مجلة "منبر التراث الأثري"
ISSN: 2335-1500, EISSN: 2602-7267

المجلد: 13؛ العـدد: 01؛(2024)
ص45– 62

أهمية استعمال الاستشعار عن بعد في البحث الأثري وتوثيق المواقع الأثرية

The importance of using remote sensing in archaeological research and documentation of archaeological sites

ط.د. دحماني بلقاسم، جامعة زيان عاشور الجلفة (الجزائر)، belkacem.dahmani@univ-djelfa.dz

تاريخ الاستلام: 2022/05/15 **تاريخ القبول:** 2024/05/15 **تاريخ النشر:** 2024/12/01

ملخص:

يشكل استعمال التقنيات الحديثة في مجال البحث الأثري بالجزائر من أهم أولويات الباحث الأثري، ذلك لما يميز الجزائر من مساحة شاسعة يصعب فيها المسح الأثري والكشف عن الآثار بالطرق التقليدية وهنا يكون دور الاستشعار عن بعد عن طريق الأقمار البصرية والاستشعار عن بعد بواسطة الموجات الميكروية .

إن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد والاستفادة من صور الأقمار الصناعية وتحليلها وفق برامج خاصة تساعد في الكشف عن الآثار أولا وتوثيقها ثانيا وحمايتها من الأخطار مثل الفيضانات وذلك بمساعدة أنظمة الإعلام الجغرافي وتطبيقات الذكاء الاصطناعي.

يتم دعم هذه النتائج المحصل عليها بالتحقيق الميداني، كما تمكننا هذه التقنية من تتبع التغيرات التي تطرأ في المناطق المحيطة بالمواقع الأثرية واستباق الأخطار واتخاذ الإجراءات الضرورية لحماية المواقع والمعالم الأثرية، مع ذكر بعض الأمثلة من مختلف مناطق العالم في استخدام الاستشعار عن بعد وفي الأخير التعريف بجهود علماء الآثار في توظيف الذكاء الاصطناعي في المسح الأثري .

كلمات مفتاحية: البحث الأثري؛ الاستشعار عن بعد؛ أقمار صناعية؛ المسح الأثري؛ الذكاء الاصطناعي.

Abstract:

The use of modern technologies in the field of archaeological research in Algeria is one of the most important priorities of the archaeological researcher, and what distinguishes Algeria is it's a vast area in which it is difficult to archaeological survey and detect antiquities by traditional methods, and here is comes the role of remote sensing through optical satellites and remote sensing by microwaves.

Using remote sensing techniques and making use of satellite images and analyzing them according to special programs helps ،first in detecting the biofacts , seconds, documenting them and protecting them from dangers such as floods, with the help of geographical information systems and artificial intelligence applications

These results are supported by field investigation, and this technology enables us to track changes that occur in the areas surrounding archaeological sites, anticipate dangers and take the necessary measures to protect sites and monuments, with some examples from different regions of the world using remote sensing and Finally, introducing the efforts of archaeologists to employ artificial intelligence in the archaeological survey.

Keywords: achaeological research; remote sensing; satellites; archaeological survey; artificial intelligence.

مقدمة:

يعد الاقليم الجزائري من أبرز الأقاليم من حيث المساحة وهذا ما يصعب عملية البحث الأثري بالإضافة الى تنوع جغرافي يجعل عملية المسح الأثري جد صعبة في بعض المناطق والتكلفة المالية العالية بالنسبة لطرق المسح التقليدية.

ومن أجل الاستفادة من الطرق الحديثة في المسح الأثري وعلى رأسها التقنيات المكانية (spatial technologie)[1] مثل انظمة الاعلام الجغرافي، الاستشعار عن بعد ونظام التموقع العالمي، بالإضافة إلى الصور العالية الدقة التي ساهمت في الكشف عن مواقع أثرية جديدة وحفظ الأثار الموجودة وتوثيقها.

- **أهداف البحث:**

سنحاول من خلال هذا البحث التعريف بالاستشعار عن بعد وذكر أهم أنواعه مع شرح أهم اساسيات الاستشعار عن بعد عبر الاقمار الصناعية باستخدام بيانات مفتوحة المصدر متوفرة، بحيث يمكن لأي شخص الوصول اليها عن طريق الانترنت واستخدامها في البحث الأثري والتمكن من المفاهيم والمصطلحات المتعلقة بالموضوع.

- **منهجية البحث:**

تتمثل في المنهج الوصفي التعريف بالاستشعار عن بعد وذكر أهم أنواعه وفق المنهج الوصفي، استعمال المنهج التحليلي في تفسير وتحليل ومعالجة البيانات والصور المحصل عليها.

- **الاشكالية:**

ترتكز الاشكالية الأساسية في كيفية الاستفادة القصوى من التقنيات المكانية وخصوصا الاستشعار عن بعد في مجال البحث الأثري وتوظيفه بشكل فعال في الكشف عن الأثار والحفاظ عليها وتوثيقها.

ومنه نطرح التساؤلات التالية:

1- ماذا نقصد بالاستشعار عن بعد وماهي أهم أنواعه وخطوات إنجازه؟

2- إلى أي مدى يمكن توظيفه في مجال البحث الأثري؟

[1] Michael Andrew McAdams , The use of remote sensing in the protection nd management of archaeological sites: A case study ofthe Anastasian wall , Scientific Research and Essay Vol. 5 (1), January, 2010 ,pp. 055-062.

3- أين تكمن أهمية استعمال الاستشعار عن بعد في البحث الاثري وخصوصا في الجزائر؟

- **الفرضيات:**

– الاعتماد على الاستشعار عن بعد يساهم بشكل فعال في الكشف عن المواقع الأثرية.

– توظيفه بشكل جيد يساعد في الحفاظ التراث الأثري المادي وتوثيقه وحمايته من الأخطار بمساعدة أنظمة الإعلام الجغرافي.

– فهم العلاقة بين الموقع الأثري والمحيط مثل الغطاء النباتي والتربة وطبوغرافية المنطقة.

1.. لمحة عامة عن الاستشعار عن بعد:

علم الاستشعار عن بعد هو علم الحصول على معلوماتٍ عن أيّ جسم ماديّ دون لمسه، أي بمعنى آخر، التعرف عليه من مسافة بعيدة. وهو ما تقوم به وكالات الفضاء الدولية، ولتحقيق ذلك نعمد لالتقاط ترددات الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من سطح الأرض من منظور علوي، وذلك بالاستعانة بالأقمار الصناعية والطائرات المسيرة دون طيار.

1.1.. تعريف الاستشعار عن بعد:

نجد تعريفين رئيسين لهذا المصطلح مجال علم الأثار[1]:

- تقنية الحصول على معلومات عن الاشياء من خلال تحليل البيانات التي جمعت بواسطة المستشعرات والتي ليست في اتصال مباشر مادي مع الاجسام المستهدفة، والتي غالبا ما تستعمل فيها الأقمار الصناعية الطائرات والطائرات بدون طيار فهو يختلف عن الاستشعار الارضي الذي تلامس في الأجهزة فيزيائيا الارض، مثل الرادار المخترق لسطح الأرض.
- أما الفريق الاخر لعلماء الاثار فيرى بأن الاستشعار عن بعد بأنه تلك الطريقة غير المدمرة للمشهد الأثري المطمور ودون العبث بالدليل المخفي للحياة في الماضي، هذه الطريقة لا تتضمن فقط الاجهزة المحمولة

[1] ستيفانو كامبنا ، تطبيقات لاستشعار عن بعد في علم الآثار ، تر : ياسر مهدي ، الطبعة الاولى ، بيت الجغرافيا ، 2019 ،ص:04.

جوا بل تشمل أيضا الاجهزة الجيوفيزيائية وغيرها من أجهزة المسح ويدخل أيضا ضمنه الاستشعار عن بعد لما هو موجود تحت سطح البحر وكل ذلك دون التأثير على التتابع الطبقي للموقع الأثري.

2.1.. البدايات الأولى للاستشعار عن بعد:

تعود بدايات الاستشعار عن بعد إلى منتصف القرن التاسع عشر الذي عرف تقنية التصوير من المناطيد الاستطلاعية. حيث شهد عام 1874 تصوير مدينة "بيرسبوليس" الاثرية في إيران على يد "ستولز" و"اندرياس"، وفي بدايات القرن العشرين وفي عام 1909، التقط "ويلبر رايت" الصور الأولى من طائرة استطلاعية قادها فوق مطار سينتوتشيلي الإيطالي، قُرب روما. مع بداية الحرب العالمية الأولى، ظهرت الأهمية الإستراتيجية للتصوير الجوي، ودخل الاستشعار عن بعد حيز التطبيق المنهجي بعد أن أدرك الجيش أهميته للمراقبة والاستطلاع. عرف هذا المجال المزيد من التطور خلال الحرب العالمية الثانية، التي شهدت تطور استخدام أمواج الطيف غير المرئي، وخاصة الأشعة تحت الحمراء وموجات الإشعاعات الميكروية. تناقلت الأجيال المعلومات والمعارف التي تم جمعها على مدار سنوات الحرب العالمية الثانية وصولاً إلى حقبة الحرب الباردة، حيث أصبح التحليل الاستراتيجي للصور أداةً لرصد الأحداث في أعماق الاتحاد السوفيتي. مع ذلك، تم تطوير تقنيات جديدة مثل طائرة الاستطلاعU-2 ، ولاحقاً إطلاق أقمار CORONA ، والتي لا تزال صورها تستخدم لرصد وتوثيق المواقع الأثرية في يومنا هذا[1].

مع تطور التكنولوجيا العسكرية، بعد ذلك نقل بعض تقنياتها وتطبيقاتها إلى القطاع المدني شكل إطلاق القمر الصناعيLandsat-1 في عام 1970 علامة فارقة في مجال الاستشعار عن بعد، إذ أنجز هذا القمر الصناعي العديد من مهمات الرصد لكوكب الأرض، حيث غطى في كل عملية مساحات كبيرة من كوكب الأرض، لا يزال دور القمر الصناعيLandsat-1 نشطاً في المدار حتى اليوم، ويعمل بكفاءة برفقة الأقمار من Landsat-7 وLandsat-8، وتم إطلاق Landsat-9 2021/09/27 والذي يمزه دقة

[1] Philip, G. and Donoghue, D. N. M. and Beck, A. R. and Galiatsatos, N. (2002) 'CORONA satellite photography : an archaeological application from the Middle East.', Antiquity., 76 (291). p. 109-118.

صور عالية وتغطية مساحات كبيرة لسطح الأرض[1] ذلك ما جعل الأقمار الصناعية الحديثة أواخر التسعينيات وأوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين من جمع البيانات بدقة أكبر، مما ساهم في ظهور أنظمة عالية الدقة.

3.1.. تطبيقات الاستشعار عن بعد في البحث الأثري:

إن توظيف علم الآثار للاستشعار عن بعد ليس أمرا جديدا، فقد سعى علماء الآثار منذ عقود للاستفادة من هاته التقنية وذلك من اجل فهم العلاقة المكانية بين مكونات المواقع المختلفة بشكل أفضل، بدأ علماء الآثار في استخدام صور الأقمار الصناعية على نطاق أوسع كما تم رفع الستار عن العديد من صور الحرب الباردة (على سبيل المثال الصور المأخوذة من أقمار (CORONAالصناعية) مما سمح لهم باكتشاف عدد لا يحصى من المواقع الجديدة، فضلاً عن إتاحة الفرصة للتحقيق في العديد من المواقع الأخرى التي غزاها التوسّع المدني والتجاري غير المنظم[2]. نستطيع اليوم، مع وجود عدد كبير من الأقمار الصناعية في مدار أرضي منخفض، الحصول على صور شبه فورية لأي منطقة على وجه الأرض تقريباً، مما يتيح للمختصين الاطلاع بشكل أفضل على الوضع على الأرض ومن أهم ما يوفره الاستشعار عن بعد في مجال البحث الأثري نذكر[3]:

- توثيق السياقات الأثرية تفصيل موضوعي وكبير
- اكتساب معلومات عن الطبقة المدفونة وأحيانا غير المرئية تماما من مستوى سطح الأرض مع وصف شبه تفصيلي وقياسات مترية لرصد الخصائص الكيميائية والفزيائية للمعالم الموجودة تحت سطح الأرض.
- المراقبة الدورية والمقارنة بالصور القديمة التي توفرها صور الساتل القديمة ومنها رصد تغيرات الأرض والغطاء النباتي والمناخ وهذا ما يسمح بوضع سياسة مستدامة لتسير وتوثيق المواقع الأثرية.
- بمساعدة برامج أنظمة الإعلام الجغرافي يتم رسم الخرائط الأثرية ومشاركتها والتحكم فيها وإعادة البناء مع مراعاة التعاقب الحضاري والثقافي للموقع أو المدينة الأثرية.

---

[1] https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/ موقع رسمي بتاريخ : 15-04- 2022

[2] Philip, G. and Donoghue, D. N. M. and Beck, A. R. and Galiatsatos, N. (2002) 'CORONA satellite photography : an archaeological application from the Middle East.', Antiquity., 76 (291). p. 115.

[3] ستفانو كامبنا ، مرجع سابق، ص :08.

ومن السلبيات أو العوائق التي تواجه الاستشعار عن بعد نجد هذه العوامل الممثلة في: علم التربة، المناخ، أنماط الزراعة، النباتات أو المحاصيل الناضجة، التطور التاريخي لمشهد الأرض... إلخ، حث أن هذه العوامل تدخل في عملية معالجة المعطيات والصور وتحليلها ولها تأثير كبير.

يمكن تقسيم الاستشعار عن بعد الى نوعين رئيسين هما الاستشعار عن بعد البصري، والاستشعار عن بعد بموجات الإشعاعات الميكروية. يُعد الاستشعار عن بعد البصري من النوع السلبي، حيث يعتمد على انعكاس إشعاع الشمس عن سطح الأرض لإظهار الصور. في حين يعتبر الاستشعار عن بعد بموجات الإشعاعات الميكروية إيجابيا، مما يعني أن القمر الصناعي يرسل موجاته الخاصة ويجمع انعكاساتها عن الأجسام، ليستخدمها في تشكيل صورة للموقع.

ينتج عن الاستشعار البصري عن بعد صور يسهل تحليلها، حيث يمكن معالجتها لإظهار ما هو موجود على الأرض مباشرة. وبمعنى آخر، لا يتطلب هذا النوع من الصور الكثير من الجهد لفهم الصورة وتفسيرها وتحليلها. تعد سهولة فهم الصور البصرية وإمكانية معالجتها بها أحد الأسباب الرئيسية التي جعلت هذا النوع من الاستشعار عن بعد الأكثر استخداماً وشيوعاً في علم الآثار على عكس التعامل مع صور الاستشعار عن بعد الذي يطبق نظام موجات الإشعاعات الميكروية نظرا لطبيعة تفاعل هذه الموجات مع الأجسام المستهدفة. غالباً ما ترتد هذه الموجات الميكروية التي يرسلها القمر الصناعي على عدة أسطح قبل أن تعود إلى القمر الصناعي.

2.. أهم الأقمار الصناعية والقواعد البيانية مفتوحة المصدر:

1.2.. الأقمار الصناعية البصرية: الأقمار الصناعية التجارية

تتزايد أعداد أقمار التصوير التي تدور حول الأرض خلال العقد الأخير، غير أن دقتها المكانية والزمنية تتناقص باستمرار. يمكن تصنيف الأقمار الصناعية في فئتين أساسيتين: فئة الأقمار التي تزودنا بالصور ذات الدقة العالية جداً VHRبدقّة مكانية تتراوح بين 0.25-1 متراً، وفئة الأقمار التي تزودنا بالصور ذات الدقة العالية HR بدقّة مكانية تتراوح بين 10-30 متر.

يتم التقاط صور VHR في الغالب بواسطة الأقمار الصناعية التجارية مثل مجموعة أقمار (Worldview من 1 إلى 4). تُعدُّ صور VHR المحدثة مكلفة للغاية، وغالباً يتم تشغيل معظم الأقمار

الصناعية بمثل هذا الدقة العالية جداً بواسطة شركات تجارية. يمكن للمهتمين شراء الصور من مراكز أو مكاتب نظم تخزين الشركة المشغّلة للأقمار الصناعية، كما يتوفر خيار"Task an Image" الذي يحدد للقمر الصناعي المنطقة المستهدفة بالتصوير خلال فترة زمنية محددة. تختلف أسعار هذه الخدمات ويمكن أن تصل إلى 750 يورو لكل 25 كيلومتر مربع. تكون هذه الصور متاحةً عادةً للأغراض البحثية أو غير التجارية، إذ تتقدم الجهة البحثية باقتراح بحث إلى السلطات المختصة مثل وكالة الفضاء الأوروبية في حالة مجموعة أقمار Worldview، التي تخزن وتعالج الكثير من البيانات المخزنة من مهمات خارجية[1].

2.2.. البيانات المفتوحة المصدر عالية الدقة جداVHR:

على الرغم من الأسعار الغالية لهذه الصور، لا يزال بالإمكان الوصول إلى بعضها مجاناً، علماً أن هذه الصور ليست محدثة. بمعنى آخر، يتم إتاحة هذه الصور للتداول بعد مرور زمن من تاريخ الحصول عليها، وهذا ما يجعلها تفقد وظيفتها كوسيلة لتقييم الوضع الحالي للمنطقة المستهدفة. لعل أفضل مثال هو الصور عالية الدقة المعروضة في خرائط جوجل. تكون هذه الصور مجانية، بدقة مكانية لا تتعدى متر، ولكن غالبا ما يتم إتاحتها بعد أشهر وفي بعض الاحيان بعد سنوات من الحصول عليها. يمكن مشاهدة الصور نفسها في Google Earth Pro.

يمكن الحصول أيضا على هذه الصور من البيانات المحفوظة للأقمار الصناعية التاريخية، ونخصّ بالذكر هنا الأقمار الصناعية العسكرية CORONA و ARGON و LAYNARD التي أطلقت بين عامي 1960 و1972، وتم استخدامها لإنشاء خرائط تفصيلية لصالح وكالات الاستخبارات الأمريكية. تتمتع الصور المحفوظة من هذه الأقمار الصناعية بدقة مكانية تصل إلى 1.5 متر. تعتبر هذه الصور مهمة لكونها تتيح فهم التغيير في طبيعة المواقع على امتداد نصف القرن الماضي، وكذلك تقييم وتسجيل أي مواقع طالها

[1] ANDREW STEELE ،Introduction to Remote Sensing, Earth Observation Optical & Radar Satellites ،DIGITALGLOBE , 2018 , P 30.

الدمار بالكامل بسبب التوسع المدني أو الزراعي. يمكن تنزيل هذه الصور من قاعدة بيانات هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية[1].

- **برنامج لاندسات Landsat التابع لناسا:**

يُعتبر برنامج لاندسات Landsat الذي طورته وكالة ناسا أحد البرامج طويلة الأمد المعدة لمراقبة الأرض. تم إطلاق القمر الصناعي الأول لاندسات -1 عام 1972، متبوعا بعدة أقمار صناعية في السبعينيات والثمانينيات. يوجد حاليا قمران صناعيان من نوع لاندسات في المدار، لاندسات -7 و-8 ولاندسات -9 أطلق في سبتمبر 2021. تعتبر سجلات برنامج لاندسات مرجعية هامة لدراسة تغير استخدام الأراضي على مدى الخمسين عاما الماضية، كما أنها كانت مفيدة لتسجيل المواقع الأثرية التي تعرضت للتدمير.

تحمل الأقمار الثلاثة لاندسات -7 و-8 بالإضافة إلى لاندسات -9، أجهزة استشعار متعددة الأطياف ذات حزم ترددية وقيم دقة مكانية متفاوتة (ثمانية حزم ترددية ذات دقّة مكانية تتراوح بين 15 و60 متراً لقمرLandsat-7 ، وأحد عشر حزمة ترددية بدقّة مكانية تتراوح بين 15 و100 متراً لقمر[2] Landsat-8).

من المفيد الاطلاع وفهم المستشعر قبل معالجة الصور حيث أن كل صورة ستكون بنفس جودة المستشعر الذي التقطها.

- **مجموعة أقمار ESA Sentinel :**

وهي مجموعة أقمار Sentinel-2 التابع لوكالة الفضاء الأوروبية. تتكون هذه المجموعة من قمرين صناعيينSentinel-2A و-2 B يدوران في نفس المدار القطبي المتزامن مع الشمس. هذا يعني عمل أنه في حين أن أحد الأقمار الصناعية لديه دقة زمنية تقارب 14 يوماً (تختلف وفقًا للموقع المستهدف)، فإن الجمع بين كلا القمرين الصناعيين يمكن أن يقلل الدقة الزمنية إلى ما يقرب من 6 أيام. بمعنى آخر، يمكننا

[1] Tapete, D. and Cigna, F. (2019). 'Detection of Archaeological Looting from Space: Methods, Achievements and Challenges' in Remote Sensing, p 23.
[2] https://landsat.gsfc.nasa.gov/ موقع رسمي بتاريخ : 2022-04-05

الحصول على صورة لموقع معين، مثل مدينة بيروت، مرة كل 6 أيام. تم إطلاق Sentinel-2A في عام 2015، وإطلاق قمر Sentinel-2B بعد ذلك بعامين. يحمل كِلا القمرين الصناعيين أدوات متعددة الأطياف، يمكنهما التقاط ما مجموعه 12 نطاقاً ترددياً بدقّة مكانية تتراوح بين 10 إلى 60 متراً. لمزيد من المعلومات حول مجموعة أقمار Sentinel-2 .[1]

- **الأقمار الصناعية** Planet Labs

على الرغم من شهرة الاقمار السابقة الذكر، غير أنه من الجدير بالذكر أن أقمارPlanet Labs ، وهي شركة خاصة تملك أكثر من 100 قمر صناعي لمراقبة الأرض، توفر مواد مجانية للطلاب والأكاديميين، إذ يمكنهم تنزيل الصور بدقة مكانية تقدر بثلاثة أمتار تقريبا. تعدّ هذه الأقمار مصدرا مهما لهذه الصور، غير أنها قد لا تكون في متناول جميع المهتمين، إذ يتطلب الحصول على بياناتها طلبا رسميا من جامعة أو معهد بحثي.[2]

- برنامج **Google Earth** :

لا يزال هذا البرنامج الأفضل عند مقارنته بغيره من البرامج التي توفر صور عالية الدقة مجانا، على الرغم من أنه يعاب عليه عدم توفر صور آنية الا أنه الأفضل ويعتبره البعض من ضمن برامج أنظمة الإعلام الجغرافي، ويوفر العديد من المزايا والتطبيقات التي يمكن أن يستفاد منها في البحث الأثري حيث يمكن أن نكر منها التالي:

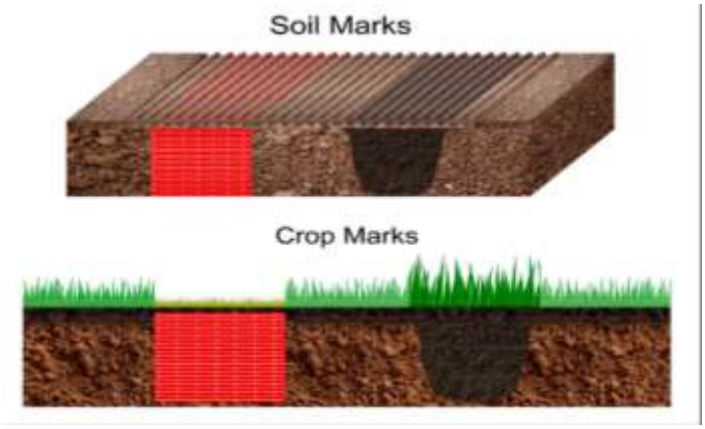
- استخدام الصور التاريخية المحفوظة فيGoogle Earth ويمكن من خلاله متابعة المواقع التي تعرضت للتخريب وخاصة في فترة الحرب.
- يمكن عن طريقه أيضا التعرف على عمليات نهب الآثار حيث يقوم اللصوص بعمل حفر غير منظمة على عكس عملية التنقيب الأثري التي تكون الحفر منظمة ولا يحيط بها كومات تراب وهذا ما يمكن الاستفادة منه الصور VHRعالية الدقة.

[1] https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2
[2] https://www.planet.com/

- الاستفادة من تقنية علامة المحاصيل في الكشف عن المواقع الأثرية والتي تكون إما سلبية أو إيجابية كما أن التغيير في التربة يؤدي إلى كشف عملية نهب الآثار وأيضا وقت التقاط الصور غروب أو فجر وكذلك موسم الجفاف كلها علامات محاصيل تدل على الآثار[1] كما هو مبين في أسفل الشكل.

الصورة 01:

علامات التربة والمحاصيل.



المصدر: Stewart.

هذا بالإضافة الى تطبيقات أخرى مثلESA SNAP تمكننا من معالجة الصور من خلال استخدام الصور متعددة الأطياف ومنه الكشف عن الاثار وحمايتها وتوثيقها وهذا من خلال تطبيق معادلات وخوارزميات[2].

3.. الاستشعار عن بعد بواسطة الموجات الميكروية:

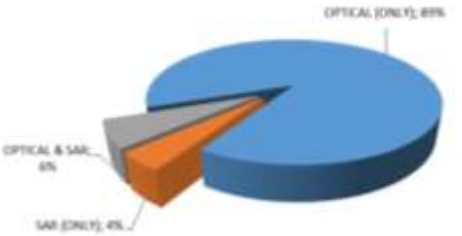
أظهرت الدراسات محدودية استعمال هذه التقنية في مجال البحث الأثري حيث يعتمد على نبضات موجهة من الطاقة جزء مهماً وأساسياً من عمليات مراقبة كوكب الأرض .Earth Observation ورغم

[1] Stewart, C. (2017). 'Detection of Archaeological Residues in Vegetated Areas Using Satellite Synthetic Aperture Radar' in Remote Sensing, p 2.
[2] Agapiou, A. and Alexakis, D., Sarris, A., Hadjimistis, D. (2014). 'Evaluating the Potentials of Sentinel-2 for Archaeological Perspective' in Remote Sensing 6

ذلك، لا يزال استخدامه في الأبحاث الأثرية محدوداً للغاية. في واقع الأمر، وجدت دراسة استقصائية تمت على المقالات العلمية المنشورة في دوريّات محكّمة، والتي تتناول اكتشاف عمليات النهب ومراقبة في المواقع الأثرية أن 10٪ فقط من هذه المقالات تستخدم الاستشعار عن بعد بالموجات الميكروية (بشكل مفرد، أو بالترافق مع البيانات البصرية)، بينما يعتمد 89٪ من هذه المقالات فقط على أجهزة الاستشعار البصرية، من مميزاته اختراقه للسحب وعدم تأثره بالمناخ وإلتقاط الصور ليلا مع الأخذ بعين الاعتبار أن الأمطار الغزيرة قد تؤثر سلباً على جودة الصور[1].

تمثيل بياني 01:

تمثيل لاستعمال أجهزة الاستشعار البصرية والميكروية أو الدمج بينهما.



المصدر: Tapete, D. And Cigna

منذ نهاية السبعينيات من القرن الماضي استخدم الرادار للبحث الآثاري في عملية المح الواسعة وللكشف عن المعالم الثقافية والطبيعة وتم استعماله لتسجيل المواقع الاثرية وذلك للحد من كلفة تأخير مشاريع البناء[2].

يعود إحدى أول الإنجازات المبكرة للعمل في مجال البحث الأثري باستخدام بيانات SAR إلى منتصف التسعينيات، عندما بدأت مهمة) SIR-C / X-SAR مشروع مشترك بين الولايات المتحدة وألمانيا

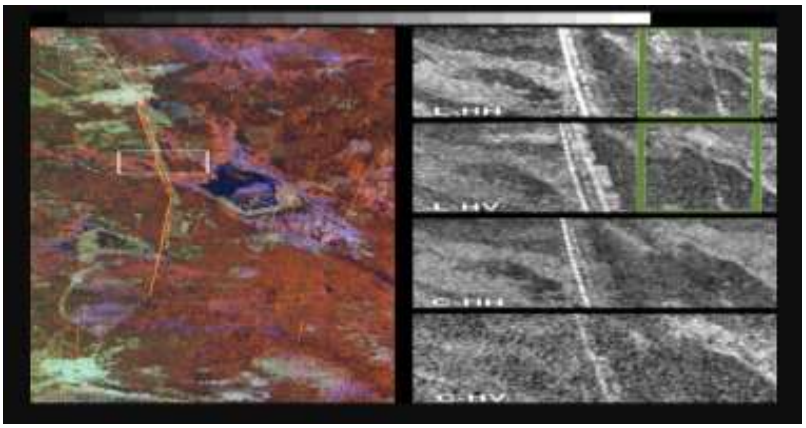
[1] Tapete, D. and Cigna, F. (2019). 'Detection of Archaeological Looting from Space: Methods, Achievements and Challenges' in Remote Sensing.

[2] ستفانو كامبنا ، المرجع السابق، ص :26 .

وإيطاليا) على متن مكوك إنديفورShuttle Endeavor ، على دفعتين: في أبريل وسبتمبر – أكتوبر عام 1994، مظهرة آثار قسم لم يكن مكتشفاً من سور الصين العظيم حتى تاريخه[1] JPL-NASA).

الصورة 02:

الكشف عن قسم من سور الصين العظيم، كما هو موضح في صور حزمة L-Band في الصناديق الخضراء (JPL-NASA).



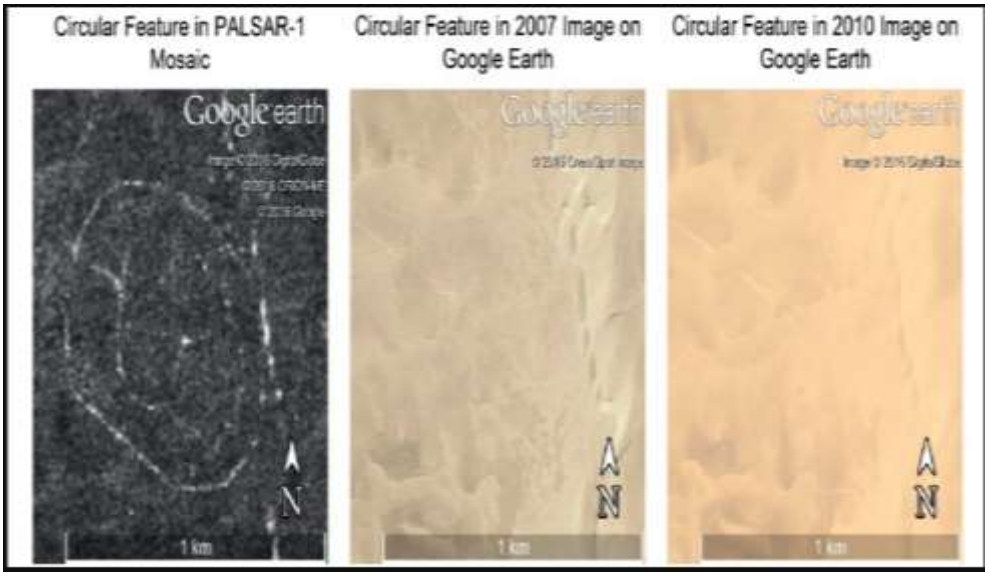
– الكشف عن الآثار المدفونة في صحراء سيناء عن طريق بيانات SAR:

تمكن الباحث Stewart وفريقه عام 2016، أثناء استكشاف منطقة شاسعة من صحراء سيناء، من تحديد العديد من المعالم التي لم تظهر في الصور البصرية، غير أن الرادار التقط بعض الترددات المنعكسة عن أسطح هذه المعالم في إحدى المواقع. لم يتمكن فريق الباحثين من التحقق من الطبيعة الأثرية لهذه المعالم بعد. كما هو موضح في الشكل أسفل.

الصورة 03:

المعالم الدائرية الشكل التي ظهرت في صورة PALSAR مع صورتين بصريتين من نفس الموقع.

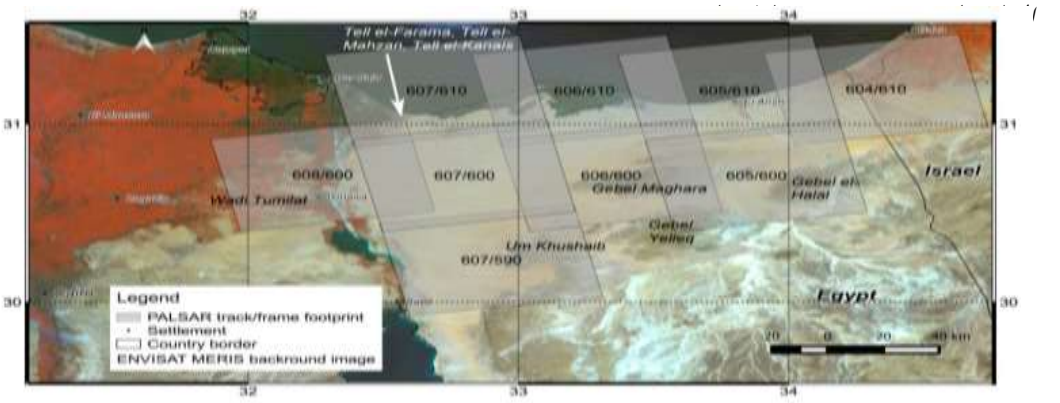
[1] https://www.jpl.nasa.gov/images/pia01794-space-radar-image-of-great-wall-of-china



المصدر: Stewart.

ومع ذلك، فإن مثل هذه الحالات توضح فعالية بيانات SAR في الكشف عن المواقع الأثرية، وخاصة في المناطق الصحراوية التي تكون عرضة للدفن تحت طبقات من الرمال كما نرى أن المساحة التي تمت دراستها كبيرة كما هو في الصورة موضح أسفل.

الصورة 04:



المصدر: Stewart.

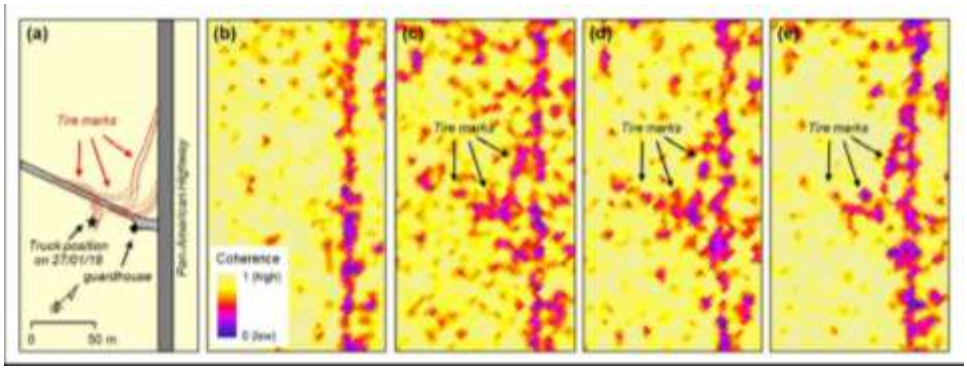
- **كشف الأضرار التي لحقت بموقع التراث العالمي بالبيرو عن طريق SAR :**

إن مجال البحث في الأضرار التي تلحق الاثار يشكل تحديا مهما لعلماء الآثار، وبالاعتماد على منظومة SAR فانها تشكل أداة قوية في يد الباحثين من أجل حماية وترميم المعالم الاثرية التي تعرضت للتخريب العمدي أو الغير العمدي، في عام 2018، انحرفت شاحنة عن الطريق العام ودخلت موقع خطوط نازكا وهو موقع أثري يحوي سلسلة من النقوش الصخرية القديمة (جيوغليف) ويقع في صحراء نازكا وبالبا جنوبي البيرو، واعتبرته اليونسكو من مواقع التراث العالمي.

استخدم الباحثان Cigna and Tapete في عام 2018، البيانات منCOSMO-SkyMed لإنشاء صور Coherence Images من أجل تحديد فقدان التماسك[1] coherence loss الناجم عن الحادث. يظهر فقدان التماسك بوضوح في الصورة أسفل.

الصورة 05:

صور تخطيطية وصور Coherence Images قبل الحادث وبعده – أسهم توضح فقدان التماسك بسبب علامات الإطارات.



المصدر: Cigna.

[1] Cigna, F. and Tapete, D. (2018). 'Tracking Human-Induced Landscape Disturbance at the Nasca Lines UNESCO World Heritage Site in Peru with COSMO-SkyMed InSAR' in Remote Sensing.

– تأثير الحرب كمثال وكشف حجم الخراب عن طريق الاستشعار بعد:

تعرضت المدن الأثرية السورية للتخريب والنهب الناجم عن الحرب السورية، وقد حاول الباحثون بواسطة إستعمال صور Sentinel-1 عمل الباحثون على استكشاف التغييرات الناجمة عن التخريب الذي لحق بمدينة تدمر السورية في عام 2015، والتي نتج عنه تدمير معبد بِل، بالإضافة إلى هياكل أخرى على قائمة اليونيسكو للتراث العالمي.

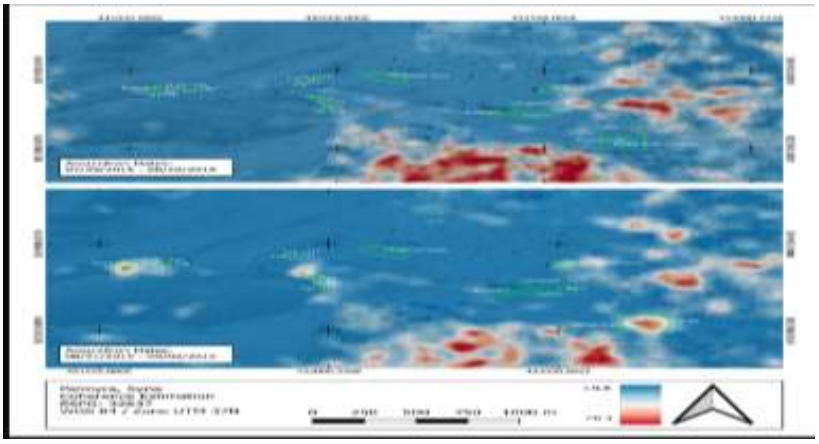
تم رصد المواقع ومعالجة زوج من الصور قبل وبعد التدمير، والتي أظهرت تماسكا منخفضا جدا very low coherence كما هو موضح في المربعات الخضراء حول معبد بِل وبعض المدافن البرجية التي تم تدميرها.

في صورة Coherence Image التي تم إنشاؤها باستخدام بيانات SAR قبل التدمير، أظهرت هذه المربعات تماسكاً عالياً high coherence ، بينما أظهرت الصورة التي تمثل التقاطع، والتي تم إنشاؤها من صورتي SAR قبل التدمير وبعد التدمير، أن هذا التدمير ممثلا بمجموعة من وحدات بكسل حمراء، مما يشير إلى فقدان التماسك بينما كان الغطاء النباتي مصدراً لظاهرة فقدان التماسك الظاهر في كلتا الصورتين، وكل هذا تم عن طريق معالجة الصور متعددة الاطياف[1]، كما هو مبين في الصور أسفل حيث تظهر قبل وبعد التدمير حيث يظهر التدمير ببكسل حمراء .

الصورة 06:

تأثير التدمير على التماس في مدينة تدمر الأثرية.

[1] El-Hajj, H. (2021). 'Monitoring Damage to Cultural Heritage Sites Using Open Source Sentinel-1 and Sentinel-2 Data' In Hess, C. and F. Manuelli (eds.), Proceedings of the Broadening Horizons 6 Conference, Berlin, June 24-28, 2019. Archaeopress. Oxford.



المصدر: El-Hajj.

- **تطبيق الذكاء الاصطناعي:**

أما بالنسبة لتطبيق الذكاء الاصطناعي في مجال علم الآثار قد يراه البعض مستبعد لكن الحقيقة أن هناك بعض الدول قد بدأت في تطبيق مثل هذه التكنلوجيا في البحث الاثري وتدعيم الاستشعار عن بعد به مثل انجلترا والمانيا حيث أن الذكاء الاصطناعي في حقيقة يعتمد على قواعد معطيات ضخمة توفرها له انظمة اخرى مثل نظام الاعلام الجغرافي والاقمار الصناعية والتقارير و غيره من المعلومات التي يتم معالجتها عن طريق تطبيقات الذكاء الاصطناعي ومن أهم الامثلة نجد التجربة الانجليزية من طرف الباحثة Iris Kramer حيث كان موضوع اطروحتها استعمال الذكاء الاصطناعي DEEP LEARNING في الكشف عن المواقع الاثرية بدون استعمال الاسبار حيث تقول عن نفسها[1]:

I am an archaeologist turned computer scientist, and I was the first person in the world to do a PhD in deep learning for the detection of archaeological sites on Earth Observation data.

كما نجد كذلك مقال تم فيه تطبيق الذكاء الاصطناعي في مجال علم الاثار في المانيا من طرف الباحث "Benjamin Ducke" بعنوان:

[1] https://www.archai.io/about

Archaeological predictive modeling in intelligent network structures

وأيضا مقال جديد للباحث حسان الحاج سنة 2021 يذكر فيه الذكاء الاصطناعي الى جانب الاستشعار عن بعد بواسطة البيانات المفتوحة المصدر السابقة الذكر وكيفية الاستفادة منها بعنوان:

Detecting Archaeological Damge from Space Using Open Source Data and Machine Learning: The Case of the Near East.

4.. خاتمة:

من خلال ما سبق يمكن لأي باحث أن يرى الحجم الكبير من البيانات التي توفره لنا منظومة SAR فضلا عن الطرق الأخرى امثل الصور البصرية والمتعددة الأطياف وغيرها من التقنيات الاخرى الخاصة بالاستشعار عن بعد ، حيث أن الأولى توفر لنا معلومات جديدة لا توفرها لنا الصور البصرية العادية لذلك وجب التوصية بمثل هاته الطرق والتشجيع على العمل بها في المشاريع البحثية الخاصة بالعمل الأثري، وهذا ما شهدناه من خلال الأمثلة التي بينت قدرة SAR على تغطية مساحات كبيرة كما هو الحال في صحراء سيناء أو القدرة على كشف عمليات النهب والتخريب التي حدثت للآثار السورية، بالإضافة إلى التكلفة الاقل بالنسبة للطرق العادية وحماية المواقع الأثرية من المشاريع المقاولاتية وأيضا من الأخطار المحتملة مثل الفيضانات والتعدي بحجة الزراعة وغيرها، لذلك في حقيقة الأمر أن التحكم في هذه التقنيات هو في حقيقته تحدي بالنسبة للباحث الأثري لذلك نوصي بجعل التقنيات الحديثة ضمن المقررات الأساسية ودعمه بدورات تدريبية خاصة للمختصين في المجال الأثري وهذا موازاة مع استعمال أنظمة المعلومات الجغرافية وتسيير قواعد المعطيات الأثرية وإنشاء خرائط أثرية حقيقية تمثل التراث المادي للجزائر .

5. البيبليوغرافيا:

– ستيفانو كامبنا ، تطبيقات لاستشعار عن بعد في علم الآثار ، تر : ياسر مهدي ، الطبعة الاولى ، بيت الجغرافيا ، 2019.

- Michael Andrew McAdams , The use of remote sensing in the protection nd

management of archaeological sites: A case study ofthe Anastasian wall , Scientific Research and Essay Vol. 5 (1), January, 2010 ,pp. 055-062,

- Philip, G. and Donoghue, D. N. M. and Beck, A. R. and Galiatsatos, N. (2002) 'CORONA satellite photography : an archaeological application from the Middle East.', Antiquity., 76 (291). p. 109-118.

- https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/ موقع رسمي بتاريخ : 2022-04-15

- Philip, G. and Donoghue, D. N. M. and Beck, A. R. and Galiatsatos, N. (2002) 'CORONA satellite photography : an archaeological application from the Middle East.', Antiquity., 76 (291). p. 115.

- ANDREW STEELE ، Introduction to Remote Sensing, Earth Observation Optical & Radar Satellites ، DIGITALGLOBE , 2018 .

- Tapete, D. and Cigna, F. (2019). 'Detection of Archaeological Looting from Space: Methods, Achievements and Challenges' in *Remote Sensing*.

- https://landsat.gsfc.nasa.gov موقع رسمي بتاريخ : 2022-04-05

- https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2

- https://www.planet.com

- Stewart, C. (2017). 'Detection of Archaeological Residues in Vegetated Areas Using Satellite Synthetic Aperture Radar' in *Remote Sensing.*

- Agapiou, A. and Alexakis, D., Sarris, A., Hadjimistis, D. (2014). 'Evaluating the Potentials of Sentinel-2 for Archaeological Perspective' in *Remote Sensing* 6

- Tapete, D. and Cigna, F. (2019). 'Detection of Archaeological Looting from Space: Methods, Achievements and Challenges' in *Remote Sensing*,.

- https://www.jpl.nasa.gov/images/pia01794-space-radar-image-of-great-wall-of-china

- Cigna, F. and Tapete, D. (2018). 'Tracking Human-Induced Landscape Disturbance at the Nasca Lines UNESCO World Heritage Site in Peru with COSMO-SkyMed InSAR' in *Remote Sensing*,

- El-Hajj, H. (2021). 'Monitoring Damage to Cultural Heritage Sites Using Open Source Sentinel-1 and Sentinel-2 Data' In Hess, C. and F. Manuelli (eds.), *Proceedings of the Broadening Horizons 6 Conference, Berlin, June 24-28, 2019.* Archaeopress. Oxford.

- https://www.archai.io/about