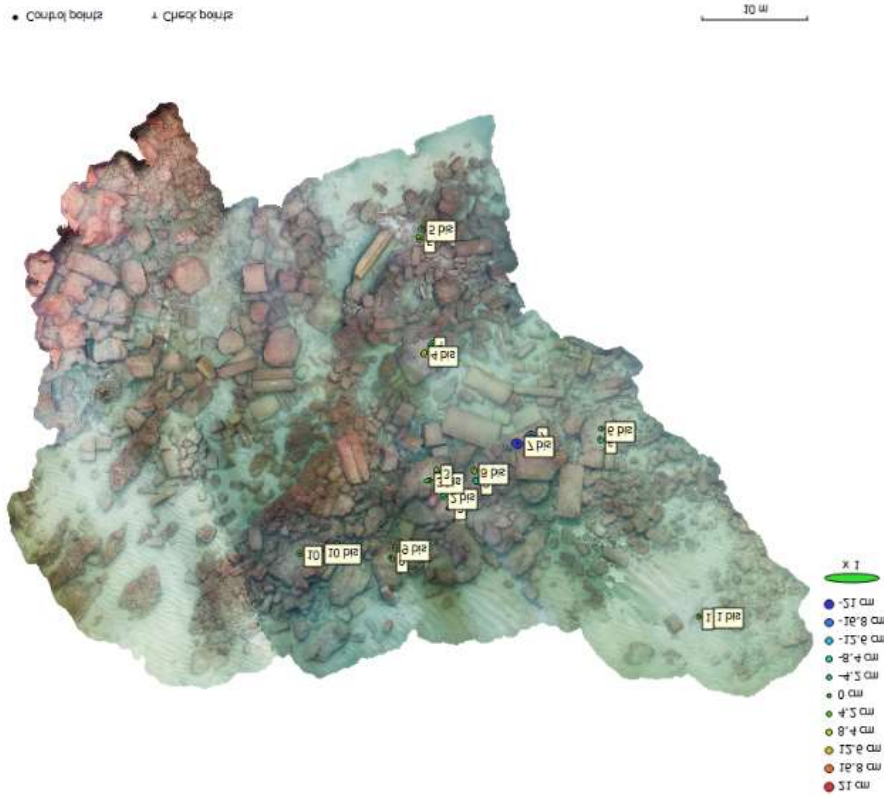


(شكل ١٩) الحصول على رسم ثنائي الأبعاد من الصورة الأورثوغرافية على برنامج Autocad كوسيلة سريعة لعمل مسقط أفقى لأى جزء من الموقع (محمد عبد العزيز - معالجة)



(شكل ٢٠) عوامة تطفو فوق سطح البحر مثبت فيها مرآة عاكسة (الخاصة لجهاز التوتال ستيشن Total Station) على عمود حديدي مربوط من أسفله بحبل يتصل فى نهايته فى القاع بأوزان من الرصاص تصل الى عشرون كجم، وذلك للرفع المساحي للأحداثيات

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



(شكل ٢١) النقاط الثابتة أو الأحداثيات بالموقع والتي يتم دمجها داخل النموذج ثلاثي الأبعاد (معالجة - محمد عبد العزيز)



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

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

التصوير المساحى الفوتوغرافى التحتمائى (الفوتوجرامترى): نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد | (٤٥٩-٤٨٨)