



دور التصوير القياسي في رقمنة ونمذجة التراث الأثري المغمور في الوسط المائي

Photogrammetry Role to digitizing And Modeling The underwater Archaeological Heritage.

ط.د بكار كمال*، مخبر التراث الأثري وتشمينه، جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان (الجزائر)

kamal.bakar@univ-tlemcen.dz

ط.د.ة مدين نور الهدى، مخبر التراث الأثري وتشمينه، جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان (الجزائر)

norelhouda.mediene@univ-tlemcen.dz

تاريخ الاستلام: 2022/05/14 تاريخ القبول: 2022/09/29 تاريخ النشر: 2023/04/30

ملخص:

التصوير القياسي من أهم العلوم التي دفعت عجلة التطور والتقدم في الأبحاث الأثرية، فتزامنا مع التطور المتسارع لآلات التصوير الفائقة الدقة وبرامج الحاسوب التي مكنت من ترجمة البيانات من صور رقمية عالية الجودة وبيانات أجهزة المسح الليزرية إلى مادة رقمية، فالباحث الأثري يعيد دراسة أبحاث سابقة ويمهد لدراسات جديدة، ومكنت أيضا من توفير أرشيف أثري رقمي وآخر مادي منسوخ في شكل نماذج ثلاثية الأبعاد مطبوعة بدقة، حيث للتراث المادي القاري نصيب جيد من تطبيق هذه التقنية عليه، فقد شهدت الآونة الأخيرة مجموعة من الأبحاث الأثرية الحديثة مكنت الموروث الأثري المادي ليكون جزء من اقتصادات الدول وموردا اقتصاديا يندمج في الحياة اليومية للشعوب، ويقدم نوعا جديدا من السياحة الافتراضية من خلال جعل الآثار مادة خام للواقع الافتراضي، لكن الآثار المغمورة بالوسط المائي لها ميزة خاصة وظروف دراسة وبحث استثنائية تختلف عن الوسط القاري، فحمولات السفن البحرية عبر التاريخ تحمل ما ورد في سجلات الموانئ والنصوص التاريخية كنز لا تقدر بثمن في أعماق البحار والمحيطات بسبب الحروب والأعاصير، لذا أصبح علم الآثار في الوسط المائي تخصصا يحظى باهتمام العديد من الأثريين والباحثين وتخصص له ميزانيات مهولة وإمكانات بشرية ذات كفاءة عالية، فقد عمد الأثريون المتخصصين في الوسط المائي إلى توظيف القياس التصويري لرقمته ونمذجته، فقد يصعب استخراج السفن بسبب العمق الكبير لمواقع الحطام أو لكلفته العالية، فهل حقق التصوير القياسي ما حققه من إنجازات في الوسط القاري، وماهي الطرق والوسائل المتبعة لتحقيق ذلك.

كلمات مفتاحية: التصوير القياسي؛ علم الآثار المائي؛ الرقمنة؛ النمذجة؛ الواقع الافتراضي المعزز.

Abstract:

photogrammetry is one of the most important technique that has pushed the wheel of development and progress in archaeological research, Coinciding the fast development of high-resolution camera and computer programs that have enabled the translation of data from high-quality digital images and laser scanning device data into digital material, the archaeological researcher re-examines previous research and prepares for new studies, It also made it possible to provide digital and physical archaeological archives copied in the form of solid 3D models,

* المؤلف المرسل.



Where the continental material heritage has a good share of the application of this technology to it, it has recently witnessed a group of modern archaeological research that enabled the material archaeological heritage to be part of the economies of countries and an economic resource by integrating it into the daily life of peoples, and it provides a new type of virtual tourism by making antiquities a raw material of the virtual reality, but the underwater archaeological heritage has a special feature and exceptional study and research conditions that differ from the continental one. The tonnages of sea ships throughout history carry what was mentioned in the port's records and historical texts as priceless treasures in the depths of the seas and oceans due to wars and hurricanes, Therefore, underwater archaeological has become a specialty that attracts many archaeologists and researchers, and has huge budgets and highly qualified human capabilities. Archaeologists specializing in the water medium had used photogrammetry to digitize and model it, as it may be difficult to extract ships because of the great depth of the wreck sites or its high cost. So, has standard photography achieved what it has achieved in the continental environment, and what are the methods and means used to achieve this?

Keywords: photogrammetry, underwater archaeology, digitizing And Modeling, virtual reality

مقدمة:

لطالما كان استخدام القياس التصويري تحت الماء توجهًا جديدًا منذ ستينيات إلى سبعينيات القرن الماضي مع أول ظهور لكاميرات التصوير المزدوجة القادرة على التصوير تحت الماء. ومع ذلك هذه التقنية بما بعض العيوب، أدت الحاجة إلى تقليل وقت العمل تحت الماء لأسباب الضغط العالي خاصة في المواقع العميقة، هذا ما دفع الباحثين إلى البحث عن تقنيات سريعة للتوثيق في نفس الوقت، وتكون متاحة وقليلة التكلفة مع الأخذ في الاعتبار الميزانيات الكبيرة التي يحتاجها القياس التصويري، فبات ضرورة إنتاج ثلاثي الأبعاد مفصل ودقيق ورسم الخرائط.

هذه التقنية أثبتت على الأرض أنها تقدم صورة واقعية للغاية للموقع وأن تكون دقيقة للغاية وسهلة أيضًا تحت الماء، هذا النهج تقنية حديثة قوية متاحة وغير متلفة للمادة الأثرية المغمورة تحت الماء، فعلى مدى السنوات القليلة الماضية علم الآثار في جميع أنحاء العالم تلقى القياس التصويري دفعا كبيرا لإجراء العديد من المشاريع البحثية والعديد من التجارب لالتقاط نماذج ثلاثية الأبعاد للخصائص الأثرية المغمورة بالمياه باستخدام كاميرات رقمية واحدة مثل Sony A7r11 وليس كاميرات تصوير مزدوجة بإدارة من غواص، ومعالجة



الصور ببرامج حاسوبية خاصة كـ AGISOFT PHOTO-SCAN توازيا مع المسح الطبوغرافي الحديث باستخدام أجهزة الـ DGPS للتوثيق المتري الدقيق.

الورقة البحثية الحالية تطرح وبشكل مبسط كيفية المسح الطبوغرافي لتحديد دقة مواقع حطام السفن للقيام بالقياس التصويري، ثم طريقة معالجة البيانات للحصول على رسم ثنائي الأبعاد ونموذج ثلاثي الأبعاد للمواقع الأثرية المغمورة وانتاج نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة، لتكون في خدمة الموروث الأثري المغمور تحت الماء ومادة خام لنقد الدراسات الأثرية البحرية التي أنجزت وتقدم دراسات جديدة، فكيف ننجز المسح الطبوغرافي الحديث والتصوير القياسي لنحقق ما أنجز مثله في الوسط القاري؟ وماهي المنهجية والمراحل المتبعة رفقة المعدات المعدة لذلك؟

1.. تاريخ المسح الأثري البحري:

بمصر وفي عام 1861م قامت البحرية البريطانية بمسح طبوغرافي لمرسى باجوش، وذلك تبعا لما جاء في النصوص التاريخية مثل (سترابون) بالقرن الأول ق.م، وبطليموس الجغرافي (القرن الثاني الميلادي) قديمة يونانية ذكرت وجود ميناء بحري ترسو فيه السفن¹، حيث أنجزت خريطة طبوغرافية للموقع (المخطط رقم 01)².

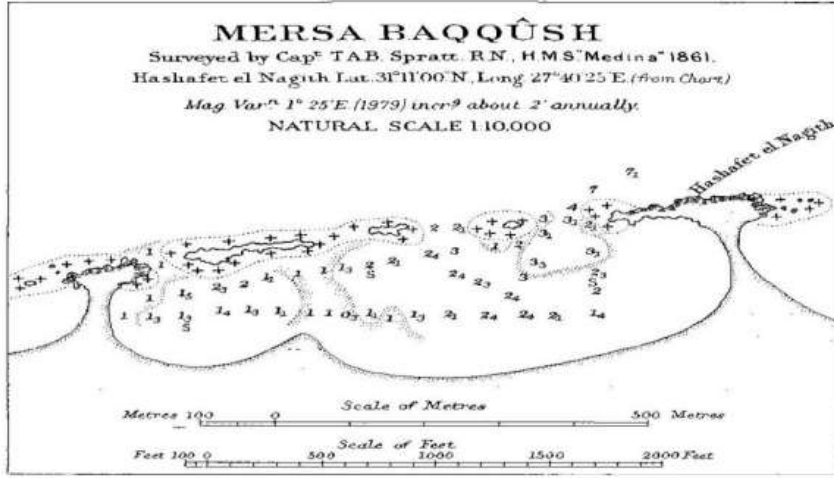
¹ خليل عماد، مشروع المسح الأثري البحري لمنطقة مرسي باجوش، حولية الاتحاد العام للآثاريين العرب، المجلد 21، 2018، ص 1044-1055.

² المرجع نفسه، ص 1055.



مخطط 01

خريطة مرسى باجوش في 1861 التي تم تنفيذها بواسطة البحرية.



مع مرور الزمن نشأ بما يعرف حالياً بعلم الآثار البحري ولكن المسح الأثري تعد الساحل وأصبح بما يعرف باللغة الإنجليزية بـ (Deepwater Archaeological Survey) أو المسح الأثري للمياه العميقة، حيث لا توجد مصادر تؤرخ بدقة هذه العملية حيث لم يترسخ إلا في خمسينيات القرن الماضي، فبعد اختراع أجهزة التنفس الصناعي تحت الماء سنة 1943 من قبل المهندس إدوارد جانيان بمساعدة الكابتن جاك إيف كوستو، حيث قاما برحلات استكشافية للبحث عن الكنوز القابعة بأعماق البحار والمحيطات¹، حيث برز كمتخصص في علم الآثار بأكثر من سبعين 70 عاماً إلى وقتنا الحاضر، ولكن كما يوضح إريك ريث في كتابه "كتاب جديد: لتاريخ علم الآثار البحرية. القوارب والتاريخ والجدور" يعود إلى القرن 16 م².

¹ RIETH, Eric. L'Archéologie sous-marine en France. Monuments historiques, 1984, vol. 130, p. 12.

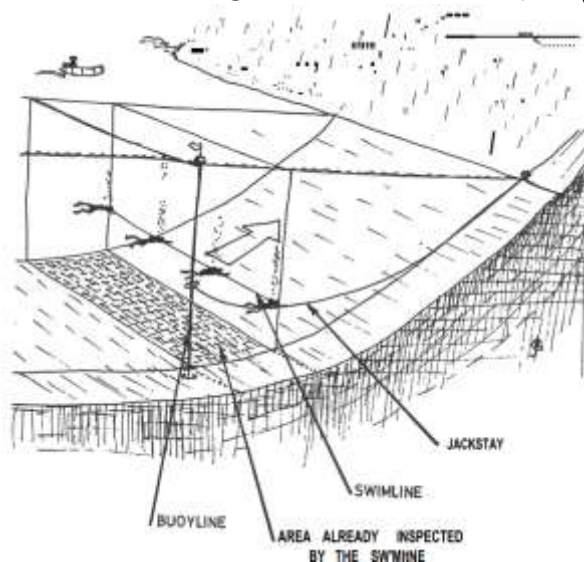
² CVIKEL, Deborah. Pour une histoire de l'archéologie navale. Les bateaux et l'histoire, Éric Rieth, Éditions Classiques Garnier, Paris, 2019, 431p. e-Phaistos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology, 2020, no VIII-1.

2.. المسح الأثري تحت الأعماق بالغواصين:

حيث وجب القيام بالغوص تحت الماء للقيام بعمليات تحديد مواقع اللقى الأثرية المكتشفة وعمليات الرفع الأثري الخاصة بها، حيث اخترع القائد الملازم ج. جراتان بما يعرف بخط السباحة سنة 1968م وأطلق عليها مصطلح wignall ، حيث يعتبر العمق الأقصى للغوص 50م بخط سباحة يصنعه الغواصون إلى 300م مع مراعات التيارات المائية¹.

شكل 01

رسم توضيحي للمسح الأثري تحت الأعماق بتقنية Wignall.



المصدر: GREEN, J , Op.Cit, p 4

3.. المسح الهيدروغرافي (hydrographique Survey)

هذه العملية تتم عبر ثلاث مراحل كما يلي:

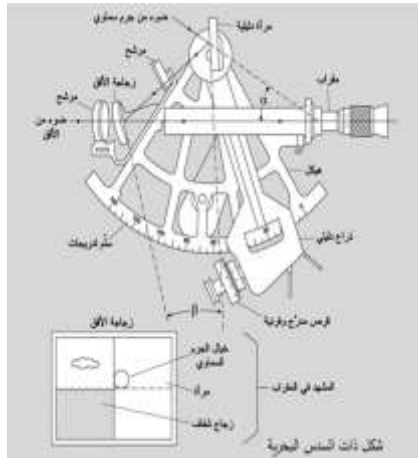
¹ GREEN, J. An underwater archaeological survey of Cape Andreas. 1969-1970.p 3.

1.3.. المسح بالتردد الصوتي: لتحديد موقع على 50م تحت الماء استخدمت أجهزة التردد الصوتي مثل جهاز ferrographe 500 écho، وتستخدم رفقة محطات أرضية بقاع البحر أو بما يعرف بسرير البحر seabed، وذلك لتحديد بداية ونهاية الموقع الذي يراد به تحديد موقع سفينة غارقة به¹.

2.3.. المسح بالاستعانة بموقع ثابت تحت أعماق البحر (Position-fixing at Sea):
لعدم الخبرة الكافية بالمسح الهيدروغرافي وتعذر وجود مواقع ثابتة على سرير البحر، فقد كانت عمليات العبور لتكون مرجعا للغواصين أو زورق المسح فعمليات العبور لم تكن دقيقة لذا استخدمت منارات على مستوى محطات المسح على البر الرئيسي والجزر ثم الاستعانة بآلة السدس² البحرية³.

صورة 01 و 02

آلة السدس البحرية.



<http://adnanalbelawi.blogspot.com/2016/02/sextant.html> consulté le : المصدر

.06/05/2020 à 23h10

¹ GREEN, J. Op.cit, p5.

² آلة بصرية تستعمل في الملاحة البحرية لقياس الزوايا ولتحديد المواقع للمساعدة في عبور المحيطات.

³ GREEN, J. Op.cit, p7.



3.3.. المسح الأرضي (Land Surveying): المناطق الساحلية التي تحوي آثارا مغمورة تحت الماء تعرضت لعمليات المسح الجوي كالتى قامت بها وزارة الأراضي والاستطلاعات وجامعة أكسفورد لجزيرة قبرص وسواحلها على سبيل المثال، حيث لمطابقة الخرائط المنجزة وجب القيام بمسح أرضي الذي يعتمد على عملية التثليث للرفع، لكن هذه العملية وجدت صعوبات بسبب التضاريس لذا استعين بالمواقع الثابتة وآلة السدس البحرية للقيام بعمليات الرفع ومطابقتها مع الصور الجوية، حيث مكنت من مسح ورفع المواقع البحرية بمحاذات الساحل¹.

فمن سالف الذكر فإن المسح الأثري تحت الأعماق له ثلاث أنواع أخرى للقيام به خاصة بعد تحديد مواقع اللقى الأثرية المغمورة تحت الماء، وهي:

1. ثلاثة أشرطة ثلاثية.

2. قياس المسافة / الزاوية، باستخدام جهاز قياس زوايا تحت الماء.

3. قياس المسافة / الزاوية باستخدام البوصلة.

استخدمت هذه الطرق لتحديد مدى المسح التصويري حيث تعتبر الطريقة الثالثة أكثر فعالية، فعلى سبيل المثال بكاب اندرياس بقبرص استخدمت آلت التيودوليت وثبتت تحت الأعماق بقاعدة حديدية، أضيف إليها قدم ثلاثية الأرجل دائمة كنقطة مرجعية حيث مكنت من تسجيل الزوايا العمودية والأفقية، مع طريقة الأشرطة الثلاثية وجب استخدام ثلاثة غواصين للقيام بالعملية.

¹ GREEN, J. Op.cit. , p7.

صورة 03

الرفع بالتيودوليت وعملية التثليث.



المصدر: GREEN, J. Op.cit. , p 9.

4.. أول استخدامات التصوير القياسي (PHOTOGRAMMETRY) في المسح الأثري تحت الأعماق:

بسان اندرياس بجريزة قبرص كان هناك من أوائل المواقع التي استخدمت بها القياس التصويري لرفع المواد الأثرية المكتشفة حيث استخدمت بثلاث أنواع¹ وهي:

- الفسيفساء الضوئية لمواقع الحطام الكبيرة وتتم تسجيل كمية هائلة من المعلومات والصورة الشاملة.

- عمل مخطط موقع صغير باستخدام إطار شبكي.
 - التشابه الضوئي لتخطيط العديد من خطط المواقع الصغيرة في خطة شاملة.
- حيث استخدمت بالمواقع التي اكتشفت وتسجيلها وهي:
- مواقع الفخار، بما في ذلك المواد التي قد يتم التخلص منها.
 - مواقع التثبيت - المناطق التي ترتبط فيها المراسي ارتباطاً وثيقاً.

¹ GREEN, J. Op.cit., p 10.



المراسي الفردية، بما في ذلك المرساة من المرسى.

فمنذ ستينات القرن الماضي وتقنية القياس التصويري (photogrammetry) تستخدم تحت أعماق البحار، فمع التطور التكنولوجي المتسارع حيث مكنتنا من انتاج آلات تصوير فائقة الدقة وأدوات مساعدة وفرت لها ميزانيات هائلة أضف إليهم برامج حاسوبية فائقة التطور مكنت من رقمنة ونمذجة اللقى الأثرية المكتشفة تحت أعماق البحار والمحيطات، حيث بعد اكتشاف مواقع حطام السفن أو مخلفاتها، حيث حتى اكتشاف المواقع تعدى الطريقة السالفة الذكر التي أصبحت لا تعطي نتيجة مرضية كالتي تحصل عليها اليوم بالتقنيات الذكية.

فلإنجاز رقمنة للآثار المغمورة في الوسط المائي وجب استخدام صور عالية الدقة، حيث الأخيرة ومع التطور التكنولوجي يمكن الحصول عليها بطريقتين:

- كاميرات رقمية محمولة يدويا من طرف غواصين محترفين¹.
- مركبات أو غواصات متحكم بها عن بعد (Remotely Operated Vehicles) ومركبات أو غواصات أوتوماتيكية أو ذات المهام المبرمجة مسبقا (Autonom Operated Véhicules)² والدرونات المائية (Underwater Drone)³.

حيث من خلال هذه الورقة البحثية سنقوم بعرض مبسط عن كيفية رقمنة ونمذجة الآثار المغمورة تحت أعماق البحار

5.. التصوير القياسي تحت الماء بالكاميرا الرقمية:

يجدر بالذكر أن للقيام بعملية الرفع عن طريق تقنية التصوير القياسي وجب تحديد موقع الحطام بدقة، وللقيام بذلك تستخدم أحدث التقنيات لتحديد المواقع مثل:

¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin, et al. Coral reef monitoring by scuba divers using underwater photogrammetry and geodetic surveying. Remote Sensing, 2020, vol. 12, no 18, p. 3036.

² CHRIST, D. et WERNLI, L. TheROv Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles. 2007.

³ LAMBERTINI, Alessandro, MENGHINI, Massimiliano, CIMINI, Jacopo, et al. Underwater Drone Architecture for Marine Digital Twin: Lessons Learned from SUSHI DROP Project. Sensors, 2022, vol. 22, no 3.

GPS ou DGPS (Differential Global Positioning Stytem) وذلك للقيام بعملية

مسح طبوغرافي تحت الماء وتحديد موقع الحطام بدقة.

1.5.. المسح الطبوغرافي تحت الماء: بالإضافة إلى النهج المرئي، يجب أن يكون القياس التصويري مدعومًا بمسح طبوغرافي (للحصول على السيطرة الأرضية نقاط GCP^1) (الصورتين رقم 04 و 05) للإشارة الجغرافية لجميع الاكتشافات في نفس مرجع النظام. حيث يثبت هوائي محطة GPS RTK بمحاذات موقع الحطام (الصورتين رقم 06 و 07) شحنات حطام السفن عبارة عن كتل رخامية ضخمة، تقدم الاختلافات في الكميات والتخطيط والأعماق، فعلى سبيل المثال الكتل في موقع مرزميمي متناثرة على قاع البحر، وبعضها بعيد عن الكتلة الرئيسية؛ هذا النوع من التوزيع ينطوي على تقسيم فرعي من القياس التصويري².

صورة 04 و 05

تثبيت هوائي GPS RTK عن طريق الغواصين.

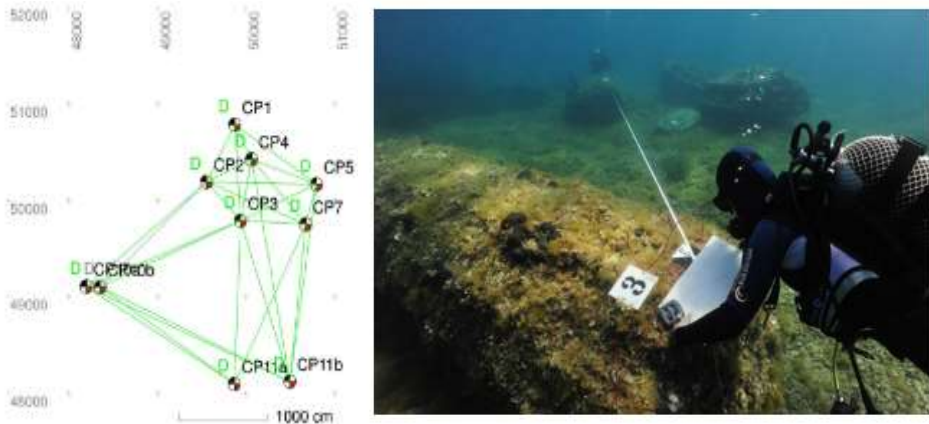


¹ يتم تعريف نقاط التحكم الأرضية (Ground Control Points GCP's) على أنها نقاط على سطح الأرض في موقع معروف تستخدم للإشارة الجغرافية لبيانات Landsat المستوى 1. يتم تحديث GCPs حسب الحاجة لتحسين بيانات Landsat باستمرار. يمكن تنزيل GCPs واستخدامها كبيانات مرجعية.

² BALLETTI, Caterina, BELTRAME, Carlo, COSTA, Elisa, et al. Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Marble Cargos Shipwreck. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2015.

صورة 06 و 07

تحديد نقاط GCP'S والقيام بعملية التثليث من طرف الغواصين لرسم مخطط لموقع الحطام بدقة.



بعد تحديد الموقع بدقة ورسم خريطة دقيقة لموقع الحطام يصبح الموقع مبينا بدقة، فالغواصون الذين سيقومون من بعد ذلك بالقيام بالتصوير الفوتوغرافي للحطام، فلا يجدون صعوبة في تحديد موقعه مرة أخرى، فالقيام بالمسح التصويري وجب استخدام كاميرات رقمية فائقة الدقة وبأنواع مختلفة.

2.5.. أنواع الكاميرات المستخدمة للتصوير القياسي تحت الماء:

يستخدم علماء الآثار البحرية بشكل متزايد القياس التصويري تحت الماء بسبب القدرة على إنتاج قياسات دقيقة ومفصلة من الناحية المكانية وغير مدمرة للمجموعات القاعية، إلى جانب القدرة على تحمل التكاليف وسهولة الاستخدام. ومع ذلك مراقبة الجودة المستقلة، والتصوير الدقيق يعد إعداد النظام والتصميم الهندسي الأمثل والنمذجة الصارمة لعملية التصوير ضرورية لتحقيق درجة عالية من الدقة والنتائج القابلة للقياس. فيعتبر أيضا النهج المناسب الذي يتيح الوصف الرسمي لانتشار أخطاء القياس والنمذجة السابقة، لذا قام العلماء بمقارنة بين أنظمة القياس التصويري تحت الماء التي يديرها الغواصون يتمثل أحد الأنشطة الأساسية في مشروع Moorea IDEA لرصد الشعاب المرجانية في التقييم والتحليل المقارن للدقة والأداء المتري



لأنظمة التصوير الفوتوغرافي المختلفة تحت الماء، وذلك بهدف تحديد أفضل الحلول لاستخدامها في توثيق الشعاب المرجانية¹، كما يمكن استخدامها في توثيق حطام السفن أو اللقى الأثرية وهذا بهدف الحصول على:

أ- حل متطور ينتج عنه أفضل دقة ممكنة.

- ب- نظام منخفض التكلفة يعتمد على المكونات ويمكن التعامل معه بسهولة وبأسعار معقولة. كل واحد. في القياس التصويري تحت الماء، يتكون نظام التصوير من أربعة مكونات رئيسية:
- الكاميرا مع مستشعرها.
 - العدسة البصرية.
 - غلاف مقاوم للماء ومنفذ تحت الماء مثبت على الغلاف.

يلعب كل مكون من هذه المكونات دورًا مهمًا في الجودة المحققة للصور التي تم الحصول عليها، ويساهم بشكل عام في استقرار النظام بشكل عام، وهو أمر مهم للغاية من الناحية التصويرية. مع وضع ذلك في الاعتبار، فاختبرت الكاميرات التجارية عالية الجودة الجاهزة (COTS) والكاميرات منخفضة التكلفة (كاميرا الحركة) تحت الماء في إحدى قطع الشعاب المرجانية الأمامية مقاس 5×5 أمتار (الصورة رقم 08). استخدمنا كلاً من الكاميرات الرقمية ذات العدسة المنعكسة أحادية العدسة (DSLR) والكاميرات ذات العدسات القابلة للتبديل بدون مرآة (MIL).

ففي اختبار لأنظمة الكاميرات الرقمية عالية الجودة COTS. في النهاية، اخترنا تضمين كاميرات MIL في هذه الدراسة حيث اكتسبت هذه الأنواع من الكاميرات الكثير من الاهتمام في عالم التصوير الفوتوغرافي تحت الماء لقدرتها على سد الفجوة بين الكاميرات الرقمية ذات العدسة الأحادية العاكسة (DSLRs) الأثقل والأكثر تكلفة والأخف، والأقل جودة، والرقمية المدججة. الكاميرات. كبديل منخفض التكلفة، قمنا بتجربة GoPro®، التي أصبحت شائعة جدًا بين علماء البيئة البحرية كما يمكن لعلماء الآثار استخدامها لسعرها المعقول وسهولة استخدامها وقابليتها للنقل².

أخيرًا، قمنا بفحص كل من الأنظمة الفردية والمتعددة للكاميرات.

¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin. Op.cit. , p 6-7.

² NOCERINO . Op.cit. , p 6.



صورة 08

أنواع وخصائص الكاميرات المستخدمة في التصوير القياسي تحت الماء.



System Acronym	N750	N300	PL51-PL52	PL41	5-GoPro (GoPro41 to GoPro45)
Camera Type	DSLR	DSLR	MIL	MIL	Action cam
Camera Body	Nikon D750	Nikon D300	Panasonic Lumix GH5S	Panasonic Lumix GH4	GoPro Hero 4 Black edition
Sensor Type (Dimensions (mm))	Full frame (35.9 × 24)	APS-C (23.6 × 15.8)	Four thirds (17.3 × 13)	Four thirds (17.3 × 13)	1/2.3 inch (6.17 × 4.55)
Pixel Size (µm)	6.0	5.6	4.6	3.8	1.5
Image Size (pixel)	6016 × 4016	4288 × 2848	3680 × 2760	4608 × 3456	3840 × 2160
Lens (For zoom lenses, focused at focal length)	Nikkor 24 mm f/2.8 D	Nikkor 18-105 mm f/3.5-5.6 (at 18 mm) with +4 diopter ¹	Lumix G 14 mm f/2.5	Olympus M. 12-50 mm f/3.25-6.3 (at 22 mm)	3 mm
Underwater Pressure Housing (material)	NIMAR NIM3D/50ZM (polycarbonate)	Ikelite 6812.3 (ITTL) (polycarbonate)	Nauticam NA-GH5 (aluminum)	Nauticam NA-GH4 (aluminum)	GoPro housing (polycarbonate)
Port lens (material)	NIMAR NE320 dome-port (acrylic)	Ikelite 5503.55 dome-port (acrylic)	Nauticam N85 3.5" wide-angle dome-port (acrylic)	Nauticam N85 Macro Port (glass) with Wet Wide-Lens 1 (WWL-1) dome-port (glass)	Flat with red filters (glass)

تم اختيار أنظمة الكاميرا على ارتفاعين مختلفين، أو مسافات عمل، فوق الشعاب المرجانية على ارتفاع 2 و5 أمتار (باستثناء D300، والذي تم استخدامه على مسافة عمل 2 متر فقط) مع هدف إضافي يتمثل في التحقيق في الأخطاء التي تحدث بسبب المسافة وتقييم دقة المنتجات المشتقة ضوئياً.

يلخص الشكل 10 مسافة العمل وبعض أنظمة الكاميرات المستخدمة، مع وجود اختلافات طفيفة في شبكات الكاميرات (مسافة عينة الأرض - GSD بالإضافة إلى معلمات الاتجاه الخارجي)، فلاحظنا درجة عالية من الاتساق في مقاييسنا لأداء الكاميرا بين مختلف نظم القياس التصويري المستخدمة، الصورة رقم 09 توضح شبكة التقاط الصور فوق سرير البحر مع شرائح عرضية ومناظر مائلة على مسافة عمل 2 متر حيث تم اختبار الكاميرات بارتفاعات مختلفة من 2 إلى 5 متر (باستثناء D300، والذي تم استخدامه على مسافة

عمل 2 متر فقط) مع هدف إضافي يتمثل في التحقيق في الأخطاء التي تحدث بسبب المسافة وتقييم دقة المنتجات المشتقة ضوئياً¹.

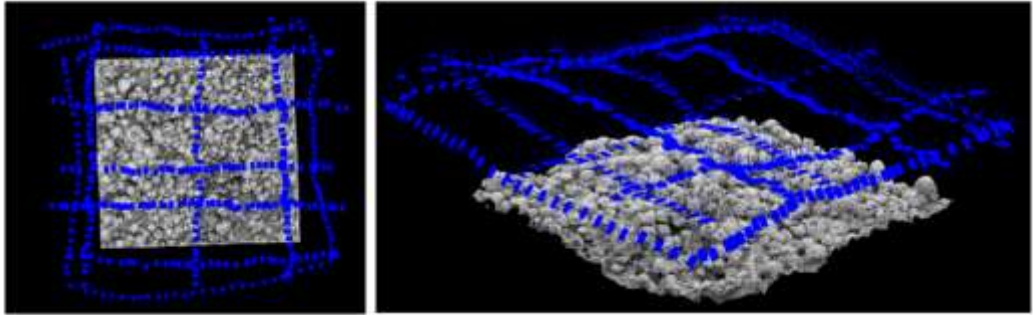
شكل 02

اختبار خصائص أنظمة القياس التصويري تحت الماء.

	N750	N300	PL41	PL51	PL52	GoPro45
Working distance: 2 m						
GSD (mm)	0.5	0.6	0.6	0.8	0.7	1.2
Number of images	304	581	451	523	523	431
Working distance: 5 m						
GSD (mm)	1.2	-	1.4	1.4	1.4	2.2
Number of images	101	-	139	166	166	430
Mean intersection angle (degrees)	27.9	-	30.4	24.9	25.5	27.8

صورة 09

شبكة التقاط الصور للقياس التصويري تحت الماء.



3.5.. ضبط اعدادات الكاميرا:

يتم التقاط الصور بواسطة غواصين مع تحديد إعدادات الكاميرا لتعزيز جودة الصورة للكاميرات المختلفة، مع الأخذ في الاعتبار إجراء الاختبارات تحت الماء واستخدام الدقة والبطاقات المرجعية الملونة للتصوير الفوتوغرافي القياسي المتاحة تجارياً من أجل التقييم الكمي لجودة الصورة لتحقيق صور ذات جودة عالية، معلومات التصوير القياسية التي يجب ضبطها هي المكونات الثلاثة لما يسمى بثلاث التعريض (الشكل رقم 12)، أي الفتحة وسرعة الغالق وحساسية المستشعر ISO. في الهواء، عند التعامل مع القياس التصويري

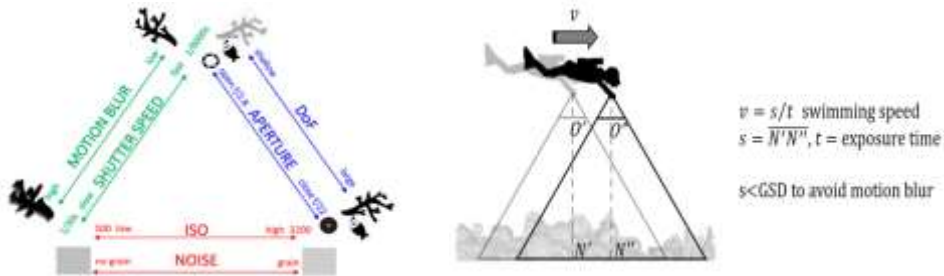
¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin. Op.cit. , p8.



عن قرب، يمكن أن يكون إعداد الفتحة بالغ الأهمية لضبط عمق المجال (DoF) بشكل صحيح للموضوع محل الاهتمام بحيث يتم إعادة إنتاج جميع أجزاء صورة الهدف بدرجة مقبولة من الحدة في الماء خاصة عند استخدام منافذ القبة، يتم زيادة DoF بشكل كبير، ومع ذلك لا تزال جودة الصورة تتأثر بشدة بالفتحة المختارة (الرقم البؤري)، وبالتالي يجب تحديد القيمة المناسبة بناءً على المجموعة المختارة من العدسة ومنفذ السكن لتقليل الانحرافات البصرية المقدمة عند الحصول على الصور من منصة متحركة مثل غطاس سباحة، تتحكم سرعة الغالق في ضبابية الحركة: وفقاً لسرعة الحركة (سرعة الغواص) المتوقعة، يجب ضبط سرعة الغالق، t ، بحيث يتم ضبط الإزاحة، s ، خلال وقت التعرض أقل من مسافة العينة الأرضية (GSD، الشكل 8)، تتحكم قيمة ISO في حساسية المستشعر للضوء فكلما زاد الرقم، قل الضوء المطلوب لتحقيق صورة مكشوفة بشكل صحيح لفتحة عدسة وسرعة مصراع معينين. بمعنى آخر، ستؤدي زيادة ISO إلى تضخيم إشارة الضوء مما يسمح بسرعات مصراع أسرع في ظل ظروف الإضاءة المنخفضة ولكن على حساب زيادة تشويش الصورة أو التجيب¹.

شكل 03

اعدادات الكاميرا وفق ظروف الغطس والغواص.



أفضل السبل لضبط تركيز الكاميرا (الشكل رقم 13) لضمان استقرار معلومات الكاميرا الداخلية طوال عملية الحصول على الصورة، وكلما أمكن، اخترناها مسافة التركيز على النحو التالي:

- يتم استخدام خيار التركيز التلقائي لتركيز نظام الكاميرا على مسافة الاستحواذ المناسبة؛ بعد ذلك، يتم تحويل التركيز إلى يدوي لتجنب تغيير التركيز طوال جلسة التصوير بأكملها، تم تكوين أنظمة الكاميرا الفردية

¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin. Op.cit. , p8,9.

- الثلاثة (PL41 و N750 و N300) في وضع اللقطة الواحدة لجمع البيانات المتزامنة، ثم استخدام أنظمة الاستريو PL51-PL52 و GoPro-5 في صورة الفاصل الزمني ووضع الفيديو، على التوالي.
- تم تحقيق مزامنة نظام الستريو لنظام الكاميرا PL51-PL52 يدويًا وتهيئة الحصول على الصور للكاميرتين في وقت واحد.
 - بالنسبة لأنظمة GoPro-5، تم اختيار وضع الفيديو للمرونة المتوفرة في تسجيل ملفات المؤامرات ولأن نصح التزامن القائم على الأجهزة متعددة الكاميرات المقاومة للماء سيكون كذلك.
 - تعديل مساكن ضغط المصنع وتطوير خاص داخل المنزل النظام. تم تحقيق مزامنة الفيديو عبر الارتباط المتبادل لإشارات الصوت الخارجية. الحضيض تم اختيار الكاميرا ذات المظهر (GoPro45) لتكون الكاميرا الرئيسية وتم اختيار تأخيرات الكاميرات الأربع الأخرى مُقدَّر. تم استخراج الإطارات من كل دفق فيديو بمعدل وقت ثابت (1 إطارًا في الثانية) بدون فقد تنسيق PNG. تم تحويل إطارات PNG إلى JPG بأعلى جودة ممكنة.
 - تضمن علامات تنسيق ملفات الصور القابلة للتبديل (EXIF)، مما يسمح ببرامج القياس التصويري التطبيقات للتعرف تلقائيًا على الصور القادمة من كاميرات مختلفة وتقدير الأولي لقيم معايرة الكاميرا. لم يُظهر تحليل أنظمة الكاميرات المتعددة فروقًا ذات دلالة إحصائية عن تلك المنفردة أنظمة¹.

¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin. Op.cit, p 10.



شكل 04

جدول لضبط اعدادات الكاميرات للتصوير القياسي.

	N750	N300	PL51 PL52	PL41	5-GoPro
Acquisition Mode	Single shot	Single shot	Time lapse @ 2 s shooting interval	Single shot	Video @ 30 frame per seconds (Field of view = wide)
Original Images/Video Format	raw	raw	raw	raw	MP4
Exported Images/Extracted Frames Format	JPG @ highest quality	JPG @ highest quality	JPG @ highest quality	JPG @ highest quality	PNG (then converted to JPG @ highest quality)
Shooting Mode	Aperture priority	Aperture priority	Aperture priority	Shutter priority	-
Aperture Value	f/8	f/5.6	f/5.6	-	f/2.8
Shutter Speed	-	-	-	1/250	1/120
Minimum Shutter Speed	1/250	1/125	1/250	-	-
Shutter Mode	mechanical	mechanical	Mechanical electronic	Mechanical	Electronic
Iso Mode	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	MAX ¹
Iso lower Upper auto Limit	100 3200	200 1600	100 1600	200 1600	400 1600
Focus	First Shot	Auto focus	Auto focus	Auto focus	-
	Entire Acquisition	Manual	Manual	Manual	-

4.5.. جودة الصورة وتصحيحها والتوازن الأبيض:

للحصول على صورة مناسبة للتصوير القياسي وجب تصحيح الصورة وألوانها، فمن الضروري فهم الحالة الصحية للبيئة البحرية حيث يوفر تحليل جودة الصور المكتسبة رؤى حول نظام التصوير المستخدم، فمثلاً إدخال التشوهات والانحرافات البصرية والعوامل الحاسمة التي قد تؤثر سلباً على الدقة التي يمكن تحقيقها، كما يعتبر الماء كمرشح انتقائي لهذا يعني أنه لا يتم فقط امتصاص كمية كبيرة من الضوء الذي يدخل الماء ولكن يتم امتصاص الأطوال الموجية المختلفة التي يتكون منها الطيف المرئي بشكل مختلف وفقاً لتوزيع الطاقة الطيفية (SPD) تحت الماء، فمن الصعب جداً تحقيق إعادة إنتاج مناسبة للألوان في مرحلة ما بعد المعالجة، نظراً لأن محتوى اللون المسجل بواسطة مستشعر RGB يفتقر إلى الإشارة في الأطوال الموجية المقابلة أو قد يتشبع في قناة أخرى.

ستؤدي محاولات استعادة اللون المقابل لطول الموجة المفقود المحدد إلى تضخيم ضوضاء المستشعر فقط، تم اقتراح العديد من الحلول الحاسوبية باستخدام نماذج فيزيائية لتصحيح اللون من الصور الأصلية¹.

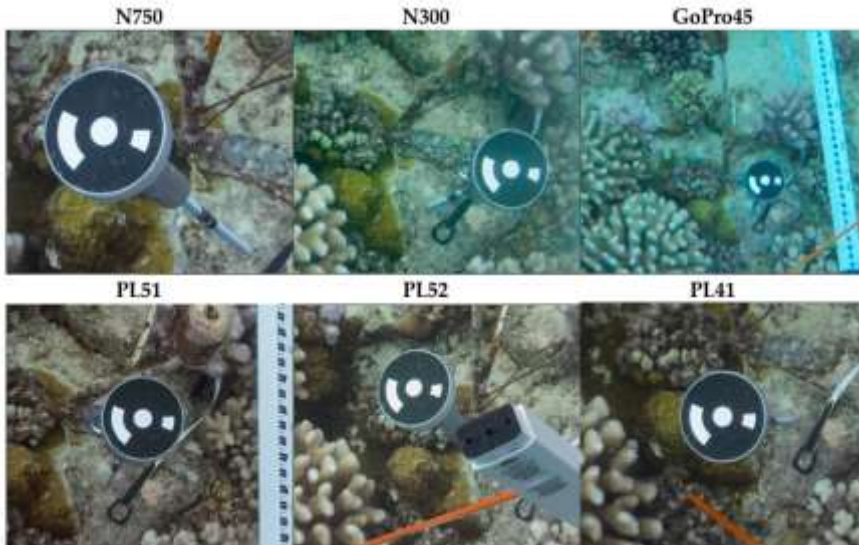
صورة 10

مثال لتصحيح صورة معدة للتصوير القياسي (الصورة الأصلية على اليسار والمصححة على اليمين).



صورة 11

نموذج لجودة الصور لجميع أنواع الكاميرات المستخدمة للتصوير القياسي.



¹ NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin. Op.cit. , p10-12.



5.5.. رقمنة ونمذجة الآثار المغمورة تحت الماء باستخدام التصوير القياسي:

1.5.5.. برامج الحاسوب المساعدة:

العديد من برامج الحاسوب الذكية والمتطورة المعدة للقياس التصويري تستخدم خوارزمية للمطابقة الصور، مثل 3DF Zephir Aerial و Pix4D و SURE و MicMac و Agisoft Photoscan و Reality Capture. من الممكن معالجة الصور مباشرة تم الحصول عليها بدقة منخفضة باستخدام كمبيوتر محمول أو مكتبي مباشرة بعد المسح للتحقق من هندسة الشبكة بالكامل، وقد أعطت لعلم الآثار ثورة للباحثين، لأنها تتيح تتبع كل طبقة من التنقيب الطبقي وتسمح بتوثيق كامل للموقع¹.

2.5.5.. تطبيق تقنية التصوير القياسي:

الرقمنة ثلاثية الأبعاد والنمذجة للمواقع تحت الماء هي نوع جديد من التوثيق في السنوات الأخيرة، والذي لا تزال في تطور سريع تزامنا مع التطور التكنولوجي السريع لآلات التصوير والبرمجيات الحاسوبية، فعلى سبيل المثال القياس التصويري لمرزميمي حطام سفينة براس كوبا بقبرص، حيث عدد الصور الفوتوغرافية بحكم التصرف في البضاعة: 495 صورة تم استخدامها للمسح الكامل، و 323 صورة للكتل الرخامية ولدراسات الحالة الخاصة بحطام سفينة Cape Granitola، تم تحميل 918 صورة على برنامج AgiSoft PhotoScan، فيحسب "محاذاة الصور" مواضع الكاميرا وتوجههم تمت محاذاة الصور بدقة عالية وبالمقارنة مع القياس التصويري الجسّم القديم، هذه العملية مؤتمنة بالكامل ونتيجة لذلك، أنتج البرنامج سحابة نقاط متفرقة ثم إنتاج النموذج الثلاثي الأبعاد في مرحلة لاحقة، والحصول على مستويات مثثلة. نتيجة للمسح، كما أنتج البرنامج عدة نماذج ثلاثية الأبعاد للمواقع التي استقرينا منها بعض صور من الأعلى وجهة نظر (الصورة رقم 12) وبعض وجهات النظر الثلاثية الأبعاد لحطام السفن (الصورة رقم 13-14).

¹ COSTA, E. THE PROGRESS OF SURVEY TECHNIQUES IN UNDERWATER SITES: THE CASE STUDY OF CAPE STOBA SHIPWRECK. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019.



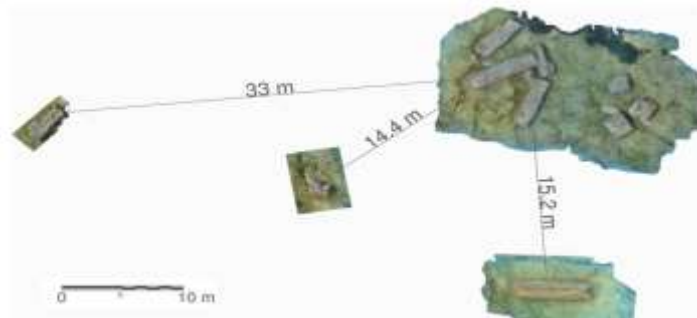
- يوضح النموذج المركب الذي تم إنشاؤه بواسطة البرنامج كتل الرخام وقاع البحر. لقد قمنا بتنظيف النموذج لتسليط الضوء على الكتل فقط، مما يسمح بالتفصيل المباشر على عنصر واحد، مفصول من قبل الآخرين. تم نسخ شبكة كل كتلة رخامية في ملف برنامج CAD.
- استخدامه لمزيد من المعلومات، استخدام للتحليلات المختلفة والفرضيات الترميمية، فتح إمكانيات جديدة للتوثيق مع كليهما المتخصصين والجمهور الأوسع.
 - قياس العناصر ومقارنتها بأبعاد مأخوذة تحت الماء خلال الرفع الأثري.
 - يتم بعد ذلك تحقيق النموذج ثلاثي الأبعاد النهائي عن طريق إزالة ملف عدم انتظام الشبكة بسبب تضاريس الموقع وحالة الحطام عليها ووجود الكثير من الأعشاب البحرية. حيث جزء من الكتل الرخامية متصل بسرير البحر غير مرئي ولا يمكن مسحه تصويرياً، وبالتالي على النموذج الذي تم إنشاؤه عن طريق القياس التصويري¹.
- قام البرنامج أيضاً بحساب الحجم الدقيق لكل من كل عنصر واحد ولكامل الشحنة. باعتبار الجاذبية النوعية للرخام الأبيض والحجم لدينا حدّدت الحمولة الدنيا للبضائع التي عليها الفرضية المحتملة لإعادة بناء خط بدن السفينة اثنان قارب يعمل. تم نقل الكتل الرخامية بشكل فردي وإعادة ترتيبها على الموضع الصحيح للترتيب على أساس الحسابات الهيدروستاتيكية (الشكل رقم 05)².

¹ BALLETTI, Caterina, BELTRAME, Carlo, COSTA, Elisa, Op.cit. , p10-11.

² Ibid, p 2.

صورة 12

نموذج رقمي لحطام حمولة سفينة من الرخام مع تموضعه بدقة تحت الماء.



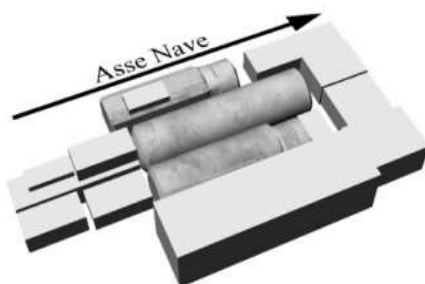
صورة 13 و 14

نموذج رقمي لحطام حمولة سفينة من الرخام تحت الماء.



شكل 05

نموذج رقمي معاد بناؤه لحطام السفينة من الرخام وإعادة توبيهه كما كان في السفينة قبل غرقها.





3.5.5..عوائق التصوير القياسي تحت الماء:

بغض النظر عن الوسائل الواجب استخدامها إلا أن الباحثين الأثريين عن الآثار المغمورة في الوسط المائي وجب تدريبهم على الغوص وذلك يحتاج وقت طويل وجهد، كما أن الغوص تحت الماء له عواقب وكذلك تدريب خاص¹، أو يكون هناك فريق من الغواصين مدربين تدريباً أثرياً²، كما وجب تحديد الوقت المناسب والظروف الجوية الملائمة للقيام بعملية الغوص أضف اليه الظروف التي عليها الحطام تحت الماء والتضاريس المرافقة والتي يمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- ضعف الرؤية بسبب الجسيمات العائمة.
 - الإضاءة السيئة والثقوب المظلمة.
 - حيوانات مثل قنديل البحر والأسماك تسبح حول الحطام.
 - غواصون آخرون يسبحون أمام الكاميرا.
 - فقاعات الهواء وتعقيدها وقت اختيار أخذ الصور.
 - الوضع المعقد للحطام نفسه.
 - سهول رمليّة فارغة بين أجزاء الحطام.
 - شباك صيد ملفوفة فوق الحطام.
 - الوقت السفلي المحدود.
- يجب النظر في كل هذه العوامل للوصول إلى نهج جيد للقيام بتصوير قياسي فعال³.

¹ BUSBY, R. Frank. Underwater inspection/testing/monitoring of offshore structures. Ocean Engineering, 1979, vol. 6, no 4, p. 355-491.

² BALLETTI, C., BELTRAME, C., COSTA, E., et al. Photogrammetry in maritime and underwater archaeology: two marble wrecks from Sicily. In : Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V. International Society for Optics and Photonics, 2015. p. 95270M.

³ Photogrammetry under water A tutorial for the first steps in underwater-photogrammetry



كما وجب لعلماء الآثار البحرية أن يكونوا على دراية بكيفية التصوير القياسي على اليابس لتطبيقها تحت الماء حيث أن طريقة أخذ الصور بالأعماق لا تختلف عنها باليابسة إلا أن لها معايير خاصة وظروف استثنائية.

6.. التصوير القياسي بالاستعانة بمركبات أو غواصات متحكم بها عن بعد (Remotely

(Operated Vehicles)

جل ما ذكر سالفا يفي بالغرض لرقمنة ونمذجة الموروث الأثري المغمور بالماء، لكن هناك موروث بالبحار والمحيطات على عمق كبير جدا ويتضاريس وظروف مائية جد مغايرة للتي بالساحل، لذا للقيام بعمليات المسح الطبوغرافي الدقيق لمواقعها ورفعاً بتقنية التصوير القياسي وجب الاستعانة بتكنولوجيا ذكية جديدة وجد مكلفة أحيانا والتي سوف نعرض على تقنيتهما بإيجاز.

1.6.. تعريف المركبات المتحكم بها عند: وفقاً للحظة الرئيسية UUV التابعة للبحرية الأمريكية

(إصدار 2004، القسم 1.3)، فإنه يتم تعريف "مركبة غير مأهولة تحت البحر" على أنها:

هي غواصات ذات الدفع الجني والتي يكون تشغيلها إما مستقلاً تماماً (التحكم في المهام المبرمجة مسبقاً أو التكيفية في الوقت الفعلي) أو تحت الحد الأدنى من التحكم الإشرافي وغير المربوط باستثناء، ويمكن أن تكون مربوطة بكابل للطاقة ونقل للمعلومات¹.

هذه الأخيرة لها عدة أنواع وأشكال منها ما يحمل قبطانا على متنها ومنها ما هو مسير من على ظهر سفينة (الصورة رقم 15) تحمل عدة كاميرات عالية الدقة²، كما يمكنها أن تحمل أيضاً ماسح ليزري (Lidar)³ للقيام باللازر غرامتري تحت الماء، كما يمكن أن يكون لها اذرع ميكانيكية (الصورة رقم 16) لحمل اللقي المكتشفة، مما يؤهلها لتكون أداة مهمة لما يسمى بحفرية أثرية مائية.

¹ CHRIST, Robert D. et WERNLI SR, Robert L. The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles. Butterworth-Heinemann, 2013.

² LAMBERTINI, Alessandro, MENGhini, Massimiliano, CIMINI, Jacopo, et al. Underwater Drone Architecture for Marine Digital Twin: Lessons Learned from SUSHI DROP Project. Sensors, 2022, vol. 22, no 3, p. 744.

³ FANTONI, Roberta, BARBINI, Roberto, COLAO, Francesco, et al. Integration of two lidar fluorosensor payloads in submarine ROV and flying UAV platforms. EARSeL eProceedings, 2004, vol. 3, no 1, p. 43.

صورة 15

غواصة تحمل عدة كاميرات بكابل.



صورة 16

روبوت غواص.



الصورة رقم 15 لغواصة تحمل عدة كاميرات بكابل والصورة 16 روبوت غواص، أعمال التنقيب ميشيل لور 1997-1999. تصوير فريديريك أوسادا (DRASSM).

هذه الأخيرة تحتاج أيضا لضبط اعدادات خاصة لكاميراتها ومسار المسح تحت الماء، ذلك للحصول على صور عالية الدقة للتصوير القياسي.

1.1.6.. ضبط الكاميرا وإضاءتها:

تم توفير إضاءة اصطناعية مثبتة على هيكل الغواصة للحصول الإضاءة المستمرة من إثنين 400 واط HID (كثافة عالية التصريف؛ أوسرام HMI) تستخدم لإضاءة منطقة إطار الصورة بالتساوي قدر

الإمكان، وتم تركيب الأضواء على أذرع لزيادة المسافة الجانبية بين مصدر الضوء والكاميرا بهدف تقليل التشتت الخلفي للضوء (الصورة رقم 17). المسافة الجانبية بين الكاميرا ومصدر الضوء كان حوالي 0.8 متر. على WROV، فصل جانبي لمصادر الضوء وتم الحصول على كاميرا 0.7 متر بدون حواجز ضوئية خلال المسح، تم تركيب الكاميرا على مركبة تحت الماء بصورة أفقية المحور (أي تهدف بشكل متعامد إلى جدار صخري) للآثار البحرية، الكاميرا موجهة لأسفل، مرة أخرى بتصوير متعامد لقاع البحر أو بزاوية معلومة. الكاميرا المستخدمة في كليهما كانت المشاريع نطاقاً ديناميكياً 12 بت كاميرا (Uniqvision) تلتقط صورة واحدة كل أربع ثوان¹.

صورة 17

صورة تمثل إعدادات غواصة متحكم بها للقيام بمسح تصويري تحت الماء.



2.1.6.. ضبط إعدادات مسار المسح:

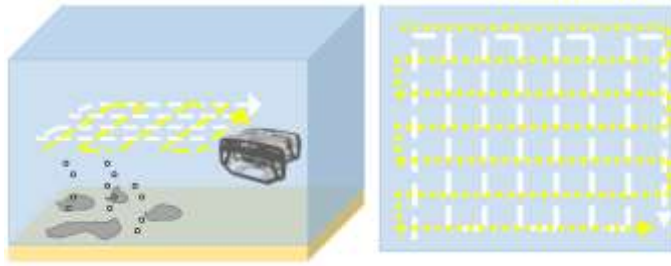
شهدت السنوات الأخيرة تطورات في الدخول للروبوتات تحت الماء، مما يخلق موجة منخفضة التكلفة قادرة على توفير بديل ميسور التكلفة، وتقليل التبعية والقيود المرتبطة بالغواصين. فمركبات ROV تستخدم لرسم خريطة مناطق التراث الثقافي المغمور بالمياه كحطام السفن والهياكل تحت الماء باستخدام التصوير

¹ LUDVIGSEN, Martin, SORTLAND, Bjørn, JOHNSEN, Geir, et al. Applications of geo-referenced underwater photo mosaics in marine biology and archaeology. Oceanography, 2007, vol. 20, no 4, p. 141-142.

القياسي، فعلى سبيل المثال بين أن النهج التصويري القائم على الغواص يمكن أن تحسن بشكل كبير من كفاءة العملية لتسجيل التراث الثقافي المغمور بالمياه لفسيفساء، فقد استغني عن الغواص من المعادلة باستخدام جهاز التحكم عن بعد للمركبة المشغلة (ROV) كمنصة لالتقاط البيانات، فقد أزال اثنين من القيود التشغيلية المحدودة للغاية (العمق وزمن القاع)، هذه الطريقة فعالة من حيث الوقت وبدون الحاجة لمتدخلين آخرين، مما يؤدي إلى خفض النفقات في سياق حيث الوقت وتكاليف مرتفع للغاية (الشكل رقم 06)¹.

شكل 06

صورة تمثل مسار لمسح تصويري لرفع الموقع تحت الماء.



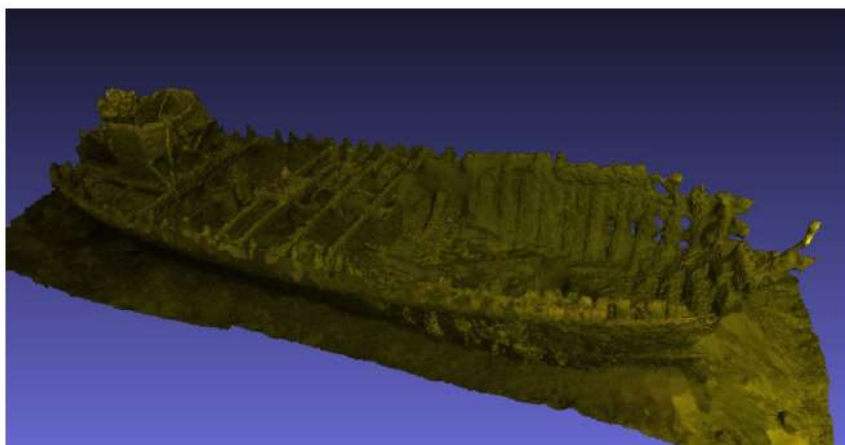
¹ TEAGUE, Jonathan et SCOTT, Tom. Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of submerged objects in shallow environments by ROV and underwater GPS. Journal of Marine Science Research and Technology, 2017.

3.1.6.. معالجة البيانات:

لمعالجات البيانات المتحصل عليها من الغواصات المتحكم فيها عن بعد نستخدم نفس برمجيات الحاسوب السالفة الذكر، وذلك مل يمكن رقمته ونمذجة موقع لأثار مغمورة تحت الماء على عمق كبير (الصورة رقم 18).

صورة 18

نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لحطام سفينة تحت الماء.



4.1.6.. الدرونات المائية (Underwater Drone)

هي أيضا من فئات ROVs المصغرة تستخدم للمراقبة والاستكشاف على سطح الماء أو تحته بعمق محدود المراقبة وجمع البيانات للحمولات الاستكشافية يمكن تشغيلها من على اليابسة أو من على ظهر سفينة، وتختلف مواصفاتها وفقا لكل واحدة منها مما يؤدي إلى اختلاف في مزاياها والقيود التي بها، تتراوح مكوناتها للدفع والغوص من استخدام مروحة واحدة، ودفة للتوجيه وخزان موازنة للغوص (على سبيل المثال: درون نبتون)، متجهة الى تكوين الدافع الذي يسمح بالحركة في اتجاهات متعددة، مع إمكانية لإرسال الصور والفيديوهات فورية إلى المستخدم، فالتى يتحكم فيها لاسلكيًا عبر إشارات الراديو: تشغيلها يقتصر على عمق 5 أمتار كحد أقصى، كما تسمح بعض النماذج المختبرة بميزات مثل القدرة على تحديد عمق ثابت أو اتجاه ثابت يتم الحفاظ عليه تلقائيًا من خلال الضبط الذاتي لسرعة الدافعات، بناءً على المعالجة في الوقت الفعلي

للضغط على متن الغواصة الاستشعار والبوصلة، تمت مقارنة خصائص الطائرات بدون طيار تحت الماء في
(الصورة رقم 19)¹.

صورة 19

أنواع الدرونات المائية.



7.. خاتمة:

التصوير القياسي تحت الماء وجب التحلي بمعرفة خاصة بتقنياته وأدواته وطرقه والوسائل المستخدمة فيه، فللحصول على رقمنة ونمذجة بدقة عالية بات من الضروري وجود الرصيد العلمي الكافي لتسيير مهمة لحفرية أثرية مائية المراد بها تحديد موقع موروث أثري مغمور بأعماق البحار والمحيطات كما أن التطور التكنولوجي الذي وفر كما هائلا من المعدات وبرمجيات حاسوب ذكية تؤهلنا للقيام بذلك، مع إمكانيات

¹ DE LIMA, Rui L. Pedroso, BOOGAARD, Floris C., et DE GRAAF-VAN DINTHER, Rutger E. Innovative water quality and ecology monitoring using underwater unmanned vehicles: Field applications, challenges and feedback from water managers. Water, 2020, vol. 12, no 4, p. 1196.



بشرية متعددة التخصصات مؤهلة لذلك، حيث مكنا التصوير القياسي للموروث الأثري المغمور تحت الماء من تحقيق العديد من الأهداف والنتائج التالية:

- تمكين الرفع الطبوغرافي الدقيق للمواقع الأثرية تحت الماء وحطام السفن المتواجدة به.
 - رقمته ما تحت الأعماق من لقي أثرية على شكل مادة رقمية ثلاثية الأبعاد تمكنا من إعادة بثها من جديد على شكل نماذج ثلاثية الأبعاد.
 - حل الألغاز التاريخية التي خلفها غرق السفن وكذلك الكشف عن أسباب غرقها.
 - رقمته الموقع بحطامه وإعادة بنائه على شكل نموذج ثلاثي الأبعاد يمكن من طرح حلول وأساليب أو فرضيات تمكنا من سحب الحطام من الأعماق لترميمه وصيانه.
 - النماذج الثلاثية الأبعاد الدقيقة تمكن من تكملة النماذج المستخرجة من خلال إعادة تصور السفن بشكل تقريبي كما كانت حالتها الأصلية.
 - إحياء الموروث المغمور تحت الماء من خلال النماذج ثلاثية الأبعاد التي تستخدم في الواقع الافتراضي المعزز لتكون عنصر جذب للعامة إلى المتاحف.
 - نقد الدراسات القديمة وتقدم دراسات جديدة وإثراء الأرشيف المعرفي لعلم الآثار البحري.
- على الرغم من ذلك يبقى علم الآثار البحري في الجزائر لا يتوفر عنه أي معلومات كافية، فلا توجد مؤسسات بحثية متخصصة في هذا المجال، على غرار بعض الدول الشقيقة كمصر التي لديها مركز الآثار البحرية والتراث الغارق، وفرنسا التي بها من أشهر المؤسسات البحثية مثل: DRASSM - départements des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines أو الولايات المتحدة الأمريكية التي يتعاون جيشها مع الباحثين المدنيين متجليا في الكشف عن حطام سفينة التيتانيك الشهيرة، فسواحلنا ومياهنا الإقليمية لازالت مساحات عذراء لم تكتشف أثريا بعد، ولذلك وجب تسخير إمكانيات مادية وبشرية مؤهلة لذلك، فلدينا موروث أثري مغمور تحت الماء شاهد على أن هذا البلد لديه من كل أنواع الموروث الثقافي الواجب الحفاظ عليه وصيانه.

8.. البيليوغرافيا:

أولا: المراجع باللغة العربية

- خليل عماد، مشروع المسح الأثري البحري لمنطقة مرسى باجوش، حولية الاتحاد العام للآثاريين العرب، المجلد 21، رقم 21، 2018، ص 1044-1055.



ثانيا: المراجع باللغة الأجنبية

- BALLETTI, C., BELTRAME, C., COSTA, E., et al. Photogrammetry in maritime and underwater archaeology: two marble wrecks from Sicily. In : Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V. International Society for Optics and Photonics, 2015. p. 95270M.
- BUSBY, R. Frank. Underwater inspection/testing/monitoring of offshore structures. Ocean Engineering, 1979, vol. 6, no 4, p. 355-491.
- CHRIST, Robert D. et WERNLI SR, Robert L. The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles. Butterworth-Heinemann, 2013.
- CHRIST, D. et WERNLI, L. The ROv Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles. 2007.
- COSTA, E. THE PROGRESS OF SURVEY TECHNIQUES IN UNDERWATER SITES: THE CASE STUDY OF CAPE STOBA SHIPWRECK. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019.
- CVIKEL, Deborah. Pour une histoire de l'archéologie navale. Les bateaux et l'histoire, Éric Rieth, Éditions Classiques Garnier, Paris, 2019, 431p. e-Phaistos. Revue d'histoire des techniques/Journal of the history of technology, 2020, no VIII-1.
- DE LIMA, Rui L. Pedroso, BOOGAARD, Floris C., et DE GRAAF-VAN DINTHER, Rutger E. Innovative water quality and ecology monitoring using underwater unmanned vehicles: Field applications, challenges and feedback from water managers. Water, 2020, vol. 12, no 4.
- GREEN, J. An underwater archaeological survey of Cape Andreas. 1969-1970.p 3.
- <http://adnanalbelawi.blogspot.com/2016/02/sextant.html> consulté le 06/05/2020 à 23h10.
- LAMBERTINI, Alessandro, MENGHINI, Massimiliano, CIMINI, Jacopo, et al. Underwater Drone Architecture for Marine Digital Twin: Lessons Learned from SUSHI DROP Project. Sensors, 2022, vol. 22, no 3.
- NOCERINO, Erica, MENNA, Fabio, GRUEN, Armin, et al. Coral reef monitoring by scuba divers using underwater photogrammetry and geodetic surveying. Remote Sensing, 2020, vol. 12, no 18, p. 3036.
- RIETH, Eric. L'Archéologie sous-marine en France. Monuments historiques, 1984, vol. 130.
- TEAGUE, Jonathan et SCOTT, Tom. Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of submerged objects in shallow environments by ROV and underwater GPS. Journal of Marine Science Research and Technology, 2017.