طائرات الدرون الخصائص والاستخدامات في حقل الاثار

Drones: Features and Applications in Archaeology

Ruaa Zuheir Zidan Al Kurwi **م. رؤى زهير زيدان الكروي**

جامعة بغداد/كلية الاداب/ قسم الاثار

University of Baghdad/College of Arts/
Department of Archaeology

ruaa.z@sc.uobaghdad.edu.iq

الملخص

شاع في الآونة الأخيرة استخدام طائرات الدرون في عمليات المسح والتوثيق الحقلي للمواقع الاثرية، حتى اصبح استخدام الدرون ضرورة أساسية تسبق أي عملية تنقيب اثري، من هذا المنطلق جاءت فكرة البحث لايضاح المبهم وإعطاء الأجوبة المناسبة لكثير من الأسئلة التي تطرح من قبل دارسي ومختصي الاثار، وسلط البحث الضوء على كل مايخص مفهوم الدرون وبدايات استخدامها في علم الاثار، واهم مكوناتها واجزائها الأساسية وخصائصها العامة، واستعرض البحث أسلوب استخدامها في تصوير المواقع الاثرية وجمع المعلومات مع إيضاح الفرق بين صور الدرون الجوية والمرئيات الفضائية، واكد البحث على اهم استخدامات الدرون في حقل الاثار وفوائدها في جمع وتحليل المعلومات الاثرية الحقلية.

Abstract

Recently, the use of drones in surveys and field documentation of archaeological sites has become common, so that the use of drones has become a basic necessity before any archaeological excavation process, from this point of view, the idea of the research came to clarify the ambiguity and give appropriate answers to many questions asked by archaeologists, and the research shed light on everything related to the concept of drones and the beginnings of their use in archaeology, its most important components, basic parts and general characteristics, and the research reviewed the method of using them in photographing archaeological sites and collecting information with Clarifying the difference between aerial drone images and satellite imagery. The research emphasised the most important uses of drones in archaeology and their benefits for collecting and analysing archaeological information.

الكلمات المفتاحية

درون – GIS- مسح- تصوير- اثار

Keywords

GIS -Survey- Photography -Antiquities- drones-

المقدمة

يستعرض هذا البحث طائرات الدرون التي شاع استخدامها في الفترات الأخيرة كوسيلة تقنية تستخدم في مسح المواقع الاثرية بأسلوب التصوير الجوي، ويظم البحث شرح لأنواع ومكونات الدرون و اجزائها الأساسية ، وإظهار مميزات استخدامها والفرق بينها وبين أساليب المسح الجوي القديمة، مع إيضاح العلاقة بينها وبين نظم المعلومات الجغرافية وماهو الفرق بين الصور الجوية والمرئيات الفضائية، واستعرضنا الأسلوب الصحيح والانسب في استخدام الدرون في المسح الاثري مع ذكر اهم الاستخدامات الشائعة للدرون في حقل الاثار.

مشكلة البحث

تمثلت مشكلة هذا البحث بما يلي:

1. **كيف يمكن استخدام الدرون في المسح الاثري الجوي؟**
2. **هل يمكن اعتماد صور الدرون كبيانات صورية في نظم المعلومات الجغرافية؟**
3. **هل يوجد فرق بين صور الدرون ومرئيات الأقمار الاصطناعية؟**

أسئلة البحث

1. **ماهي الدرون وما هي اجزائها الأساسية؟**
2. **كيف يمكن الربط بين الدرون وبرامج نظم المعلومات الجغرافية؟**
3. **ماهي الطرق القديمة الشائعة في التصوير الجوي للاثار؟**
4. **مالاسلوب الأمثل في استخدام الدرون في حقل الاثار؟**
5. **ماهي الاستخدامات الشائعة للدرون في دراسة وتصوير الاثار؟**

اهداف البحث

يهدف البحث الى عرض مفهوم الدرون واهميتها في مسح المواقع الاثرية ، والتعرف على مكونات الدرون وأسلوب عملها، مع إيضاح مفهوم نظم المعلومات الجغرافية وعلاقتها بعملية تحويل صور الدرون الى خرائط تفصيلية للمواقع الاثرية، والتعرف على العمليات الاخرى التي من الممكن ان تؤديها الدرون بالإضافة للتصوير الجوي كمساعدة في انجاز اعمال المسح الاثري.

أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في الإجابة عن الكثير من التسائلات التي يطرحها طلاب ومختصي الاثار بخصوص ماهية الدرون وكيف يمكن استخدامها في حقل الاثار، وما علاقتها بنظم المعلومات الجغرافية، ومالذي يمكن ان تقدمه كاضافة علمية لوسائل المسح التقليدية القديمة، وكيف يمكن الاستعانة بصور الدرون عند استحالة الحصول على المرئيات الفضائية المناسبة للمواقع الاثرية المنتخبة.

ماهي الدرون

ان الطائرات المتعارف عليها الكبيرة الحجم تحتوي على مقصورة قيادة بطاقم تشغيل للقيام بالرحلات الجوية، وتكون بتصميمات مختلفة تتناسب غالباً مع الغرض الذي صنعت لأجله كأن تكون لأغراض حربية أو مدنية (مؤمن، النظام القانوني للطرائرات بدون طيار، 2016، صفحة 310)، لكن في الآونة الأخيرة وبسبب حاجة الانسان ورغبته في التطور، واهتمامه بالطيران شاع استخدام الطائرات دون طيار (الدرون) وبالإنجليزية Unmmanned Arial vehicle (UAV) أو الزنانة (الراوي، 2015، صفحة 17) ، وهي

طائرات يتم التحكم بها عن بعد باستخدام موجات الراديو أو ببرمجتها مسبقاً لتسلك الطريق المحدد لها، ولازالت المحاولات مستمرة لتطويرها لتكون قادرة على الطيران باستخدام أنظمة تحكم ذاتية الاختبار تعتمد على تطوير الذكاء الاصطناعي (الحمزة، 2024، صفحة 395)وتكون الطائرات دون طيار غالباً صغيرة الحجم تطيربلا طيار على متنها، ويتحكم بها من على سطح الأرض وتعمل في بيئات جوية مختلفة عن بيئة الأرض، ولها القدرة على تحمل الظروف والمخاطر الجوية، وبإمكانها القيام بأعمال خطرة يصعب على البشر القيام بها وتستخدم غالباً للتصوير الجوي (كريم و عبد الرسول، 2024، صفحة 538) الشكل(1) ومصطلح الطائرات بدون طيار هو ترجمة عربية لمصطلحات اجنبية وردت في مفردات اللغة الفرنسية واللغة الإنكليزية وهو مصطلح مشترك بين اللغتين ثم اصبح مصطلح عالمي، (مؤمن، النظام القانوني للطائرات بدون طيار، 2016 ، صفحة 310)، مثل الطائرات الغير المأهولة أو المسيرة (UAV) والطائرات المواجهة عن بعد RPAs (Campana, 2017, p. 2) والطائرات غير الماهولة والصغيرة SUAV ، وقد يطلق عليها احياناً بالزنانة كتسمية شعبية عربية وذلك لما تتميز به من صوت اثناء التحليق (معروف , شاري خالد، 2019-2020، صفحة 334) أصبحت تسمية الدرون تطلق على كل الآلات والمركبات التي يتم التحكم بها عن بعد والتي لا تحمل أي عنصر بشري عليها ،وتدار بواسطة مركز قيادة أرضي يضم تقنيون وخبراء في مجال التكنولوجيا الرقمية (الحمزة، 2024، صفحة 394)، وتزود طائرات الدرون ببرنامج يحتوي على جميع أهداف المهمة والخطة المرسومة للعمل الحقلي، ويتم تحديث البرنامج اثناء الطيران عند تعديل المهمة أو الغائها أو استبدالها إلا في حالة العودة المفاجئة للقاعدة (الراوي، 2015، صفحة 18).

النشأة والتطور

ظهرت رغبة الانسان في الطيران منذ وقت مبكر غالباً ،ومع ذلك استغرق تحقيق الحلم وقتاً طويلاً وعمل الكثير من العلماء على تحقيق هذا الهدف حتى تمكن الانسان من الصعود عن الأرض بعد تقلبه في الهواء، بداية باستخدام المناطيد ثم الطائرات حتى تحقيق الحلم بالطيران بدون طيار لاستطلاع الأرض من الجو وارتبط هذا التطور بتطوير العلوم والتكنولوجيا العسكرية التي كانت هي البداية لتطور هذا النوع من الطيران (Nilsson, D., p. 19) ، ومنذ الحرب العالمية الأولى مع انشاء أول طائرة مسيرة غير مأهولة لحمل القنابل الكبيرة بدلاً من التضحية بالطيارين في عمليات انتحارية وبعد الحرب العالمية الأولى، تطورت الطائرات الحربية حتى أصبحت أكثر سرعة ومناورة (الحربي، الدرونز سلاح الجيل الثالث في الحرب، 2019، صفحة 11)، وطورت الطائرات غير المأهولة في الولايات المتحدة حتى اطلقت أول طائرة غير مأهولة في سماء أمريكا والتي سميت (بملكة النحل) والتي مثلت أول ابتكار لطائرة لها القدرة على القيام بالمهام باستخدام نظام التحكم عن بعد وبارتفاع يصل الى 520م وسرعة 180كم في الساعة (Palik, 2019, p. 155) وبعد اندلاع الحرب العالمية الثانية زاد الطلب على هذا النوع من الطائرات غير المأهولة لاستهداف المركبات العسكرية ،وما لبث ان تطور الطيران في الحرب الباردة بعد الحرب العالمية الثانية، وفي عام 1960م برزت طائرات أمريكية ضد الاتحاد السوفيتي وأثبتت كفاءتها في حروب فيتنام لما تملكه من إمكانيات للتصوير الجوي النهاري والليلي وأجهزة ارسال واستقبال متطورة. وساهمت التطورات الالكترونية السريعة في أواخر السبعينات واوائل الثمانينات بشكل كبير في تطوير أبحاث الطائرات

واستخدمت التكنولوجيا الرقمية وبرامج الذكاء الاصطناعي في تطوير برامج الطائرات غير المأهولة (هانسن، 2007، الصفحات 7-8)، وبالرغم أن غرضها الأساسي هو جمع المعلومات والتجسس في الحرب إلا انها أصبحت اليوم تستخدم في مهام أخرى ومنها في عمليات المسح ولأغراض الدراسات الأثرية ، وكانت بدايات التصوير الجوي للمواقع الأثرية في حدود القرن العشرين مع محاولة تصوير الأثار الرومانية واستخدمت طرق كثيرة في بداية التصوير الأثري الجوي لتصوير البقايا الأثرية وصنعت منصات خاصة لهذا الغرض وقبل استخدام الدرون مثل:

1. التصوير من الأعمدة والابراج، وتكون فعالة ولكن محدودة الارتفاع.
2. طائرات ورقية شاعت منذ السبعينات ولكنها تحتاج الى وجود رياح للاستمرار بالطيران.
3. الهليكيت وهو هجين بين البالون والطائرة الورقية وهو بالون صغير مملوء بالهيليوم وله اجنحة صغيرة مشابهه للطائرات الورقية ويطير بدون رياح (Campana, 2017, p. 3) الشكل(2) ويتوقع العلماء ان تصبح تقنية التصوير الجوي بالدرون أصغر حجماً وأقل سعراً في المستقبل بحيث يمكن لكل عالم أثار أن يحصل على هذه التكنولوجيا للقيام بعمليات المسح ودراسة المواقع الأثرية ومعالجة الصور وتحليلها (Nilsson, D., p. 19) سيكون علم الأثار في المستقبل مزيجاً من علم الأثار والطيران والروبوتات (Nilsson, D., p. 23) .

مكونات وخواص الدورن

أصبحت الطائرات الدرونز أداة لا غنى عنها في علم الأثار فهي أحد أهم التقنيات المستخدمة في العمل الميداني الحقلي في علم الاثار لما تتميز به من قدرات للقيام بمهام تفوق قدرات البشر وإمكانيات الطائرات التقليدية، اذ يمكن استخدامها في البيئات المختلفة على اليابسة وفي الهواء وداخل الماء وتستطيع المحافظة على حركتها والتصرف في ظل الظروف المعقدة وذلك يعود لتكوينها وتصميمها الذي جعلها ذات قابلية عالية على المقاومة والحركة (Carvalha, 2024, p. 2) ويتكون الشكل العام للدرون من مجموعة من الأجزاء الأساسية مثل:

1. الهيكل أو جسم الدرون

يحوي هيكل الدرون بشكل عام على محرك وبطارية وأجهزة تحكم وتصوير وتصنيع عادة من الحديد أو الألمنيوم أو البلاستك القوي مما يضيف للطائرة ميزة الخفة في الوزن فالوزن بالغ الأهمية في الدرون، فهو الذي يحدد ارتفاع الطائرة لكن مع مراعاة المتانة وقوة الهيكل حتى يكون مقاوم للرياح (Whitley, T, 2015, p. 38)، ولا بد ان تكون المحركات قوية فهي مصدر القدرة الذي يجعل المرواح المحركات تدورعادة بسرعة تصل الى عشرات الالف من الدورات في الدقيقة لرفع الطائرة في الهواء (ادارة الدراسات والبحوث، 2023، صفحة 6).

2. أجهزة التحكم:

وهو الجزء المسؤول عن التحكم في الطائرة ويتكون من مرسل وهو الجزء الذي يمسكه الفرد لتحكم بالطائرة والمستقبل الذي يستقبل الأوامر ويركب على بدن الطائرة (المالكي، 2024، صفحة 34)، وتقسم الطائرات الدرون وفق آليات التحكم بها الى ثلاثة أنواع:

1. طائرات يتحكم بها يدويا باليد عند طيرانها وهبوطها.

2. طائرات يتحكم بها الكترونياً وفق برنامج معد مسبقاً وخطة يضعها الطيار.
3. طائرة يتحكم بها الكترونياً ويدوياً وتتحرك أيضا وفق برنامج معد مسبقاً مع القدرة على تدخل الطيار المتحكم ببرنامج الطيران (مؤمن، النظام القانوني للطرائرات بدون طيار، 2016، صفحة 319).

3. المحركات:

يوجد في كل ذراع للطائرة محرك مستقل وظيفته حمل المحركات الثقيلة وتحقيق أفضل زمن للطيران (ادارة الدراسات والبحوث، 2023، صفحة 6).

4. المراوح:

تكون المراوح على اشكال واحجام مختلفة وتعمل على دفع الهواء للأسفل لتعطي الطائرة القوة الازمة للارتفاع عن الأرض والحركة المطلوبة للمناورة.

5. جهاز المرسل والمستقبل:

وهو المسؤول عن انشاء اتصال بين الطائرة والشخص المتحكم فيوصل المدخلات اليها ويخرج الأوامر منها الى المحركات ويعتمد على القنوات اللازمة للتشغيل واقصى عدد هو 4 قنوات (المالكي، 2024، صفحة 34).

6. وحدة التحكم بالسرعة:

وهي اهم جزء في عملية التحكم وتكون مسؤولة عن تشغيل المحركات وتحديد قيمة التيار الذي يصل الى المحرك ويوصى عادة باستخدام 4 وحدات للتحكم بالسرعة (ادارة الدراسات والبحوث، 2023، صفحة 7).

7. البطارية:

وتصنع من الليثيوم وتتميز بخفة وزنها وأدائها العالي ولابد من توفر أكثر من بطارية احتياطية لأن أفضل بطارية لا تعمل أكثر من 15-20 دقيقة وتحتاج من 30 الى 45 دقيقة للشحن ويأتي الشاحن مع البطارية (Whitley, T, 2015, p. 36).

8. الكاميرا:

وتكون صغيرة مثبتة في مقدمة الدرون، عملها التقاط الصور والفيديوهات وارسالها الى المستلم وتتوزع الكاميرات حسب نوع الدرون فمنها الكاميرا العادية ومنها الحرارية والبانورامية.

9. أنظمة الكترونية أخرى متنوعة:

قد يضاف للدرون بعض اللواحق الالكترونية حسب متطلبات العمل والغرض من اطلاقها مثل، معالج البيانات ومعالج الصور ونظام GPS لتحديد المواقع وغيرها من اللواحق الالكترونية والأجهزة التي من الممكن ان تضاف للدرون كمواصفات إضافية عند الشراء (الحربي، الدرونز سلاح الجيل الثالث في الحرب، 2019، صفحة 13) الشكل(3).

الخصائص العامة للدرون

تتنوع طائرات الدرون وبحسب الاستخدامات أو الغرض منها فقد تكون خاصة بالتسلية وتستخدم لأغراض الترفيه والسباقات وقد تكون مهنية وتستخدم للأغراض التجارية والتصوير السينمائي ولتغطية الاخبار ويمكن ان تستخدم للأغراض المدنية من قبل الدول والهيئات العامة في رقابة الحدود والأمن المدني وحماية البيئة والنشاط الزراعي ولمتابعة الأنشطة غير المشروعة مثل عمليات تجارة المخدرات وتهريب الأثار وسرقتها فضلاً عن استخدام الدرون للأغراض الحربية وفي إصابة الأهداف وعمليات التجسس وغيرها من الأغراض الحربية والسياسية، وهي تتمتع بأهمية كبيرة لتزايد

مجالات استخدامها في الحياة العامة ومن المتوقع زيادة استخدامها في المستقبل وخاصة في ظل تنامي الاهتمام من جانب الشركات والدول المتطورة (الحمزة، 2024، صفحة 396)

ليست كل الطائرات الدرون متشابهة في خصائصها العامة لكنها تشترك ببعض الخصائص الأساسية مثل قدرتها على التحليق عن بعد والقيام بالمناورات اثناء الطيران وفضلاً عن قدرتها على التحمل والسرعة وحمل الحمولة (الأمير، 2023، صفحة 131).

تتميز الدرون بسرعة طيران مختلفة ومتغيرة ومرونة في التحكم وقدرة على تحمل الظروف الجوية القاسية ،وهي لا تحتاج الى الكثير من الصيانة مثل الطائرات الحربية والمدنية التقليدية وتزن بحدود 3,9 كغم ويمكن بكل سهولة تفكيكها واعادتها وهي سهلة النقل والحمل ويتم التقاط الصور عند تحليقها في الهواء وبشكل آلي بالكامل وفي حالة مواجهتها لأي عارض جوي يمنع إتمام عملية التصوير تعود الطائرة وبشكل آلي الى مواقع الإقلاع ومن الممكن ان تهبط اضطراري عند الحاجة (Oczipka, 2019, p. 2).

وتمتاز الدرون بسهولة التحكم بها وهي مناسبة مالياً، وهي حالياً من انسب الوسائل للتصوير الجوي ودراسة المساحات الكبيرة وتوثيق المواقع الأثرية ودراسة تفاصيل العمائر القديمة التي يصعب تحديدها ودراستها من على الأرض (Whitley, T, 2015, p. 14)، وللدرون القدرة على الارتفاع والدخول الى مواقع تستحيل على الانسان جسدياً ويمكنها دخول أماكن قد تصعب على الاثاريين دخولها وهي قادرة على تغيير حدود الفهم البشري لاستخدامها مستشعرات حساسة لمدى متعدد الطيف الكهرومغناطيسي، الا ان فعاليتها مقيدة بالعنصر البشري الموجه وما يمتلكه من خبرة لأنه هو المسؤول عن حركتها وطريقة تصويرها، فهي غير قادرة الى اتخاذ القرار أو تقدير خطة العمل بدون تدخل الانسان وإعطاءها الأوامر المناسبة، وباشتراك الجهود بين الانسان والألة يتوسيع إدراك الأثاري لمفهوم وتكوين وتخطيط الموقع الأثري (Carvolho, D., 2024, p. 4).

وللدرون القدرة على تصوير المواقع جوياً بعدة طرق، كالتصوير العمودي أو المائل لتغطية مساحات سطحية بسهولة ومرونة مع القدرة على التصوير الثلاثي الابعاد (Ebolese, D, 2019, p. 495) ، وهي قادرة على الطيران لمدة 10 الى 25 دقيقة في الهواء اعتماداً على وزن الحمل الذي تحمله، اذ كلما زاد وزن حملها قلة مدة الطيران وبالعكس، فهي تعتمد على بطاريات من نوع الليثيوم قابلة للشحن ومن الممكن استخدام بطاريتين معاً لإطالة الرحلة ولتخفيف حركة الطائرة وزيادة سرعتها (Themistoleaus, K, 2020, p. 243).

أسلوب الدرون في مسح المواقع الاثرية

أصبحت الطائرات بدون طيار الدرون (AUVS)واحدة من ألاجهزة التكنولوجيا المتقدمة يستخدمها علماء الأثار لإنجاز أعمال المسح والتوثيق وتحليل المعالم والهياكل التاريخية ورسم الخرائط الجوية بدلاً من عمليات المسح التقليدية وهي قادرة على التقاط صور بدقة مكانية عالية جداً تصل الى بضع سنتميترات لكل بكسل، وهي الحل الأمثل لمشكلة الغيوم والتأثيرات الجوية فضلاً عن إمكانية إعادة وتكرار عملية المسح بكل سهولة للوصول للوضوح أو الدقة الأمثل، وهي فعالة في وصف المواقع الاثرية المهملة أو البعيدة وفي تحديد عمليات السرقة والنهب والتجاوزات والبناء العشوائي الذي ظهر وانتشر خاصة بعد عام 2003 (Qubaa, A., and Al Hamdani,S, 2021, p. 82)، ويعتمد عمل الدرون بشكل أساسي على الكاميرات المزودة بنظام ذكي يمكنها من تجنب العقبات،

فالكاميرات الأمامية تسمح للطائرة القدرة على تمييز الأهداف وقياس المسافات وتجنب العوائق بحركة تلقائية كرد فعل للمتحسسات المزودة بها الطائرات، وتحافظ الطائرة الدرون على مسار ثابت اثناء الطيران ويمكن ربط الطائرة بجهاز الموبايل لتسلم بث حي من الكاميرا وباستخدام برامج خاصة لتنظيم عملية الاستلام ومتابعة خطة الطيران (الحسيني، 2022، صفحة 242). وتثبت على الطائرة بالإضافة للكاميرا أجهزة استشعار وتحسس للطيف المرئي والمتعدد كمتحسسات الاشعة تحت الحمراء والحرارية فضلاً عن انها مزودة بأجهزة تحديد مواقعGPS داخلي وبوصلة وجهاز حساس للارتفاعات والانخفاضات (Ebolese, D, 2019) ، وكل الوسائل المتطورة الحديثة التي تسهل من عملية التقاط الصور وتعيين الأهداف الأرضية من الجو بدقة وسرعة زمنية ملحوظة.

ويستخدم التصوير المرئي الـ RGB في تصوير الأثار ويستفاد منه في تمييز العلامات المهمة مثل علامات الظل والتربة والنبات والعلامات الإيجابية والسلبية وفي تحديد الاختلافات اللونية في الموقع الأثري، اما بالنسبة للبقايا الاثرية التي لا تظهر تمييز طيفي أو علامات بارزة في المحيط الأثري يمكن استخدام مدى طيفي أوسع من المدى المرئي (Adamopoulos, E., and Rinaudo, F, 2020, p. 5)، مثل استخدام كاميرات حرارية ضمن مدى الاشعة تحت الحمراء للكشف عن ما هو مدفون تحت الأرض من أثار دون الحاجة للقيام بأعمال الحفر، وبهذا تكون قد ساعدت طائرات الدرون في تغير طريقة الأبحاث الأثرية اذ اصبح بالإمكان رسم خرائط لأي موقع أثري وبصيغة ثلاثية الأبعاد وحساب البعد الفعلي للهدف المدفون وتحليل حالة الهدف والمحيط (Lathrop, N, 2023, p. 30)، ولا بد من التأكيد على ضرورة وجود التداخل في اللقطات عند التصوير بالدرون حتى توفر فرصة انشاء نموذج 3D ثلاثي الابعاد وباستخدام برامج وتطبيقات على الحاسبة أو الموبايل تنظم عملية التقاط وتجهيز رحلة الطيران (Lathrop, N, 2023, p. 39) ، ولا بد ان تتم عملية المسح الاثري بالدرون وفق خطوات:

أولاً: اعداد الأجهزة المسؤولة عن المسح وتحديد الوقت والتاريخ الأمثل للطيران.

ثانياً: المباشرة بالتقاط الصور وتوجيه الكاميرات على الأهداف بالشكل المناسب.

ثالثاً: تجميع الصور بشكل فسيفساء للانتقال لمرحلة تحليل واستخلاص المعلومات من الصور بعد بناء مشهد كامل للموقع الأثري بعملية المعالجة الرقمية وانشاء نماذج ثلاثية الابعاد (Qubaa, A., and Al Hamdani,S, 2021, p. 186).

ومن الضروري اخذ مجموعة من النقاط والاحداثيات لزوايا الموقع باستخدام الـ GPS والذي يستفاد منه فيما بعد في عملية الارجاع أوالاسناد الجغرافي للصور وبناء النماذج الثلاثية الابعاد (كامبانا، 2019، صفحة 31)، ومن الأساسيات التي لا بد من توفرها لضمان نجاح عملية المسح بالدرون نذكر منها:

1. جودة المعدات المستخدمة.
2. نوع البيانات والبرامج المستخدمة للمعالجة.
3. أسلوب المسح المستخدم.
4. خبرة ومهارة المفسر الأثري.
5. نوع الحاسبة والمعالج المستخدم في تحليل الصور (Pecci, A, 2020, p. 3).

ويفضل عند مسح أي موقع أثري تشغيل طائرة الدرون 3 مرات على الأقل، أولاً لالتقاط الصور بالطيف المرئي RGP ومن ثم لالتقاط صور بالأشعة تحت الحمراء أو باستخدام فلاتر أخرى (Lathrop, N, 2023, p. 11).

ولابد من توفر ظروف مناسبة للتصوير بالمستشعرات الحساسة ويفضل التصوير في منتصف النهار في جو خال من السحب والضباب لان الانعكاس الشمسي عن الاسطح مهم جداً في زيادة دقة البيانات المستلمة ولابد من تقليل سرعة الطيران للحصول الى الدقة الأمثل (Casana, 2024, p. 10)، ويفضل ايضاً اختبار منطقة مفتوحة ومستوية خالية من العمائر والنباتات لتكون عملية الإقلاع ناجحة (Hernandez, J, 2024, p. 9).
ان التطور الكبير في الملاحة الجوية للطائرات بدون طيار الدرون وتطوير المستشعرات التي أصبحت جداً صغيرة وسرعة تطور البرامج المختصة برسم الخرائط التي ظهرت في العقد الماضي ساعد على تأسيس مناهج اثارية قائمة على الأنظمة الجوية وتصوير الطائرات بدون طيار (Adamopoulos, E., and Rinaudo, F, 2020, p. 12)، ولا بد ان نشيرالى أهمية ودور العنصر البشري في إنجاح عملية المسح بالدرون، اذ يلعب العنصر البشري دوراً بارزاً في إنجاح عملية التشغيل واستمراره وفي تخطيط مهمات الطيران وفي التحكم بالطائرة ومراقبة سير عملية المسح وهو امر مهم جداً حتى مع أكثر الطائرات الدرون تطوراً (الخليل، 2019، صفحة 24).

الفرق بين الصورة والمرئية وعلاقتها بنظم المعلومات الجغرافية

يقصد بالمرئية الفضائية (Space images) هي الصورة الرقمية الاصلية لأجهزة الاستشعار عن بعد المعمولة على الأقمار الاصطناعية (العنفري، 1986، صفحة 11)، والتي أصبحت وسيلة مهمة في مسح المواقع الأثرية وجمع المعلومات السطحية الأرضية، وهي على أنواع تختلف باختلاف الشركات أو الجهات المصنعة لها مثل أقمار Landsatالأميركية و Spot الفرنسية الخاصة بالتقاط المرئيات المتعددة الاطياف المختلفة الحزم الطيفية وتمتاز هذه المستشعرات بدقة النتائج والوضوح (احمد، 1433 هـ، صفحة 9)، وبالرغم من جودة هذه المرئيات الفضائية وقدرتها على تغطية مساحات أكبر من التصوير الجوي بالطائرات ورغم دقتها العالية إلا انها مكلفة جداً، وحتى مع توفر مرئيات مجانية وبدقة 10م مثل قمر Sentinel إلا أنه غير فعال في المناطق الأثرية الصغيرة التي تحتاج الى دقة لا تزيد عن 3م، فالمناطق الأثرية القديمة غالباً ما كانت تشغل مساحات صغيرة مقارنة بمساحات المدن الواسعة (Qubaa, A., and Al Hamdani,S, 2021, p. 182) ويقصد بدقة المرئية الفضائية أي قدرة الكاميرا على تحديد معالم الأرض والتمييز بينهما مكانياً وطبيعياً واشعاعياً حتى زمنياً فالمرئيات الفضائية لها ميزة تنوع وتعدد النطاقات الBand أوChannel ضمن طول موجة الطيف الكهرومغناطيسي والتي تحدد بحسب قدرة المستشعرات المحمولة على القمر الاصطناعي، وقدرة التصوير المتعدد النطاقات اكبر من قدرة التصوير بنطاق واحد فكلما تعددت النطاقات زاد التمييز بين المعالم الأرضية المصورة فضلاً عن قدرة هذه المستشعرات على أخذ لقطات متعددة ومتكررة لنفس المنطقة وفي مدة زمنية محددة مما يساعد على تتبع الظواهر وتمييز التغيرات (هيام، 1410هـ، صفحة 141).

وبالرغم من إيجابيات استخدام المرئيات الفضائية في التصوير الجوي او الفضائي إلا انها تبقى غير فعالة في عمليات التصوير الأثري، ويفضل استخدام التصوير بطائرات الدرون عند مسح ودراسة المواقع الأثرية ولمجموعة من الأسباب نذكر منها:

أولاً: سهولة الحصول عليها واستخدامها.

ثانياً: تكلفتها القليلة مقارنة بصورة الأقمار وتوفرها بعدة أنواع.

ثالثاً: دقة التصوير التي قد تصل الى بضع سنتمترات للأهداف الأثرية في الموقع.

رابعاً: يمكن السيطرة على عملية تشغيلها من على الأرض والتحكم بطيرانها (Qubaa, A., and Al Hamdani,S, 2021, p. 183).
خامساً: صغيرة الحجم وتحمل أدوات وأجهزة ومستشعرات.
سادساً: لا تستهلك وقود وتعتمد على بطاريات الليثيوم القابلة للشحن.
سابعاً: لها القدرة على تحمل المطبات الجوية والمراوغة والالتفاف عند الطيران.
ثامناً: يمكن ربط مستشعرات أقرب الى مستشعرات المحمولة على الأقمار وبتكلفة اقل.
تاسعاً: بالإمكان تشغيلها وتكرار عملية المسح الجوي لأكثر من مرة للتأكد من دقة التصوير ولغاية الحصول على نتائج المرغوبة (Nilsson, D., p. 39).

ان أسلوب عمل نظم المعلومات الجغرافية يعتمد على ادخال البيانات الجغرافية وتخزينها ومن ثم معالجتها باستخدام الحاسبة، وتركز هذه النظم على معالجة بيانات خطية وخرائط أساسية للوصول للنتائج المطلوبة وبسبب تنوع البيانات الأثرية وكثرة الدراسات التاريخية للمواقع الأثرية اضطر الباحثين الآثاريين الى الاعتماد على الحاسوب وبرامجه المتطورة مثل برامج نظم المعلومات والـ Arc GISلخزن وتحليل البيانات الأثرية في الصور والمرئيات الفضائية (عثمان، 2007، صفحة 157).

وباستخدام صور وطائرات الدرون في عمليات مسح وتصوير المواقع الاثرية لا تكون العملية قد اكتملت وجميع النتائج قد ظهرت الا بادخال هذه الصور على شكل بيانات ورقية الى الحاسبة ومعالجتها بنظم المعلومات الجغرافية في حاسوب متطور لتفسير الصور الجوية الملتقطة بالدرون ،ولاتمام عملية التفسير لابد من اتباع خطوات محددة:

1. ادخال البيانات الصورية باستخدام الماسح الضوئي الـ Scanar.
2. عمل ارجاع جغرافي أو تصحيح هندسي للصورة بربطها بمعلومات الموقع الجغرافي وبأربع نقاط معلومة جغرافياً.
3. فحص الصورة ومعاينتها وتحديد العناصر المهمة فيها.
4. بناء قاعدة بيانات لتعريف محتواها الجغرافي الأثري.
5. انشاء شكل الخارطة النهائي وتعيين الرموز المناسبة.

ويكون الناتج النهائي لهذه العملية وهذه الخطوات هو انشاء خارطة رقمية من الصور الجوية للدرون، والتي أثبتت أهميتها في عمليات المسح الأثري وأصبح لا غنى عنها في العمل الأثري الحقلي وحتى مع وجود مرئيات فضائية للموقع (Kennedy, 1998, p. 555).

استخدامات الدرون في الأثار

الطبيعة هي كل ما يحيط بنا من أشجار وانهار وجبال ونحن نستطيع ان نمشي على الأرض لكن لا نستطيع ان نراها مثلما يراها الطائر في السماء، ولابد للآثاري الجوي ان تكون له هذه النظرة الفوقية مع قدرة على التمييز الجوي للبقايا الأثرية، وإذ لم تتوفر صور الأقمار الاصطناعية بالدقة المناسبة بإمكان الآثاري الجوي اللجوء الى الطائرات الدرون للحصول على صور كاملة للموقع الاثري وبالدقة المناسبة (Nilsson, D., p. 241).

وبفضل التطور والتكنولوجياالكبير للطائرات الدرون اتسع مجال استخدامها لتشمل عدة مجالات منها التجاري والعسكري وفي عمليات نقل البريد وفي السينما وتصوير الأفلام وحتى في مجال المساعدات الطبية (معروف، المسؤولية عن الاضرار الناتجة عن استخدام الطائرات بدون طيار (الدرونز) في القوانين الداخلية والقانون الدولي، 2019-

2020، صفحة 335) حتى دخلت مجال علم الاثار الميداني وأصبحت عمليات الحفر والمسح في الموقع الأثري غير ممكنة من دون استخدام هذه التقنية (Carvalha, 2024, p. 2).

ومن أهم استخدامات الدرون في الآثار

1. تستخدم الدرون في اجراء عمليات المسح السريعة للمواقع الأثرية للحفاظ عليها من الاندثار بسبب امتداد المزارع والامتداد السكاني، لانخفاض أسعارها وسرعة أدائها (Pentiss, 2016, p. 30).
2. استخدام الدرون كمنصة لتثبيت أنواع مختلفة من المستشعرات مثل مستشعرات الطيف المرئي وكاميرات الطيف المتعددة الاشعة تحت الحمراء والحرارية وهي منصة قوية جداً ولها القدرة على المناورة بزوايا مختلفة للحصول على الصور الاوضح والأدق (Themistoleaus, K, 2020, p. 242)
3. تكشف الطائرات الدرون عن حجم، شكل الموقع الاثري وعن وجود البقايا الاثرية او عدم وجودها في مواقع قد تكون غالباً غير مرئية للعنصر البشري من الرؤية الأرضية (Pecci, A, 2020, p. 1)
4. وبإمكان الدرون ان تنظم التقاط الصور بأسلوب يضمن وجود وتداخل بين الصورتين المتتابعتين لإنتاج رؤية ثلاثية الابعاد 3D وباستخدام برامج خاصة بالدرون تساعد على التحكم بلقطات الكاميرا ومعالجة الصور والبيانات الأثرية النهائية للموقع (Lathrop, N, 2023, p. 11).
5. تستخدم الدرون للكشف عن الرسومات الأثرية التي على الصخور الجبلية الوعرة في المناطق المغطاة بالنباتات الكثيفة والشجيرات التي قد تمنع الأثاري من الوصول اليها مثل الكهوف والملاجئ القديمة للإنسان القديم والتي غيرت التحولات الطبيعية في الماضي من شكلها وبتأثير التآكل والتفتت والانهيار الصخري أصبح من غير الممكن الوصول الى مداخل هذه الكهوف وأصبح يفضل استخدام الدرونز عوضاً عن تسلق الجبال لكشف وتصوير الرسومات القديمة التي على جدران هذه الكهوف (Hernandez, J, 2024, p. 403) الشكل (4)
6. استخدم الدرون كحاملات للأدوات وأجهزة الكشف الجيوفيزيائي مثل المستشعرات المغناطيسية والرادارية والتي استخدمت بكثرة في الدراسات والكشوفات الأثرية لأنها أكثر مرونة من طائرات الهليكوبتر وتحديداً في المناطق التي يصعب التنقل فيها وحمل الأجهزة، ويفضل ربط هذه المستشعرات الجيوفيزيائية بأسلاك وخيوط تبعدها قليلاً عن مستوى الطائرة حتى لا تؤثر على نتائج المسح وهذ الطريقة ناجحة وغير مدمرة للموقع الأثري وهي أكثر نفعاً في المناطق الكبيرة (Cao, 2022, pp. 2-3).الشكل (5)
7. يمكن الاستفادة من بيانات برنامج google earth في اعداد وتقسيم موقع المسح الاثري وفي تحديد المعاثر الأثرية (Nilsson, D., p. 28).
8. تستخدم صور الدرون في انشاء ملف نموذج وارتفاع رقمي DEM في معالجة صور المواقع الاثرية باستخدام برامج الArc GIS (Adamopoulos, E., and Rinaudo, F, 2020, p. 10).

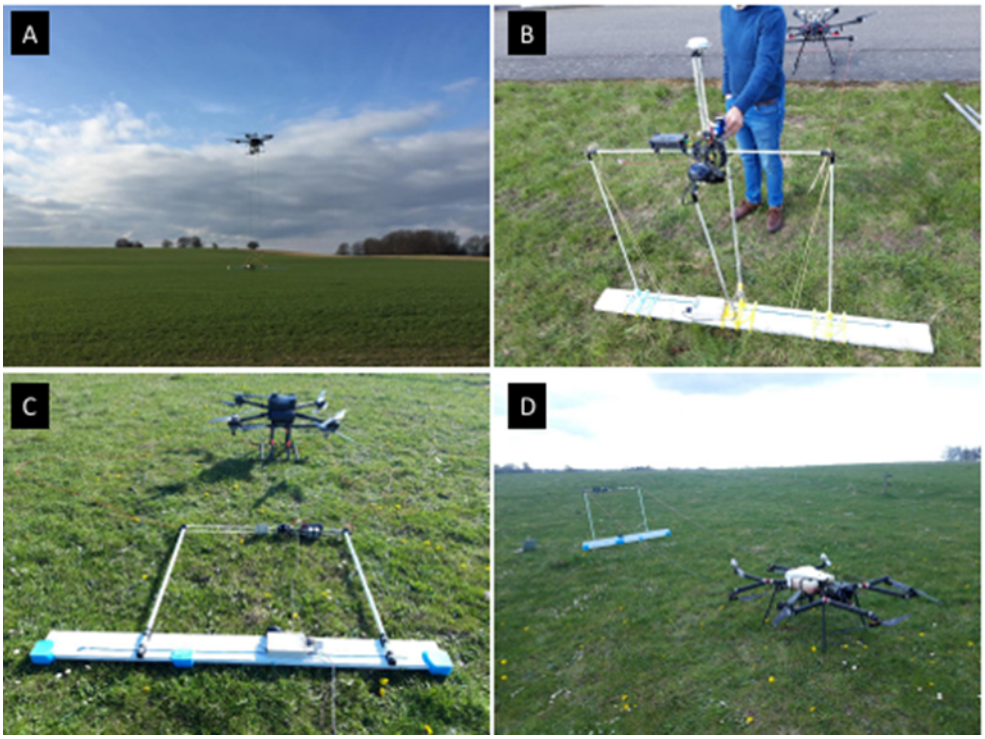
الاشكال

الشكل (1) اشكال وتصاميم الطائرة الدرون
من شبكة الانترنت

الشكل(2) الطرق القديمة في تصويرالمواقع الاثرية
Campana, S. P.op.cit.p.2

الشكل (3)الأجزاء الأساسية للدرون
المالكي، شمسان المصدر السابق،ص28

الشكل (4) الكشف عن الرسوم الجدارية في كهوف الجبال
Hernandez, J.,op.cit,p.3



الشكل (5) استخدام الدرون كحاملة للمستشعرات المغناطيسية والرادارية
Cao, W.,op.cit,p.3.

المصادر الاجنبية

1. **Adamopoulos, E. a. (2020). *UAS-Based archaeological Remate Sensingi review meta analysis and state of the Art drones,* (Vol. 4).**
2. **Campana, S. P. (2017). Prones in Archaeololgy, statc of art and future prespectines, archa eological prospection.**
3. **Cao, W. (2022). Pre-archaeological in vestigation by integrating Unmmanned arial vehicle arcomangneic surveys and Eoil analyses,Drones.**
4. **Carvolho, D. (2024). Acritical theory of the drone in archapology on space, epistemology and automation Dron syst Appl,.**
5. **Casana, J. a. (2024). Drone- Acquived short wave in frared (SWIR) Imag evyi land scape archaeologyi an Experimental apprioach Remate sens.**
6. **Ebolese, D. (2019). UAV Survey for the archaeological map of lilybaeumcm arsala. the international archives of the photogrammetry, XLII.**
7. **Hernandez, J. (2024). A method dogicall Approach to rack art every and recording via drone the application to the rackart to the mediterranean Basin of the Iterian peninsulassem blage, Drone sys Appli.**

8. Kennedy, D. (1998). Declassified Sstallite photographs and archaeaology in the middle east case studyies from Turkey an tquity.
9. Lathrop, N. (2023). Prone and photogrammetry use in the spatial analysis of fortres, archaeologyical sites, we stern calarado, Geas patial Sci from NAV.
10. Nilsson, D. (n.d.). The Usage of Unmanned nerial Vehicleff and their prospects in archaeology, master thesis for master degree in narchaeology, lund Und Versity.
11. Oczipka, M. (2019). UAV Survey for the archaeological map of lilybaeumcm arsala. the international archives of the photogrammetry, XLII.
12. Palik, M. a. (2019). Briefhistory of UAV Development. RK.
13. Pecci, A. (2020). Digital survey from drone in archaeologyi potentiallty, limits tsterritorial archaeologyical context and varites, Iopconf. Series1949.
14. Pentiss, A. (2016). Drones in archaeology SAA archaeological record (Vol. 76).
15. Qubaa, A. a. (2021). Detecting abuses in archaeological areas using K.mean ctustering analysis and UAVs drones data. Engineering and environmental Sciences.
16. Themistoleaus, K. (2020). The use of UAV for culthural heritage and archaeology.
17. Whitley, T. (2015). Unmanned arial vehicles (UAVs) for pocumenting and interpreting historical archaeo logical sites: part 1 attack of the dronos thechnical, Briefs in historical archaeology

المصادر العربية

1. احمد ابو القاسم الحسن وعباس سيد احمد. (1433 هـ). *الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقمياً*. الرياض: دار وجوه للنشر.
2. ادارة *الدراسات والبحوث الطائرات المسيرة سباق التسليح للمجموعات الارهابية، قضايا الارهاب*. (2023).
3. اولى ستين هانسن. (2007). *طائرة رابتور* (طبعة 1). القاهرة: الترجمة: دار الفاروق للاستثمارات الثقافية.
4. حسين باسم عبد الأمير. (2023). *عصر الطائرات بدون طيار وتأثيرها على التفكير الاستراتيجي حول الحرب*. جامعة كربلاء ، المستقبل العراقي للدراسات السياسية والاستراتيجية.
5. خالد محمد العنفري. (1986). *الاستشعار عم بعد وتطبيقاته في الدراسات المكانية*. الرياض: دار المريخ للنشر.

6. ستيفانو كامبانا. (2019). *تطبيقات الاستشعار عن بعدفي علم الأثار* (المجلد طبعة 1). (ياسر مهدي، المترجمون) بيت الجغرافية.
7. شاري خالد معروف. (2019-2020). المسؤولية عن الاضرار الناتجة عن استخدام الطائرات بدون طيار (الدرونز) في القوانين الداخلية والقانون الدولي. *المجلة الاكاديمية لجامعة نوروز*.
8. شمسان راجح المالكي. (2024). *الطائرات المسيرة الخصائص والاستخدامات* (المجلد 34).
9. طارق الراوي. (2015). *الطائرات المسيرة*. الانبار.
10. طاهر شوقي مؤمن. (2016). النظام القانوني للطائرات بدون طيار (مجلد 1). السعودية: جامعة الملك خالد.
11. طه بدر الدين عثمان. (2007). الحسن احمد ابو القاسم. نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها في علم الاثار وادارة الموارد التراثية وادامتها.
12. عباس علي عباس الحسيني. (2022). المسح الأثري تقنيات ومناهج وتطبيقات. مجلة درسات.
13. حسن هادي عبد الحمزة. (2024). التنظيم الدولي للطائرات المسيرة. مجلة الجامعة العراقية، مجلد 16(عدد 2).
14. عمر محمد الخليل. (2019). المساحة التصويرية باستخدام الطائرات دون طيار. جامعة تشرين.
15. محمد صالح الحربي. (2019). الدرونز سلاح الجيل الثالث في الحرب. صحيفة الشرق الاوسط.
16. مرتضى علي كريم واشواق عبد الرسول. (2024). المسؤولية المدنية في اضرار الدرونز دراسة مقارنة. *مجلة المعهد، العدد 16*.
17. يوسف هيام. (1410هـ). *المساحة الجوية والاستشعار عن بعد*. عمان: دار مجدلاري للنشر.

المصادر العربية مترجمة

1. Ahmed Abu Al-Qasim Al-Hassan and Abbas Sayed Ahmed. (1433 A.H.). *Remote sensing and digital image processing.* Riyadh: Faces Publishing House.
2. Department *of Studies and Research, Drones, Arms Race for Terrorist Groups, Terrorism Issues.* (2023).
3. Olis Steen Hansen. (2007). *The Rapunor Plane* (1st Edition). Cairo: Translation: Dar Al-Farouk for Cultural Investments.
4. Hussein Bassem Abdul-Amir. (2023). *The Age of Drones and Their Impact on Strategic Thinking About War.* University of Karbala, The Iraqi Future of Political and Strategic Studies.
5. Khaled Mohammed Al-Anfari. (1986). *Dimensional sensing and its applications in spatial studies.* Riyadh: Dar Al-Mareekh Publishing.

.6 Stefano Campana. (2019). *Applications of Remote Sensing in Archaeology* (Volume 1 Edition). (Yasser Mahdi, Translators) Geography House.

.7 Khaled Shari Maarouf. (2019-2020). Liability for Damage Resulting from the Use of Drones in Domestic Laws and International Law. *Academic Journal of Nowruz University*.

.8 Shamsan Rajeh Al-Maliki. (2024). *Drones: Characteristics and Uses* (Volume 34).

.9 Tariq Al-Rawi. (2015). *Drones.* Anbar.

.10 Taher Shawqi Momen. (2016). The Legal System of Drones (Volume 1). Saudi Arabia: King Khalid University.

.11 Taha Badr al-Din Othman. (2007). Alhassan Ahmed Abu Al-Qasim. Geographic Information Systems and their Applications in Archaeology and Heritage Resources Management and Sustainability.

.12 Abbas Ali Abbas Al-Husseini. (2022). Archaeological Survey: Techniques, Methods, and Applications. Lessons Magazine.

.13 Abdel Hamza and Hassan Hadi. (2024). International Regulation of Drones. Journal of the Iraqi University, Vol. 16 (No. 2).

.14 Omar Muhammad Al-Khalil. (2019). Imaging Space Using Drones. Tishreen University.

.15 Muhammad Saleh Al-Harbi. (2019). Drones are the third generation weapon in war. Asharq Al-Awsat newspaper.

.16 Murtada Ali Karim and Ashwaq Abdul Rasool. (2024). Civil Liability in Drone Damages: A Comparative Study. *Journal of the Institute, Issue 16*.

17. Yousef Hiyam. (1410 A.H.). *Aerial Survey and Remote Sensing.* Amman: Majdalari Publishing House.