الاستشعار عن بعد
واستخداماته في علم الآثار

أحمد أبو القاسم الحسن
عباس سيد أحمد محمد علي

الاستشعار عن بعد واستخداماته في علم الآثار

* أحمد أبو القاسم الحسن ** عباس سيد أحمد محمد علي

Abstract

Aerial photography, remote sensing technique has been used as a tool for acquisition of archaeological information for several decades. At the turn of the twentieth century, archaeologists realized that valuable archaeological data could be extracted from aerial photos, thus it has been developed into a systematic discipline known as aerial archaeology.

Though aerial photography has a long history of use, Satellite remote sensing is a recent discipline applied in detection, mapping and analysis of archaeological matter, providing that the spatial resolution of the sensor is adequate to detect the features.

Both aerial photography and satellite imagery have advantages and limitations with regard to archaeological applications. In the last few years, combination of the two was found to be ideal for archaeological remote sensing applications. Remote sensing has increased in importance to archaeology, as being an important close integrator with Geographic Information Systems. Remote sensing and its kindred tool of GIS have become central elements of modern spatial information and analysis system in archaeology.

Key words:

Aerial photography, acquisition of archaeological information, aerial archaeology, Remote sensing, GIS

ملخص البحث

لقد تم استخدام الاستشعار عن بعد وسيلة للحصول على معلومات عن الظواهر الآثارية منذ عقود عدة، وبنهاية القرن العشرين وضح للآثاريين قيمة ما يمكن استخلاصه من معلومات من الصور الجوية، مما قاد إلى تطور ما يعرف بعلم الآثار الفضائي.

ورغم أن التصوير الجوي يعود إلى تاريخ طويل، فالتصوير الفضائي يعد وسيلة حديثة استخدمت في الكشف ورسم الخرائط والتحليل الآثاري. ورغم أن كلاً من الصور الجوية ومرئيات الاستشعار عن بعد لها إيجابياتها وجوانب قصورها في مجال التطبيق الآثاري، فقد أثبتت السنوات الأخيرة إمكانية استخدامهما ودمجهما معا في مجال الكشف الأثري. وغدا الاستشعار عن بعد أكثر أهمية في علم الآثار، مع تطور نظم المعلومات ودمج بيانات الاستشعار مع مصادر المعلومات الأخرى في قالب يعرف بنظم المعلومات الجغرافية. وأضحى الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية عنصرين رئيسين لنظم وتحليل المعلومات المكانية في علم الآثار وإدارة موارد التراث.

كلمات مفتاحية:

علم الآثار الفضائي، التصوير الفضائي، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية.

* د. أحمد أبو القاسم الحسن – قسم السياحة والآثار - كلية الآداب – جامعة حائل – حائل – المملكة العربية السعودية.
elhassan52@yahoo.com

** أ. د. عباس سيد أحمد محمد علي - قسم الآثار - كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة دنقلا– كريمة – جمهورية السودان.
abbaszar2000@yahoo.com

مقدمة:

يشكل المسح الآثاري أحد أهم مرتكزات علم الآثار إلى جانب التنقيبات وتصنيف المعثورات وتحليل المادة الأثرية ونحو ذلك. وعلى الرغم من أن التنقيبات ظلت فترة طويلة العمود الفقري للأعمال الآثارية، فإن المسح أخذ، منذ عدة عقود، يحتل مساحة أوسع، إذ أصبح يقدم الكثير من الأدلة الأثرية التي لا تصب فقط فيما يمهد لإجراء التنقيبات، بل أصبح يجيب عن أسئلة ويقدم أدلة تعجز التنقيبات بمفردها عن الإجابة عنها. من ذلك على سبيل المثال أسباب اختيار المواضع التي قامت عليها المواقع الأثرية، وأنماط توزيع مواقع الاستيطان وانتشارها، ونحو ذلك. إن الموقع الأثري لا بد أن يرتكز على مصادر وجود تؤمن متطلبات حياته ويستمد منها بقاءه واستمراريته، كأن يتوسط مجموعة مستوطنات أصغر حجما أو منطقة زراعية أو رعوية أو مصادر مادة خام أو يقع على طريق تجاري ونحو ذلك. لذا فإلى جانب دوره التقليدي قدم المسح سواء حول الموقع أو المنطقة بوجه عام الكثير من المعلومات التي تلقي الضوء وتسهم بشكل فاعل في الكثير من القضايا الآثارية.

تتعدد مناهج المسح الآثاري، منها المسح الأرضي (ground survey) والمسح الجوي (aerial survey). والأخير الذي نحن بصدد الحديث عنه، ارتكز على تاريخ طويل ومحاولات متعددة ومستمرة، خرج من بينها أحد مناهج المسح الآثاري الذي يعرف بالاستشعار عن بعد الذي ظهرت لفظته أول مرة في الولايات المتحدة في الخمسينيات من القرن العشرين (NASA 2006).

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى عرض العناصر والموضوعات الآتية:

١- التعريف بتطور نظم الاستشعار عن بعد (الجوي والفضائي) وتطبيقها في علم الآثار ونجاحاتها وإشكالاتها وإمكانات استخدامها.

٢- عرض بعض الحالات التي أثبتت فيها هذه التقنية فعاليتها في المجال التطبيقي في علم الآثار.

مفهوم الاستشعار عن بعد:

يمكن تعريف الاستشعار عن بعد بأنه علم وفن لمجموعة الوسائل والطرق العلمية التي يمكن بواسطتها الحصول على معلومات عن الأجسام والظواهر على سطح الأرض دون ملامستها وذلك باستعمال أجهزة الالتقاط أو التصوير أو السمع من خلال استخدام خواص الموجات الكهرومغناطيسية المنعكسة والمنبعثة من المكونات الأرضية أو من الجو أو المسطحات المائية، التي تعطي صورة واضحة عن طبيعة سطح الأرض (Lillesand and Kiefer Curran 1985; 1994). وفي الاستشعار عن بعد يفرق بين الصورة (photograph) والمرئية (image). فالصورة مصطلح يطلق على تلك التي يسجل الإشعاع الكهرومغناطيسي فيها على الفيلم مباشرة. أما المرئية فهي التي يسجل الإشعاع الكهرومغناطيسي فيها أولا على شكل قيم رقمية، فلا يطلق عليها صورة وإن كان الفيلم مستخدما في إنتاجها. وهذا يعني أن كل صورة هي بالضرورة مرئية، ولكن ليس كل مرئية صورة (المصدر السابق). وفي هذا المقال سوف نتطرق للاستشعار الجوي عن بعد بمفهومه الشامل بحيث يعني استخدام الصور الجوية التقليدية أي الفوتوغرافية، إضافة إلى المرئيات الجوية الفضائية بوساطة وسائل الاستشعار غير الفوتوغرافية مثل الأقمار الصناعية وسفن الفضاء والرادار.

التصوير الجوي التقليدي:

يقصد بالتصوير الجوي التقليدي (Conventional Aerial photography) التصوير الفوتوغرافي الذي يتم بوساطة طائرات خاصة مجهزة بآلات تصوير خاصة تسجل الإشعاع الكهرومغناطيسي في نطاق الطيف المرئي (٠٫٤ – ٠٫٧ ميكرومتر) أو الأشعة تحت الحمراء القريبة (٠٫٧ – ٠٫٩ ميكرومتر) على أفلام (أسود وأبيض أو ملونة) بحساسية تلائم هذه الطاقة.

ويشير تاريخ تطور التصوير الجوي إلى أنه خلال القرن التاسع عشر جرت محاولات لتصوير معالم سطح الأرض (التضاريس) من الجو بعد أن اخترعت أول آلة للتصوير عام ١٨٣٩م، وصممت أول آلة تصوير مساحية عام ١٨٥١م. وبعد ذلك بنحو نصف قرن قام الكابتن ثيودور Theodore بتعليق أول آلة تصوير على بالون والتقاط بعض الصور الجوية في أستراليا. وتم في عام ١٩٠٣م اختراع الطائرة على يد الأخوين رايت Wright Brothers مما كان له الأثر الأكبر في دفع عجلة التصوير الجوي خطوات واسعة ومهمة إلى الأمام. وكانت أقدم صورة جوية لموقع أثري قد التقطت في عام ١٩٠٦م لموقع أستون هنج في بريطانيا. أما ثاني محاولة فقد تمت خلال السنوات ١٩٠٨ – ١٩١٣م حين قام البريطاني ولكم Welcome باستخدام طائرة شراعية تحمل آلة تصوير لتصوير حفرياته في موقع جبل موية الأثري في أواسط السودان (دانيال ٢٠٠٠؛ Renfrew and Bahn 2000). ولم تستخدم الطائرات منصات للتصوير الجوي إلا في عام ١٩٠٩م (Lillesand and Kiefer 1994).

اتسع نطاق استخدام الصور الجوية في أثناء الحرب العالمية الأولى (١٩١٤ – ١٩١٨م) وبعدها لأغراض شتى يغلب عليها طابع الاستخبارات العسكرية. ودفعت عمليات الطيران خلال الحرب العالمية الأولى البعض إلى إدراك ضرورة الصور الجوية بالنسبة للآثاريين حيث لاحظوا وضوح المواقع الأثرية من الصور التي تلتقط من البالونات والطائرات المستخدمة في العمليات العسكرية.

وفي عام ١٩٢٥م أخذ الأب بويد بار Poidebard يتابع من الجو الطرق التجارية القديمة في سوريا المؤدية للحدود الرومانية، كما كشفت الصور عن ميناء صور (Tyre) الغارقة في لبنان. وفي الوقت ذاته (١٩٢٧م) كشفت طائرات عسكرية عن مواقع تعود إلى العصر النحاسي المتأخر في بحيرات سويسرية.

وقام الألماني فيوغاند Wiegand بتتبع التحصينات الرومانية القديمة من صور جوية. واستخدم ليون ري Reye صورا جوية لكشف مواقع في مقدونيا. وأسهمت الجمعية الملكية البريطانية في جمع صور جوية حوت مواقع أثرية لبعض مناطق الشرق الأدنى. وفي عام ١٩٢٨م نشر كروفورد Crawford وكيلر Keiller عملا رائعا بعنوان Wessex From The Air «وسكس من الجو» قدما فيه تجربتهما في استخدام التصوير الجوي للكشف الآثاري. وخلال العقد الرابع من القرن العشرين كشف أريك شمت Schmidt عن مواقع أثرية في إيران من صور جوية كما تمكن الأمريكي كيدر Kidder من الكشف عن مواقع أثرية في منطقة غابات وعرة في المكسيك عبر تصوير المنطقة من الجو في عام ١٩٢٩م (Renfrew and Bahn 2000, p. 82).

وقبيل اندلاع الحرب العالمية الثانية (١٩٣٩ – ١٩٤٥م) نشر الفرنسي بيير بويدبار مؤلفات شكلت نموذجا للبحث الآثاري القائم على الصور الجوية. كذلك عكست الصور التي التقطها ريلي Riley فوق نهر التيمز في بريطانيا عددا من المواقع الأثرية (Ibid.).

أنشأت جامعة كيمبردج في عام ١٩٤٩م وحدة للتصوير الجوي. ثم تطور الأمر بعد الحرب العالمية الثانية حيث قامت الكثير من الدول بإجراء مسح جوي لأراضيها ليصبح المسح الجوي إجراء روتينيا في عمليات المسح عموما (Daniel 1981; Renfrew and Bahn 2000). وقد تدفقت المعلومات وتطور تفسير الصور الجوية خلال الحرب العالمية الثانية وبعدها، كما تم تطوير أساليب التصوير، فأصبحت أكثر تقدما مثل التصوير باستخدام الأشعة تحت الحمراء التي تم استخدامها في كشف التمويه خلال الحرب خاصة في المناطق التي يصعب رؤيتها بالعين المجردة. كما تم تطوير أجهزة استشعار عن بعد رادارية في الفترة الواقعة بين عام ١٩٥٠م وعام ١٩٦٠م (Rees 1990, p. 4). ومن ثَم أوضحت الصور الجوية الفائدة التي يمكن أن يجنيها الآثاريون من تلك الصور، وكيف أن الكثير من التفاصيل عن الأرض يمكن رؤيتها من أعلى بشكل أفضل من رؤيتها من على السطح وذلك لأسباب منها:

١- أن الاختلاف في مستوى سطح الأرض يعكس ظل المرتفعات، ولذا يعكس لون الظل الذي يختلف عما حوله.

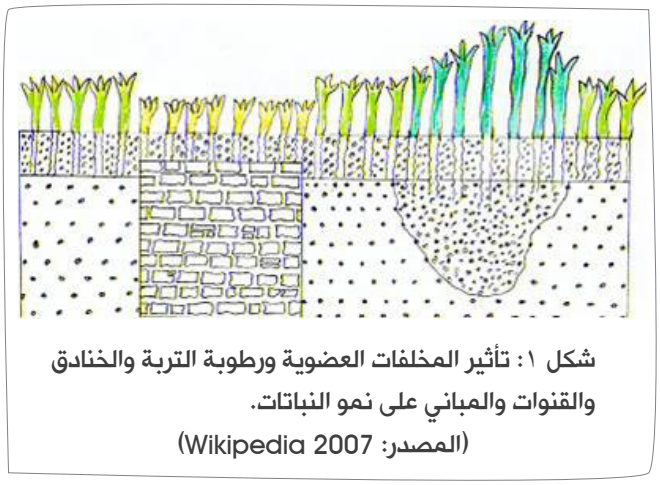
٢- في المزارع تعكس الخنادق والجدران للنباتات تحت السطح لونا وشكلا مختلفين، مقارنة بما حولها بحكم أن نمو النبات إلى حد يستند إلى طبيعة الأرض تحت السطح. ٣- الاختلاف في لون التربة الطبيعية والتربة المنقولة التي نتجت عن تراكم مخلفات أثرية.

وعليه فباستخدام الصور الجوية وتفسيرها أصبح لدى الآثاري بعض الظواهر التي يمكن استخدامها مؤشرا للمواقع الأثرية الظاهرة على السطح والمطمورة (Edis and Beweley ١٩٨٩)، منها (شكل ١):

أ- مؤشر الظل (Shadow marks)

ب- مؤشر التربة (Soil marks).

ج- مؤشر النبات (Crop marks).



شكل ١: تأثير المخلفات العضوية ورطوبة التربة والخنادق والقنوات والمباني على نمو النباتات.
(المصدر: Wikipedia 2007)

وفي المواقع الأثرية الكبيرة تشكل الصور الجوية وسيلة سريعة لإعداد مخطط للموقع لتحديد أماكن الملتقطات السطحية والمجسات الاختبارية (Test units). كما أن هذه الصور الجوية قد تعطي صورة شاملة للمواقع الأثرية والعلاقات المكانية بينها. وفي كثير من المناطق حلت الصور الجوية محل الخرائط الطبوغرافية، وأصبحت خرائط أساس (base maps) للأعمال الميدانية الآثارية والجيولوجية.

أما أكثر الوسائل استخداما في التصوير الجوي فهي الطائرات الصغيرة وطائرات الهيلوكبتر والمناطيد والطائرات الورقية المزودة بالكاميرات. والصورة الجوية تعطي منظرا مشابها لما تراه عين الطائر لمساحة كبيرة تمكننا من رؤية سطح الأرض وتعرُّف المكونات المكانية له. وتستخدم فيها أفلام تصوير أبيض وأسود أو ملونة أو أفلام حرارية. وحسب وضع المحور الضوئي يمكن تقسيم الصور الجوية إلى نوعين هما:

(١) الصور الجوية الرأسية.

(٢) الصور الجوية المائلة.

وتعد الصور الجوية الرأسية أكثر الأنواع استخداما في العمل الميداني الآثاري حيث تلتقط الصورة بشكل عمودي على الموقع ويظهر المقياس فيها حقيقيا وطبيعيا، لذا يفضل استخدامها إذا أريد أخذ قياسات دقيقة للظواهر الأثرية. ويمكن استخدامها بديلا للخرائط بعد إضافة بعض البيانات التوضيحية.

أما الصور الجوية المائلة فهي صور تلتقط بميلان، أي أن الصورة تلتقط بشكل غير عمودي ولذا فهي تغطي مساحات أكبر من تلك التي تغطيها الصورة العمودية. كما أنها تعطي أشكالا مألوفة للعين البشرية أكثر من الصور الجوية الرأسية. فهي تشبه إلى حد كبير النظر إلى الأرض من فوق تل مرتفع أو مبنى عال، حيث تسقط الرؤية بزاوية منفرجة على السطح. كذلك توضح الصور الجوية المائلة ظواهر لا تظهرها الصور الجوية الرأسية، مثل الكهوف الأثرية والمخابئ الصخرية التي

تقع تحت أطراف المرتفعات، لكنها لا تصلح لأخذ قياسات رأسية دقيقة ولا تكون بديلا للخرائط.

تستخدم الصور الجوية بهدف تمييز الظواهر الأثرية وفهم وتحليل علاقاتها المكانية. ولتفسير هذه الصور يستخدم المنظار المجسم (الإستيريوسكوب) فنحصل على مشهد ثلاثي الأبعاد للمنطقة تحت الدراسة. وعملية الرؤية بهذا الجهاز تسمى عملية الإبصار المجسم. ولتسهيل عملية تفسير الصور الجوية والفضائية قد يستعين الآثاري بطريقة إعداد الموازيك (مصفوفة الصور Mosaic) التي تلعب دورا رئيسا في عملية التفسير للمناطق الشاسعة. ويستدل الآثاري المستخدم للصور الجوية والفضائية على الظواهر الأثرية بتعرُّف العناصر الأساسية لخصائص الظواهر على الصورة مثل درجة اللون (Tone/ colour) والنمط Pattern والنسيج والشكل والحجم والظل. ويراعى أيضا في أثناء عملية التفسير بعض العوامل أهمها النطاقات الطيفية المستخدمة في التصوير، ووقت التصوير من اليوم والسنة، ومقياس الرسم والوضوح المكاني والغيوم ونحو ذلك (الصالح، أ ١٩٩٢: ١٨). وتلي هذه الخطوة مراحل التحليل والاستنتاج ثم التصنيف ثم المطابقة القياسية.

وقد كان لاستخدام تقنيات التصوير الملون والوسائل الفوتوغرامترية أهميتها في دعم مقدرة التصوير الجوي في البحث الأثري (Burnside 1985). وقد أدى استخدام تحت الأشعة الحمراء في الصور الجوية إلى معرفة المزيد من المعلومات عن مؤشر أنماط النباتات. ومعلوم أن الآثار المطمورة تحت الأرض تحدث تغيرات سلبية أو إيجابية في نمو النباتات ولكن هذه التغيرات قد تكون دقيقة لدرجة يصعب معرفتها بالعين المجردة. وقد سهلت وسيلة التصوير الملون على الباحث مهمة ملاحظة هذه التغيرات في نطاق الطيف غير المرئي (شكل ١). والأفلام التي تستخدم في التصوير الجوي عادة حساسة للجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، أما الصور ذات الطيف غير المرئي فيمكن الحصول عليها من خلال الأفلام ذات الأشعة تحت الحمراء أو باستخدام المرشحات (filters).

وقد كانت الصور الجوية حتى وقت قريب هي الوسيلة الوحيدة التي يمكن استخدامها للحصول على معلومات بواسطة الاستشعار عن بعد. وهي لا تزال تلعب دورا مهما ضمن وسائل الاستشعار الأخرى ونظم المعلومات الجغرافية المستخدمة في علم الآثار في الوقت الحاضر. وهي تناسب دراسات المناطق الصغيرة والمحدودة التي يسهل الوصول إليها. وقد كان لظهور نظم المعلومات الجغرافية وما صاحبها من نهضة رقمية دور أساسي في تطوير أسلوب تفسير الصور الجوية حيث ابتكرت بعض الشركات أجهزة ومعدات تسمح بالرؤية المجسمة للصور الجوية.

كذلك ابتكرت إيرداس (Erdas) برامج خاصة تتعامل مع الصور الجوية من خلال نظارات خاصة تمكننا من الرؤية المجسمة و إجراء عمليات رسم لمحتوى الصورة بطريقة دقيقة. وتعتمد هذه الطريقة على الخطوات الآتية (عبد الله ٢٠٠٦: ١٧٥):

١- إدخال الصورة بواسطة الماسح.

٢- عمل تصحيح هندسي للصورة الجوية من خلال نقاط ربط معلومة (التحقق الأرضي).

٣- فحص الصور الجوية وعمل رسم لها من خلال الشاشة.

٤- تعريف المحتوى عن طريق بناء قاعدة بيانات لمحتواها.

وتكون المخرجات النهائية صورة أو خريطة أو معلومات رقمية.

أدت قناعة الآثاريين بأهمية الصور الجوية وسيلة قديمة نسبيا للحصول على المعلومات عن المواقع الأثرية (Kennedy 1982, p. 29-36) إلى ظهور فرع تخصصي في الدراسات الآثارية يعرف بعلم الآثار الفضائي Aerial Archaeology (Pendleton 1995, p. 520).

وحالياً تطور استخدام الصور الجوية مصدرا أساسيا لنظم المعلومات المكانية الآثارية سواء أكانت الصورة بشكلها الحالي البصري أم بإدخالها في الحاسب في صورة رقمية. وتجدر الإشارة إلى أن الصور الجوية، وإن كانت مصدرا ثمينا لبيانات المسح الأثري، تعد مكملة للمعلومات الأخرى و حول المنطقة المراد دراستها. لذا يجب أن تفحص مع هذه المعلومات، ويجب أن تعزز الاستنتاجات أو تنقح في إطار المسح الموقعي الميداني.

ولا تزال وسائل التصوير الجوي التقليدي تشكل العمود الفقري لكثير من عمليات الاستشعار عن بعد. ونادرا ما تستخدم المرئيات الفضائية دون الاستعانة بالصور الجوية التقليدية أو استخدامها مصدر معلومات مساعدا (Lillesand and Kiefer 1994).

ونسبة لأن بعض الصور الجوية البانكروماتية تتمتع بدرجات وضوح مكانية عالية تصل إلى ٦٠سم فقد جرى حديثا استخدامها في بعض الأبحاث جنبا إلى جنب أو مدمجة مع المرئيات الفضائية المتعددة الأطياف والأقل منها وضوحا (Pavlidis 2005). وكما سنرى لاحقا، تتميز المرئيات الفضائية بأن معظم مستشعراتها المحمولة ذات أطياف متعددة لها القدرة على الحصول على بيانات في المدى الطيفي المرئي وغير المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء، الأمر الذي يساعد الباحثين في إجراء تحليلات أكثر شمولية.

٥- المرئيات الفضائية:

يقصد بالمرئيات الفضائية (Space Images) الصور الفوتوغرافية المستخرجة من المرئيات الرقمية الأصلية لأجهزة الاستشعار المحمولة على الأقمار الصناعية الأوتوماتيكية والتي من أشهر برامجها برنامج لاندسات (LANDSAT) الأمريكي وبرنامج سبوت الفرنسي (SPOT) وبرامج المرئيات الفضائية الروسية.

مرحلة التطور:

لقد حدث خلال العقدين السابع والثامن من القرن العشرين

تحول كبير في الاستشعار عن بعد، سواء من حيث المحتوى أو من حيث التنظيم (العنقري ١٩٨٦). ففي هذه الفترة سار التحليل البصري المباشر للصور الجوية الفوتوغرافية (أبيض وأسود) جنبا إلى جنب مع الأبحاث التي تركزت حول استخدام البيانات من وسائل الاستشعار الجديدة سواء المحمولة بالطائرات أو الأقمار الصناعية.

وقد شهد العقد السابع ظهور أجهزة جديدة تستخدم وسائل الاستشعار الحراري في الأشعة تحت الحمراء، والاستشعار في الموجات القصيرة جدا المحمولة على طائرات، وأجهزة الاستشعار المحمولة على الأقمار الصناعية.

أما العقد الثامن فقد شهد تطورا سريعا في وسائل الاستشعار غير الفوتوغرافية خصوصا مع بداية سلسلة برامج لاندسات، وقد تميزت هذه المرحلة بالتطور الكبير في وسائل الاستشعار عن بعد واستخداماته، واكبها انتشار استخدام الحاسب الآلي والأجهزة الإلكترونية الحديثة.

ولقد بدأ الاستشعار الفضائي بوساطة المركبات الفضائية المأهولة في جيمني ٣ عام ١٩٦٥م، عندما أخذت مجموعة من الصور للأرض. واستمر التصوير الفضائي في سلسلة رحلات برنامج أبولو التي بدأت عام ١٩٦٨م وانتهت عام ١٩٧٢م. وتبع برنامجي أبولو (APOLO) وجيمني (GIMNI) برنامج المعمل الفضائي إسكاي لاب (Sky Lab)، الذي استمر مدة ثمانية أشهر ما بين عام ١٩٧٣م و١٩٧٤م.

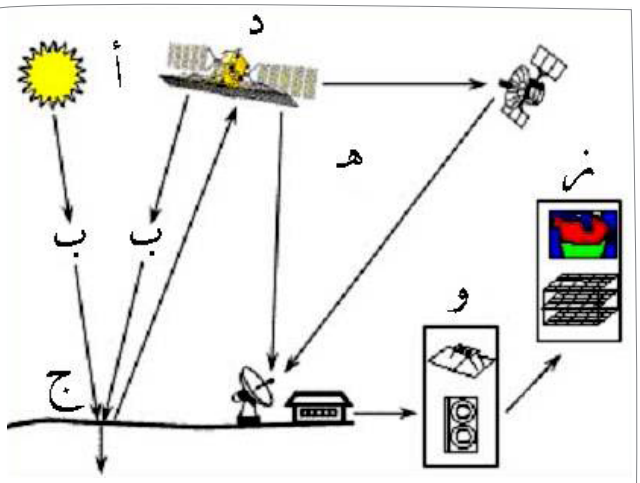
ونتيجة للتطور السريع في وسائل الاستشعار الفضائية خلال هذه الفترة ظهر ما يعرف بالصور غير الفوتوغرافية، التي تساعد على رؤية الأشياء تحت سطح الأرض من خلال الاستشعار في نطاقات الموجات الطويلة والقصيرة للطيف الكهرومغناطيسي. ففي الموجات القصيرة تسمح وسائل الاستشعار غير الفوتوغرافية بالرؤية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية، وفي الموجات الطويلة يتم الاستشعار بواسطة ماسح أو راديومتر في نطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة والمتوسطة والبعيدة، وبواسطة الرادار في نطاق الأشعة الطويلة جدا.

وفي ٢٣ يوليو ١٩٧٢م قامت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا (NASA) بإرسال القمر الصناعي ERTS-1 (الذي أطلق عليه فيما بعد اسم لاندسات ١) وأطلقت بعد ذلك سلسلة برنامج اللاندسات من الأقمار الصناعية، أحدثها هو لاندسات ٧ الذي أطلق في ١٥ إبريل من عام ١٩٩٩م وتتراوح درجة وضوح صوره بين ١٥-٣٠ مترا.

لقد أصبح علم الاستشعار عن بعد وسيلة مهمة في المسح والبحث الأثريين وذلك بعد التطور الذي طرأ على آلات التصوير والأفلام ووسائل الطيران. ولكن مع بداية عصر ارتياد الفضاء عام ١٩٥٧م والتقاط أول صور فضائية لسطح الأرض بوساطة الكاشف ٦ (Explorer – 6) عام ١٩٥٩م بدأ الاهتمام يتجه إلى استخدام الفضاء منصةً والتوابع وسيلةً لحمل آلات التصوير وأجهزة الالتقاط المختلفة لمراقبة الكرة الأرضية وجمع المعلومات عنها. وتبع ذلك إطلاق المزيد من المنصات والمركبات الفضائية حول الأرض لجمع المعلومات الخاصة بسطح الكرة الأرضية. وتختلف المنصات حسب الجهة المصنعة (الدولة) والجيل، ومن هذه المنصات سلسلة الأقمار الاصطناعية الأمريكية لاندسات وسلسلة إسبوت الفرنسية . وجميع هذه الأقمار الأمريكية والفرنسية غير مأهولة وتلتقط مرئيات متعددة الأطياف في مختلف الحزم الطيفية المرئية وتحت الحمراء (Lo 1987, p. 28). كما دخلت هذا المجال دول عدة منها اليابان والهند اللتان أطلقتا أقمارا صناعية لدراسة الموارد الأرضية. وقد رافق هذا التطور في إطلاق الأقمار الصناعية تقدم كمي ونوعي هائل وتحسين في مستوى أجهزة الاستشعار عن بعد. إن هذا العلم يسابق الزمن، وكان نتيجة لذلك ارتفاع دقة التصنيف والوضوح لأجهزة الاستشعار التي ترفع بدورها من دقة النتائج المستنبطة من المرئيات الفضائية، مما أدى إلى اتساع مجالات استخدام معطيات الاستشعار عن بعد وتطورها في مختلف العلوم والدراسات خصوصا التطبيقية منها (المومني ١٩٩٧: ٤٦).

بيانات مرئية الاستشعار عن بعد:

تمر بيانات مرئية الاستشعار عن بعد بعمليتين رئيستين قبل أن يتم استخدامها (شكل ٢). فالعملية الأولى هي عملية جمع البيانات، تليها عملية تفسير البيانات وتحليلها. وتشتمل هاتان العمليتان على العناصر الرئيسة الآتية:



الشكل ٢ : العناصر والمكونات الرئيسة لمراحل عملية الاستشعار عن بعد.

المصدر: Canada Centre for Remote Sensing.

١- مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي (الطاقة) (أ).

٢- تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الغلاف الجوي (ب).

٣- تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع مواد سطح الأرض (الهدف وهو الجسم أو الظاهرة المراد دراستها «ج»). وتسجل المستشعرات المظاهر الأرضية في مجالات مختلفة تبدأ من المرئية، إلى الحمراء والحرارية. وتعد الاختلافات الانعكاسية كالاختلافات في ظواهر الأرض، حيث وجد أن لكل مظهر على

سطح الأرض هوية أو بصمة تختلف عن المظاهر الأخرى.

٤- تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية بوساطة أجهزة الاستشعار (د).

٥- بث الطاقة التي سجلتها أجهزة الاستشعار غالبا في شكل إلكتروني، إلى محطة استقبال لمعالجة البيانات في شكل مرئية رقمية أو غير رقمية (هـ).

٦- التفسير والتحليل أي تفسير المرئية المعالجة بصريا و/ أو رقميا أو إلكترونيا للحصول على معلومات عن الهدف (ز).

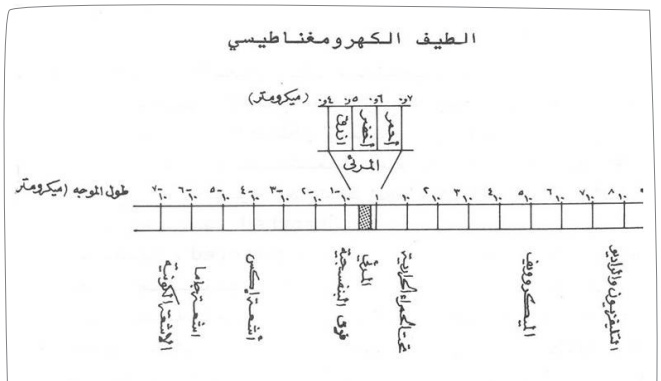
٧- الاستخدام والتطبيق، حيث يتم تحقيق العنصر الأخير من عملية الاستشعار عند تطبيق المعلومات واستخدامها، ويتم الحصول عليها من مرئية الهدف بغرض دراسته بصورة أفضل، وللحصول على معلومات جديدة عنه، أو بغرض المساعدة في التوصل إلى حل لمشكلة ما (Canada Centre for Remote Sensing).

هذه العناصر تشكل عملية الاستشعار عن بعد من بدايتها إلى نهايتها.

الطاقة الكهرومغناطيسية:

يبنى الأساس العلمي للاستشعار عن بعد على فهم الطاقة الكهرومغناطيسية لتفسير المعلومات الخاصة به، وعلى ذلك فمن المهم معرفة بعض أساسيات الإشعاع الكهرومغناطيسي وتفاعلاته مع المواد الأخرى.

ترتبط مكونات الاستشعار بالطاقة الكهرومغناطيسية (المرئية منها وغير المرئية) وهي الطاقة التي تسير بسرعة الضوء (٣٠٠٠٠٠ كم ثانية) وتتكرر بانتظام، والطاقة المستنبطة وهي التي تستخدم جزءا من المجال الكهرومغناطيسي مثل الموجات الصوتية وأشعة الميكروويف والأشعة السينية وإشعاعات جاما، التي يتم فيها إرسال الترددات الصوتية أو الإشعاعية من جهاز الإرسال باتجاه الجسم، ثم استقبال المرتد منها على جهاز الاستقبال، ومن ذلك يتم الحصول على معلومات عن الهدف (شكل ٣).



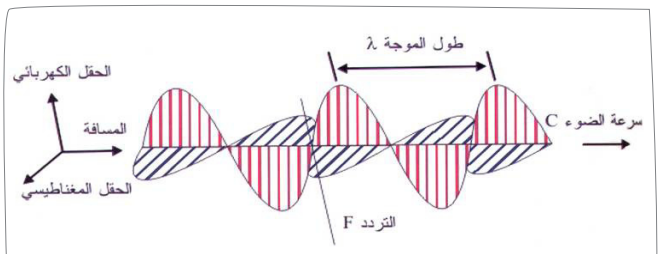
الشكل٣: أطوال موجات الطيف الكهرومغناطيسي.
المصدر: Lillesand & Kiefer 1994

وتعتمد عملية الاستشعار عن بعد اعتمادا كليا على فرضية فيزيائية مبرهنة علميا مفادها أن الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة عن هدف ما تحمل خواص ذلك الهدف، أي أن الطاقة التي يحملها الإشعاع المنعكس تعتمد على طبيعة الهدف الفيزيائية والكيميائية، وهذا يعني بالمقابل أننا إذا كنا نعرف كيف تتغير شدة الأشعة المنعكسة عن الأهداف أمكننا أن نتعرف الأهداف نفسها (طرابزوني ١٩٩٣م).

تنقسم مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي في الاستشعار عن بعد إلى نوعين هما: المصادر الطبيعية، مثل إشعاع الشمس المنعكس والإشعاع الحراري المنبعث من سطح الأرض والأجسام التي عليها. ويعرف الاستشعار عن بعد، الذي يستخدم هذه المصادر الطبيعية، بالاستشعار السالب (Passive Remote Sensing) . أما النوع الثاني فهو المصدر الصناعي للإشعاع الكهرومغناطيسي، وهو من عمل الإنسان؛ حيث ترسل الأجهزة المحمولة على المنصات كالأقمار الصناعية موجات كهرومغناطيسية إلى الأهداف المراد دراستها، فترتطم بها، وتنعكس لتستقبلها المستشعرات مثل الرادار. ويسمى هذا النوع من الاستشعار بالاستشعار الموجب (Active Remote Sensing) .

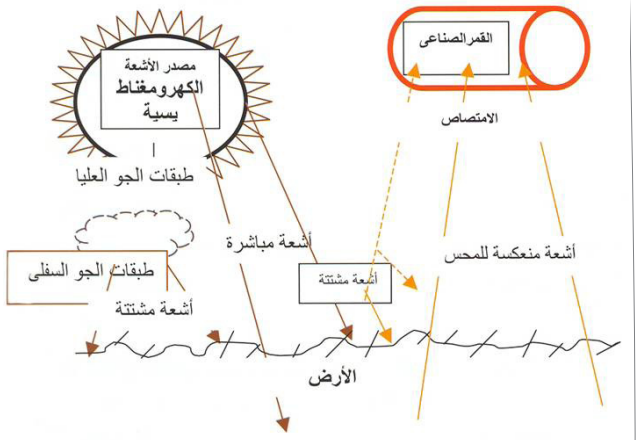
تفاعلات الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المواد:

يعد الغلاف الجوي الوسط الذي تمر من خلاله الإشارات الصادرة من الأجسام التي هي على سطح الأرض إلى القمر الصناعي في الفضاء. ويتكون الغلاف الجوي من غازات أهمها الأكسجين والنيتروجين والأوزون وثاني أكسيد الكربون إضافة لبخار الماء. وتعمل هذه المواد على التأثير في الإشعاع الكهرومغناطيسي في أثناء مروره في الغلاف الجوي، فتعمل على انكساره أو تشتيته أو امتصاصه أو انعكاسه. وتختلف درجة التشتت والامتصاص تبعا لاختلاف طول الموجة حيث يتناقص معدل التشتت بزيادة طول موجة الإشعاع (شكل ٤).



الشكل ٤: موجة الإشعاع الكهرومغناطيسي. المصدر:
Lo 1986.

ويلاحظ أن عملية الامتصاص بوساطة مواد الغلاف الجوي تؤدي إلى فقد جزء من الطاقة الكهرومغناطيسية. فمثلا الموجات الأقل من ٣و٠ ميكرومتر (الأشعة فوق البنفسجية) تمتص في طبقة الأوزون، والموجات التي تزيد على ٣و٠ ميكرومتر تمتص وتشتت بوساطة جزيئات المياه في السحب. ويؤثر الغلاف الجوي في الأشعة الكهرومغناطيسية من خلال كل من التشتت، والامتصاص، والظواهر الأرضية التي يتم رصدها (شكل ٥).



الشكل ٥: يوضح إمكانية استخدام مرئيات الاستشعار والصور الجوية طبقاتٍ لمعلومات متباينة.

المصدر: عبد الله ٢٠٠٦م.

نتيجة لهذه التفاعلات فإن جزءا من الطيف الكهرومغناطيسي لا يمكن استخدامه؛ لأن الإشعاع لا يتمكن من النفاذ من خلال الغلاف الجوي. ولذلك تستخدم الأقمار الصناعية في التصوير الفضائي ما يعرف بنوافذ الغلاف الجوي. وتسهل هذه النوافذ مرور الأشعة فيها من خلال الطيف الكهرومغناطيسي دون تأثير في كمية الأشعة المنعكسة أو الممتصة أو المنتشرة (عبد الله ٢٠٠٦: ٢٧٧).

أجهزة الاستشعار عن بعد:

صممت أجهزة الاستشعار عن بعد لتسجيل الإشعاع المنعكس أو المنبعث من سطح الأرض، وذلك في نطاقات معينة من الطيف الكهرومغناطيسي (شكل ٣). ومن الأجهزة المتعددة التي تستخدم في تقنية الاستشعار عن بعد ما يأتي:

١- **آلات التصوير العادية:** وهي ذات الأفلام العادية (الأبيض والأسود وذات الألوان الطبيعية وأفلام الأشعة تحت الحمراء). ويختلف التصوير باختلاف آلة التصوير والفيلم حيث إن كل نوع من الأفلام له حساسية لنوع الأشعة.

٢- **آلات تصوير متعددة الأطياف:** (الأبيض والأسود والطيف الأخضر والطيف الأحمر والطيف تحت الأحمر) ويتم التصوير فيها بوضع مرشحات وأفلام ذات حساسية خاصة ومختلفة لكل طيف يراد التصوير به.

٣- **اللاقط متعدد الأطياف:** يتم فيه التقاط الصور أو المعلومات باستقبال الأشعة المنعكسة والمنبعثة من الأجسام بوساطة أجهزته الرئيسة التي تتمثل في أجهزة الجمع وأجهزة الكشف وأجهزة التسجيل. وتكون الصور في مثل هذا النوع من الأجهزة رقمية وليست فوتوغرافية.

٤- **اللاقط الطيفي للأشعة تحت الحمراء الحرارية:** ويتم التقاط الصور فيه بتسجيل الاختلافات الحرارية بين عناصر الهدف ويمكن استخدامه ليلا ونهارا.

٥- **الرادار:** وهو الجهاز الذي يصدر الطاقة في الترددات L, K, X ويرسلها إلى الجسم ثم يستقبل المرتد منها. ويمكن استخدامه في جميع الأحوال الجوية والمناخية ليلا ونهارا.

٦- **آلات التصوير الأخرى:** مثل آلات التصوير التلفزيونية وأجهزة الأشعة السينية وأشعة جاما وأشعة الليزر والميكروويف.

يمكن بواسطة جميع هذه الأجهزة تكوين صور فوتوغرافية أو رقمية. وتستخدم هذه الأجهزة لدراسة الهدف وذلك لإظهار المعالم الخاصة به من حيث الحجم والمساحة والدقة ومقياس الرسم (المصدر السابق).

وهناك بعض العوامل التي تؤثر في دقة تحديد الحجم والمساحة ومقياس الرسم وهي:

- الظروف المناخية في أثناء جمع البيانات.
- الفترات الزمنية التي يرغب في جمع البيانات خلالها.
- نوعية الفيلم المستخدم والبعد البؤري لآلات التصوير.
- نوعية اللاقط أو آلة التصوير.
- ارتفاع المنصة حاملة الأجهزة، إذ توضع هذه الأجهزة على منصات مختلفة مثل الأماكن المرتفعة أو البالونات والمناطيد والطائرات ذات الارتفاع المنخفض أو المرتفع وعلى التوابع.

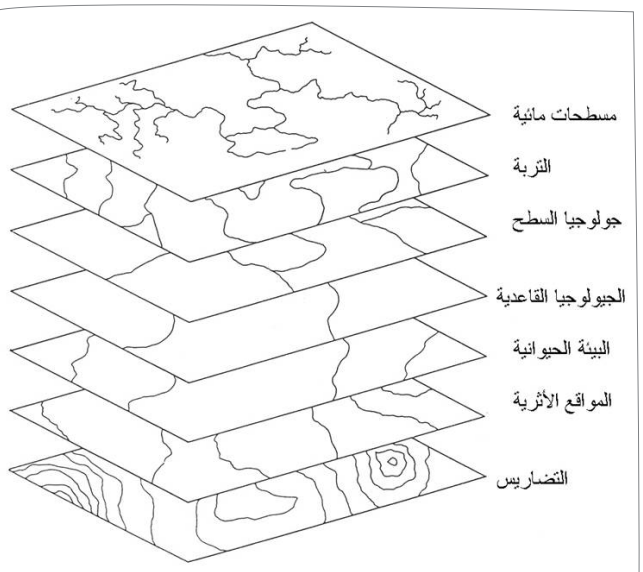
٧- **استخدامات الاستشعار عن بعد في علم الآثار:** يمكن القول بأنه يصعب حصر الحقول والمجالات التي تلعب فيها تقنيتا الاستشعار الجوي والفضائي دورا مهما وحيويا في علم الآثار، للحد الذي أطلق البعض على تطبيقات واستخدام الصور الفضائية في علم الآثار علم الآثار الفضائي كما ذكرنا (Pendleton 1995, p. 520). ونذكر فيما يأتي بعضا من هذه المجالات المتزايدة والمتغيرة باستمرار:

٧-١. **المسح:** يعد الاستشعار الفضائي أحد وسائل استكشاف المواقع الأثرية خاصة وأنه يغطي عادة مساحات جغرافية شاسعة ويعد وسيلة سريعة لدراسة مظاهر الأرض الطبيعية وشكلها. فهو يفيد في دراسة شواهد النشاط البشري الذي كان قائما في الماضي على سطح الأرض (Miller 1957; Thompson1967; Riley 1987; Wilson 2000). فمن خلال فحص الصور الفضائية وتفسيرها يمكن اكتشاف المواقع الأثرية وفهم علاقاتها المكانية وأنماطها.

وكما في الصور الجوية، يستدل على المواقع الأثرية من خلال ظواهرها على الصورة مثل درجة اللون، والنمط، والشكل، والحجم والظل (الصالح أ، ١٩٩٢). والخصائص الطبوغرافية والتضاريسية والقرب من مصادر وموارد المياه (قنوات الري ومجاري الأنهار والأودية القديمة والآبار مثلا) والأبعاد والمسافات بين المواقع والطرق القديمة ونحو ذلك، ويمكن أن تساعد على التنبؤ بالأماكن المحتملة مواقعَ أثرية (Kruckman 1987; Kennedy 1998; Kouchoukos 2002; Hritz and Wilkinson 2006).

ومن خلال تحديد شبكة انتشار المواقع التي تعكس أنماط الاستيطان قد يمكن معرفة الكثير من النظم الاجتماعية

والسياسية للمجتمعات القديمة ومساحات الأراضي الممتلكة ومظاهر استغلال الموارد الطبيعية المتاحة وجلبها (مثل مصادر المياه والمواد الخام والغطاء النباتي والحيواني) حين كانت تلك المواقع مأهولة (Vita- Finzi and Higgs 1970). ولا ينحصر المسح الآثاري على الآثار الدالة على النشاط البشري وإنما يجري الاهتمام أيضاً بعناصر البيئة والإيكولوجيا والمناخ والجيومورفولوجيا والجيولوجيا والمنظر الطبيعي الأرضي (Montufo 1997) التي ارتبطت بمظاهر الاستيطان البشري القديم بالمنطقة التي يجرى فيها المسح الآثاري (شكل ٦).



شكل ٦: تخزين المعلومات في الحاسب الآلي في شريحة واحدة (صورة جوية أو خريطة) مجمعة من عدد من الشرائح بحيث تمثل كل شريحة أو طبقة نوعا من المعلومات.

الحماية: يمكن بوساطة الصور الفضائية تحديد الحدود الجغرافية للمواقع الأثرية وإعداد خرائط الأساس لها للحفاظ عليها وحمايتها من الأخطار البشرية، مثل الزحف العمراني واستصلاح الأراضي والتخلص من النفايات (Dorrel ١٩٨٩). وكذلك حمايتها والحفاظ عليها من الكوارث والمخاطر الطبيعية مثل الفيضانات والزلازل والبراكين وحرائق الغابات والسيول. وتتم الحماية بتحديث خرائط الأساس للمواقع من حين لآخر، وبمراقبة المواقع عبر الصور الجوية والمرئيات الفضائية التي يمكن بوساطتها التنبؤ بالكوارث الطبيعية المحتملة والعمل على حماية المواقع الأثرية منها (UNESCO: http://telsat.belspo.be/whp/remotesensing.html).

ونظرا لاستمرارية معلومات الاستشعار عن بعد وتكرارها في فترات قصيرة وعدم تغير خواصها أصبحت هذه التقنية من أفضل الوسائل لحماية ومراقبة التغيرات التي تحدث للمواقع الأثرية والتراثية وجمع المعلومات عنها. ولا يمكن الحصول على معلومات عن مقدار التغير ونوعه إلا بمقارنة صورتين مأخوذتين في تاريخين مختلفين لنفس المنطقة أو الموقع حيث تكون الصورة الأولى هي المرجع الذي يمكن الاستناد إليه في وصف التغير الحاصل في الصورة الثانية للمنطقة المدروسة.

نظم المعلومات الجغرافية الآثارية: نظم المعلومات الجغرافية نظم معلومات تقوم بإدخال البيانات الجغرافية وتخزينها ومعالجتها في بيئة حاسوبية متقدمة (Burrough 1986). ومنذ أكثر من عقدين من الزمان بدأت العلوم المكانية في الاندماج مع العلوم وتقنيات المعلومات لتكون مجالات منهجية وتقنية مهمة، شملت نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ونظم إدارة قواعد البيانات ونظم تحديد المواقع (طه والحسن ٢٠٠٧). وتكاملت هذه الفروع لتشكل ما بات يعرف بالتقانة الجغرافية-المعلوماتية (geotechnology geomatics" التي أثارت اهتمام الكثير من العلوم، ومنها علم الآثار. وفي هذا التكامل ينبغي دائما أن ندرك أن الفرق الرئيس بين بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية هو أن بيانات الاستشعار عن بعد توجد في شكل نقاط أساسية، في حين توجد بيانات نظم المعلومات الجغرافية في صورة خطوط أو مضلعات خطية. وقد احتوت نظم المعلومات الجغرافية على نظم خاصة تقوم بمعالجة الصور والمرئيات الفضائية وفي الوقت نفسه تقوم بمطابقتها مع بيانات خطية لخرائط أساسية وذلك للحصول على نتائج مرضية (عزيز ١٩٩٨: ٤٧).

ومع نجاح تكنولوجيا الاستشعار عن بعد أصبح دور نظم المعلومات الجغرافية أمرا ملحا، وخاصة بسبب زيادة حجم المعلومات وتنوعها، مما ترتب عليها صعوبة الاستفادة منها بالطرق التقليدية. لقد صاحب تقدم تكنولوجيا الاستشعار عن بعد خلال الحقبتين السابقتين توفر كم هائل من المعلومات المكانية عن مظاهر سطح الأرض، مما دفع الباحثين إلى التوجه إلى الاعتماد على الحاسوب في قراءة مرئيات الاستشعار وتحليلها، وهذه يصعب إجراؤها بالطرق التقليدية وخاصة مع المعلومات الرقمية.

شهد استخدام نظم المعلومات الجغرافية في علم الآثار على حداثته نجاحات تمثلت في عدة أمثلة تطبيقية (طه والحسن ٢٠٠٦). ويعد المسح الميداني للمناطق ذات المقياس الإقليمي وإدارة الموارد التراثية من أكثر الفروع أو التخصصات الآثارية استفادة من هذه التقنيات (Wheatley and Grillings 2002).

ولازم هذا الاستخدام بعض الإشكالات التي تمثلت في التعقيدات التقنية والمنهجية لهذه النظم، إضافة إلى المشكلات التي ترتبط بتدريب المستخدمين أنفسهم. ويمكن حصر مشكلات الاستخدام في نوعية البيانات ومستويات التدريب والمعدات والدعم الفني وضرورة تصميم برامج نظم معلومات جغرافية تناسب العمل والبحث الآثاري (طه والحسن ٢٠٠٦).

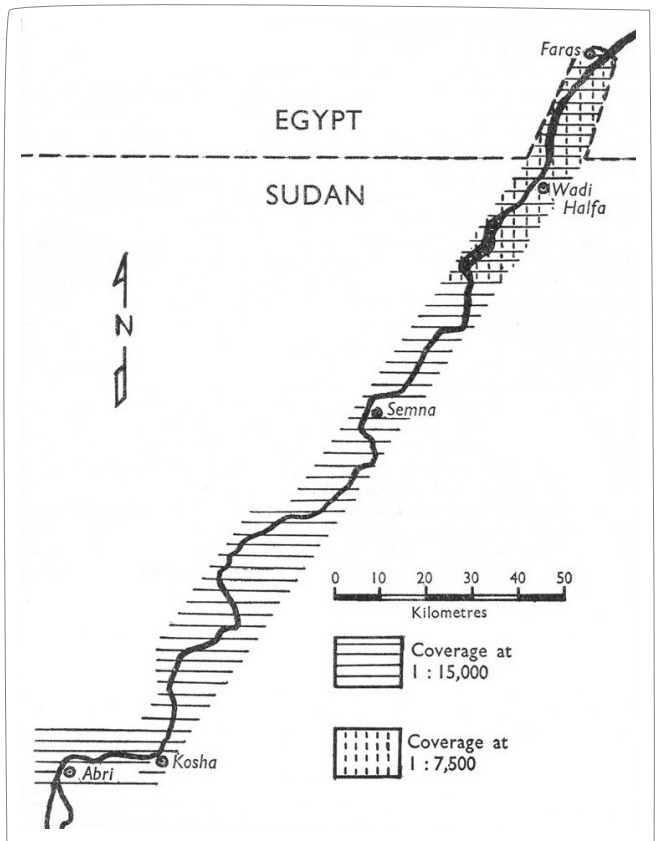
حالات تطبيقية:

وفيما يأتي عرض لبعض الحالات التي أثبت فيها الاستشعار عن بعد جدواه في المجال التطبيقي في علم الآثار.

التصوير الجوي التقليدي:

حالة النوبة السودانية:

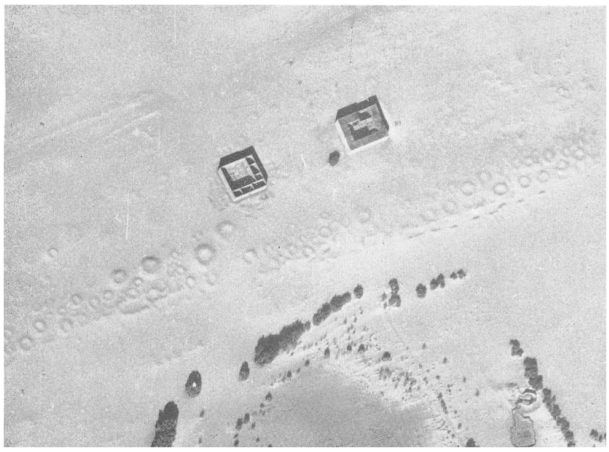
لقد طبقت تقنيات الاستشعار عن بعد عبر التصوير الجوي في عدد من أعمال المسح والتوثيق ودراسة المنظر الطبيعي الأرضي (Landscape) القديم للمواقع الأثرية في عدد من مناطق العالم. خلال حملة إنقاذ آثار النوبة، التي نتجت عند فكرة إنشاء السد العالي وما سيؤدي إليه إنشاء السد من غمر منطقة تمتد مسافة مائة وثلاثة عشر ميلا داخل الأراضي السودانية فقامت الهيئة القومية للآثار والمتاحف السودانية في شهري نوفمبر وديسمبر من عام ١٩٥٩م بمساعدة هيئة المساحة بجمهورية السودان بالتصوير الجوي لكل المنطقة التي ستغمرها مياه السد العالي توطئة للبدء في العمليات الإنقاذية الآثارية (شكل ٧). وقد ساعد هذا كثيرا على تنظيم المسح الأثري وتنفيذه، فقد تضمن المسح الجوي ثلاث مراحل من العمليات التصويرية خدمت كل عملية منها غرضا معينا (Adams 1961, p. 11-14):



الشكل ٧: المنطقة التي شملها المسح الآثاري الجوي بالنوبة السودانية.
المصدر: Adams and Allen 1961.

أ- المجموعة الأولى تشكلت من صور جوية استخدمت لتحضير خرائط أساس إذ لم تكن هنالك خرائط مناسبة للمسح الآثاري.

ب- المجموعة الثانية حوت صورا جوية خصصت للاستفادة منها في عمليات البحث عن الآثار؛ لأنها تبين بكل وضوح بعض المواقع الأثرية، كما أنها تظهر أحيانا علامات توحي بما يشبه الأثر في بقعة معينة، مما يستلزم التحقق منها في أثناء سير عملية المسح الآثاري (شكل ٨).



الشكل ٨: صورة جوية توضح مقابر أرقين بالنوبة السودانية.
المصدر: Adams and Allen 1961.

ت- المجموعة الثالثة شملت صورا جوية أخذت من ارتفاع منخفض لبعض المواقع الأثرية المهمة فكانت ذات قيمة عظمى في رسم خرائط دقيقة للحفائر في تلك المواقع، كما أنها ساعدت على توثيق التنقيب فيها وتخطيطه وتنظيمه.

المرئيات الفضائية:

حالة الجزيرة العربية:

لوقت طويل بقيت الأسطورة العربية والروايات الشعبية المحلية تتحدث عن مدينة قديمة تعرف بـ «وبار» أو «عبر» ترقد تحت رمال الجزيرة العربية المحرقة. وكانت تلك المدينة، كما يروى عنها، واحدة من محطات الطريق التجاري البري الذي ينقل تجارة المحيط الهندي إلى الشام ووادي الرافدين عبر جنوب الجزيرة العربية. إلى جانب ذلك فقد عرفت مركزا لتجارة البخور وتحدثت الروايات عن ثراء المدينة وازدهارها إلى الحد الذي ربطها بعضهم بمدينة إرم التي جاء ذكرها في القرآن الكريم (سورة الفجر) والتي نسبت إلى عاد قوم هود (عليه السلام).

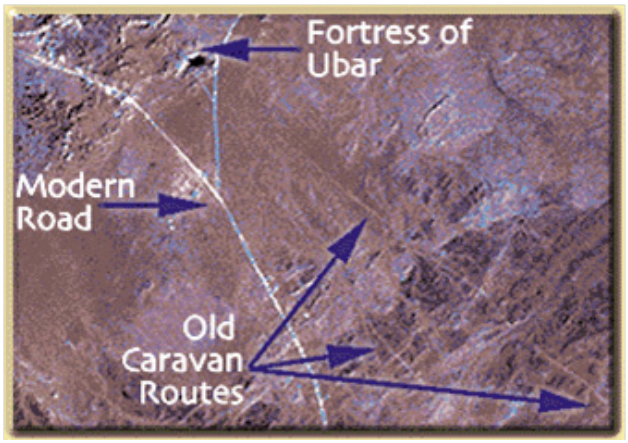
جاءت الإشارة إلى وبار في عدة مؤلفات لرحالة وجغرافيين مسلمين وغيرهم، منهم كلوديوس البطلمي ماركو بولو والهمداني وياقوت وابن بطوطة، إلا أن أحدا لم يزرها. وبقيت كما أسماها لورانس العرب «أطلانطا الرمال».

وفي عام ١٩٨٤م قام مكوك فضائي بالتقاط صور استشعارية لبعض مناطق الجزيرة العربية تضمنت صورا ضوئية وحرارية للأطراف الجنوبية للربع الخالي. وعند دراسة تلك الصور أظهر بعضها دروبا قديمة ترقد تحت الكثبان الرملية الحالية، وتصل إلى بحيرة قديمة (شكل ٩). وعلى مقربة منها لوحظ وجود مخلفات قديمة على السطح. عندها قام فريق بريطاني

الشكل ٩: صورة رادارية توضح موقع شصر / وبار وطرق القوافل القديمة. الصورة التقطها جهاز التصوير الراداري SIR-C من مكوك الفضاء. المصدر: الباز ١٩٩٨م.

أمريكي بتنفيذ مشروع آثاري مشترك في عامي ١٩٩٠م و١٩٩١م للتنقيب في المنطقة. وبالفعل كشفت التنقيبات عن مستوطنة قديمة تحوي مباني وأبراجا (شكل ١٠) ومعثورات تشير إلى مدينة غابرة يعود تاريخها إلى فترة ما بين القرن الثالث ق. م إلى مطلع القرن الرابع الميلادي، إلا أن الحفريات لم تتحقق بعد من تلك المدينة، أهي وبار الأسطورية؟(Clapp ١٩٩٩؛ زارنس ٢٠٠١: ١٤٢ - ١٥٣).

وإلى جانب هذه المدينة عثر على مدينة أثرية أخرى في منطقة عين حمران على الساحل العماني كان قد ذكرها البطلمي أيضا في القرن الثاني الميلادي. وكانت هي أيضا مركزا تجاريا مهما وميناءً على الطريق التجاري سابق الذكر غير أن أعمال التنقيب في الموقعين لا تزال في بدايتها، وأن المزيد من الدراسات الاستشعارية والآثارية في المستقبل كفيلة بكشف الصورة بكاملها (زارنس ٢٠٠١: ١٥٨ - ١٦٤).



الشكل ١٠: صورة فضائية توضح قلعة شصر/ وبار وطرق القوافل القديمة.

المصدر: NASA Observatorium Education-Ubar.

حالة الصحراء الليبية:

كذلك أظهرت صور فضائية استشعارية التقطتها كاميرات تصوير مثبتة على مكوك فضائي (SIR-A) في عام ١٩٨١م شبكة من الأودية القديمة في المنطقة الصحراوية في جنوبي مصر وشمالي السودان إلى الغرب من النيل فيما يعرف بالصحراء الليبية (الباز ١٩٩٨م). ترقد هذه الأودية تحت غطاء رملي، وهي بالتالي ليست ظاهرة على السطح ولا تشكل جزءا من تضاريس المنطقة. وقد شقت الأودية طريقها على قاعدة الحجر الرملي النوبي الذي يغطي المنطقة والذي يستند بدوره على صخور قاعدية.

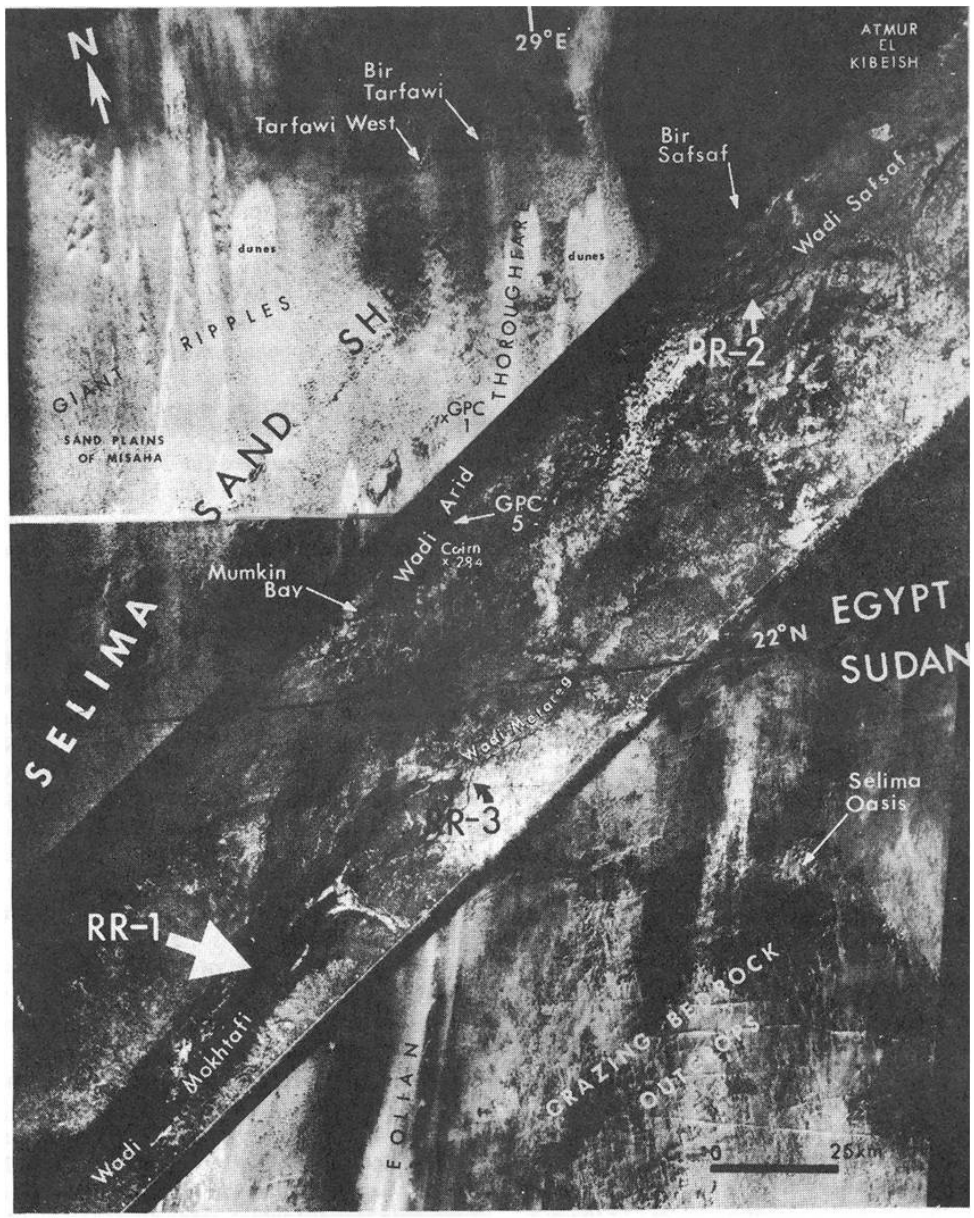
تعد هذه المنطقة اليوم أحد أكثر صحاري العالم جفافاً، حيث تنعدم فيها جميع أوجه الحياة من نباتية وحيوانية بسبب انعدام الماء والأمطار فيها. وتخلو المنطقة إلا من غطاء رملي تتخلله كثبان رملية يتفاوت سمكها بين ربع متر وما يزيد على عشرة أمتار غير أن تلك الصور الاستشعارية أظهرت شبكة من الأودية يتراوح عرض بعضها بين ١٠ – ٣٠ كيلو متراً (الشكل ١١). أي أنها أعرض من مجري النيل الحالي بعدة أضعاف. وبينما يلاحظ أن بعض هذه الأودية غير عميق يلاحظ أن البعض الآخر يغور مجراه في طبقات الحجر الرملي.

تضافرت جهود عدة جهات أكاديمية وحكومية لإجراء دراسات جيولوجية وجيومورفولوجية وآثارية ميدانية في تلك المنطقة، كان أحدنا ضمن أفرادها (عباس محمد علي). وعند معاينة المنطقة أثبتت حقيقة وجود هذه الأودية بعد إزالة الغطاء الرملي في بعض المناطق. ولوحظ أن الأودية تحوى قدرا من ترسبات الطمي مما يشير إلى جريان المياه فيها في أزمان قديمة. إلى جانب ذلك فقد حوت هذه الأودية في قيعانها أنواعا من الحصى لا تعرف له مصادر جيولوجية محلية، ويبدو أن المياه قد جرفته من مسافات بعيدة لا تقل عن مائتي كيلو متر. إلى جانب ذلك عثر على متحجرات نباتية وحيوانية شملت أنواعا من الصدفيات المائية التي تعيش حاليا في منطقة السدود بأعالي النيل (McCauley et al. 1982).

طرحت هذه الشبكة من الأودية عدة أسئلة تتعلق بمصادرها المائية وأماكن تجميعها واتجاه مصبها. وبحكم كون صور المكوك لا تغطي المنطقة بكاملها إذ لم يتوفر سوى الشريط الأرضي الذي يقابل مسار المكوك، لم يكن من السهل إعطاء إجابات شافية لتلك الأسئلة.

والمعلومات المتوفرة من الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية لنهر النيل قد تلقي بعض الضوء على هذه القضية بحكم أن النيل الحالي هو ظاهرة حديثة نسبيا. وقد برز احتمال ينادي بأن مصادر هذه الأودية تجيء من السلسلة الجبلية المحاذية للبحر الأحمر في شرق مصر والسودان وذلك عقب الانشطار الذي أدى إلى بروز البحر الأحمر. ومنذ ذلك الحين وحتى العهد الجيولوجي الرابع تعاقبت على المنطقة أحداث جيولوجية غيرت من شكل تضاريسها.

أما بالنسبة للآثاريين فقد كان وجود تلك المخلفات النباتية والحيوانية والترسبات النهرية في المجسات الجيولوجية دليلا على احتمال وجود بشري في تلك الحقب التي أعقبت ظهور الإنسان والحضارة. وبالفعل تم تحديد أماكن على شواطئ تلك الأودية الخفية علها تصادف مستوطنات بشرية قديمة. وأجريت حفريات اخترقت الغطاء الرملي لتصل شواطئ الأودية على عمق يتراوح بين ١,٢ – ١,٥ أمتار. وقد عثر في عشرة من تلك المجسات على أدوات حجرية تعود إلى العصر الأشولي المتأخر والذي يؤرخ إلى الفترة الممتدة من ٢٥٠ ألف – ١٠٠ ألف سنة من وقتنا الحالي (في إطار البلايستوسين الأوسط). شملت تلك المعثورات مئات الفؤوس الحجرية والسواطير وأنواع الأدوات الحجرية المميزة للحقبة الأشولية. وقد لوحظ أن بعض هذه الأدوات تكسوها قشرة كلسية من ترسبات كربونات الكالسيوم، الأمر الذي يشير إلى ترسبات مائية في فترة لاحقة لصنع تلك الأدوات. كذلك أظهر بعضها الآخر آثار تعرية على أطرافها مما يشير إلى وجودها على السطح لفترة طويلة وتعرضها لمختلف عوامل التعرية قبل أن تغطيها الرمال في نهاية البلايستوسين



الشكل ١١: صورة رادارية تظهر شبكة من الأودية تحت السطح، بالصحراء الليبية.

المصدر: McCauley, J. F. et al. 1986

الأوسط. وقد غابت في هذه المجسات أية آثار تعود للعصر الحجري القديم الأوسط مما يؤكد أن فترة الجفاف تلك قد سبقت بداية البلايستوسين الأعلى. وبقيت بعض تلك الأودية القديمة أماكن تجمع للمياه في الفترات المطيرة خلال العهد الجيولوجي الرابع، مما ساعد مجموعات بشرية متعاقبة على العيش حولها وبقي الحال كذلك حتى فجر التاريخ حين قاد التدهور المستمر للظروف المناخية إلى تصحر تلك المنطقة وهجرتها تماما (المصدر السابق).

حالة أمريكا الوسطى:

وفي منطقة أخرى من العالم قامت وكالة الفضاء الأمريكية NASA بالاشتراك مع بعض الآثاريين بتنفيذ مشروع مسح جوي شامل في شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك وأمريكا الوسطى وهي المنطقة التي كانت مركزا لحضارة المايا في السابق بدءا من منتصف الألف الأول ق.م. وحتى منتصف الألف الثاني الميلادي. كشفت تلك الصور الفضائية الاستشعارية عن شبكة هائلة من مواقع المايا وحقولهم الزراعية حيث أبرزت تباينا واضحا في الألوان والظلال في المنطقة الواحدة (Rapp and Christopher 1998, p. 192). كان هناك ١١٢ نقطة على الخرائط يظهر نمط توزيعها أنها مواقع مستوطنات (NASA 2007). وقد ارتبطت تلك النقاط بما يمكن أن يفسر بأنه قنوات للمياه كانت جزءا من شبكة الري لمزارعي المايا. اختار الآثاريون عشرين من تلك النقاط للتحقق من صحتها، وقاموا بمعاينة المنطقة على الطبيعة حيث برهنت تلك النقاط على وجود مواقع أثرية فعلية.

كذلك كشفت تلك الصور عن وجود مدينة للمايا لم تكن معروفة للآثاريين من قبل. كما أعادت اكتشاف مدينة أخرى كانت قد غطتها الغابات الكثيفة ولم يعد ممكنا تحديد موقعها.

وعلى مقربة من يوكاتان وضمن مشروع مشترك آخر بين وكالة الفضاء الأمريكية وبعض الآثاريين أجري مسح جوي بواسطة طائرة خاصة التقطت صورا بالأشعة تحت الحمراء لمنطقة أرينال في كوستاريكا بأمريكا الوسطى حيث سبق أن عثر على ملتقطات سطحية لحضارة قديمة غير معروفة ولم يعثر على مواقع لها خلال المسح الأرضي. ويبدو أن بركانا ثار في وقت لاحق لازدهار تلك الحضارة وغطى رماده مواقعها. كشفت الصور الاستشعارية عن مجموعة مواقع ودروب. ومرة أخرى أثبتت التنقيبات الحقلية حقيقة ذلك الاكتشاف، حيث عثر على مستوطنات وجبانات ملحقة بها تخص شعبا عاش حول بحيرة قديمة في نحو ٢٠٠٠ ق.م.

وهناك الكثير من الحالات الأخرى التي يمكن رصدها،

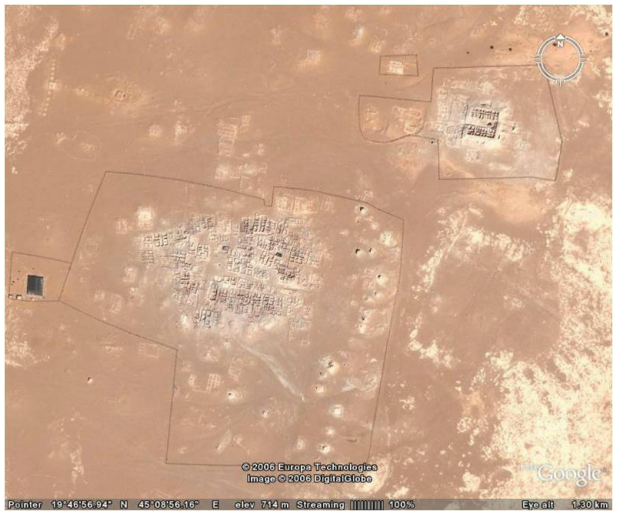
ويبقى حقيقة أن إدخال الاستشعار عن بعد وسيلةً للمسح في علم الآثار، مع أنه لا يزال في مراحله المبكرة، استطاع أن يثبت جدواه وفعاليته. وتكمن الفوائد التي وفرتها صور القمر الصناعي لاندسات في النظرة الشاملة لمساحة واسعة من الأرض، كما سهلت أساليب الحصول على المعلومات من خلال التفسير وذلك بقابلية أجهزة الاستشعار في تسجيل الصور الإشعاعية في حزم طيفية مختلفة لمنطقة الدراسة. غير أنه من الخطأ الاعتقاد أن الاستشعار الفضائي قد جاء بالحل النهائي لكل قضايا المسح الآثاري. فالاستشعار لايزال يعاني من مشكلاته الخاصة (بعيدا عن مجال علم الآثار) والتي تقع خارج إطار هذا المقال. فمثلا يلاحظ أن الصور الاستشعارية الفضائية المتوفرة مجانا على شبكة الإنترنت كصور اللاندسات وجوجل أيرث (أشكال ١٢، ١٣، ١٤) وورلد وند (World Wind) عادة ما تغطي مساحات شاسعة ولا تمتلك درجات وضوح مكانية (resolution) عالية ولذا تعجز عن توضيح المعالم الأثرية، الأمر الذي يتطلب إجراء عملية تكبير متصلة، وحتى هذه قد تخفق أحيانا في إبراز الهدف (Beck 2006). كذلك فإن ارتفاع القمر الصناعي وسرعته ومساره وزاوية التقاط الصور، كلها أمور يمكن أن تؤثر في نوعية المرئية الاستشعارية ومدى الاستفادة الآثارية منها. وللتغلب على هذه العيوب توصل القائمون على غوغل إيرث وأسبوت الفرنسي مؤخرا إلى اتفاقية يتم بموجبها تزويد القمر الصناعي الفرنسي ٥ جوجل أيرث بمرئيات فضائية تغطي مناطق في أوروبا(تشمل فرنسا وبلجيكا ولوكسمبورج وأسبانيا والبرتغال) تصل درجة وضوحها المكاني إلى ٢,٥ أمتار(Spot Image 2007).

الشكل ١٢: صورة فضائية لطبوغرافية موقع الفاو، بجنوب غرب المملكة العربية السعودية.

المصدر: جوجل أيرث.

الشكل ١٣: المقابر الركامية بمنطقة موقع قرية الفاو.

المصدر: جوجل أيرث.



الشكل ١٤: صورة فضائية لموقع قرية الفاو توضح بعض الأجزاء المنقبة

(المنطقة السكنية والسوق والمقابر) وبعض الظواهر التي لم تنقب.

المصدر: جوجل أيرث.

الصور الجوية والمرئيات الفضائية والوضوح المكاني:

وللتغلب على عيوب عدم الوضوح المكاني الكافي في المرئيات الفضائية مثل مرئيات لاندسات وسبوت وكورونا (Fowler 1997; Ur 2003) وآرقون ARGON ولانيارد LANYARD والمرئيات الفضائية الروسية (KFA-3000, Fowler 1996) عمل بعض الآثاريين قبل سنوات قليلة على استخدامها جنبا إلى جنب مع الصور الجوية التقليدية التي تتميز بدرجات وضوح مكانية عالية (Cox 1992).

وظهرت مؤخرا وبأسعار زهيدة مرئيات سفن فضائية تجارية

ذات وضوح عال لمظاهر الأرض مثل كويكبيرد (QuickBird)، وإكونوس (IKONOS) وايروس (EROS) - أ وب.

تتميز الصور المتعددة الأطياف للقمر كويكبيرد بأنها توضح الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها بين ٢,٤ – ٢,٨ أمتار (٨ أقدام). كما أن صوره المأخوذة باللونين الأبيض والأسود تستطيع توضيح الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها ٦٠ سم (http://www.csc..noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/quickbird.htm).

أما صور القمر التجاري إكونوس ذات اللونين الأبيض والأسود فتوضح الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها مترا. وتوضح صوره المتعددة الأطياف الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها ٤ أمتار أو أكثر. (http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/ikonos.htm).

وصورالقمر الصناعي الروسي ايروس- أ توضح الأجسام والمساحات التي يبلغ قياسها ١,٨ أمتار. ولمرئيات ايروس -ب الحديثة درجة وضوح مكاني يبلغ قدرها ٧٠ سنتمترا (http://en.wikipedia.org/wiki/EROS_(satellite)). ومن المتوقع أن يرسل القمر الصناعي ايروس ج في عام ٢٠٠٩م.

ونتيجة لدمج هذه المرئيات المتعددة الأطياف العالية الوضوح مع الصور الجوية (البانكروماتية) ذات اللون الأسود والأبيض أصبح من الممكن رؤية المواقع الأثرية بشيء من التفصيل. فقد أصبح في الإمكان تتبع الطرق والمباني ومساحاتها وتقسيماتها العمرانية ومشاهدة المدافن وأماكن العبادة وغير ذلك من التفاصيل. وقد بدأ الآثاريون في تطبيق هذه البرامج في دراساتهم. ومن أمثلة تلك الدراسات نشير إلى تلك التي قامت بها جامعة ملبورن الأسترالية في عامي ٢٠٠٠ و٢٠٠١م (Pavidis 2006) تحت إشراف كليف فريزر (Clive Fraser) وكلف أوقلبي (Cliff Ogleby). وفي هذه البحوث تم استخدام صور جوية ذات لون أسود وأبيض، وذات وضوح مكاني عال، توضح الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها مترا واحدا أو أكثر، إضافة إلى مرئيات الساتيلايت إكونوس - ٢ العالية الوضوح والملونة وذات الأطياف المتعددة وتوضح الأجسام والمساحات على سطح الأرض التي يبلغ قياسها ٤ أمتار أو أكثر. هدفت هذه البحوث إلى الكشف عن المواقع الأثرية للحضارة المينوية في الجزء الشرقي من جزيرة كريت باليونان وتحديد مواقعها وإعداد الخرائط لمظاهرها الأثرية. وقد غطت مرئية إكونوس الفضائية مساحة ٩ X ١١ كم. وقد شملت منطقة الدراسة مدينة كاتو زاكروس المينوية التي ازدهرت خلال العصر البرونزي في الفترة بين ٣٠٠٠ ق. م و١١٠٠ ق.م تقريبا (Hood 1971). وهذه المدينة تقوم على أرض جبلية وتمتلك منطقة زراعية محصورة بين سلسلتين من التلال الصخرية.

وقد تم اختيار منطقة البحث بناء على الدراسات والتنقيبات الأثرية التي سبق أن أجريت فيها. وتتوفر لذلك الكثير من المعلومات والخرائط للمواقع والمعالم الأثرية للمنطقة، الأمر الذي ساعد في دراستها وتحليلها بواسطة المرئيات الفضائية والصور الجوية معا والتأكد من فعالية هذه المرئيات والصور في البحث الأثري. وقد تم تقسيم العمل إلى خمس مراحل كالآتي:

١. استخدام صور جوية ذات لون أسود وأبيض يصل مدى وضوحها المكاني إلى متر واحد وذلك لتحسن تفاصيل الرؤية البصرية للمرئيات الفضائية المتعددة الأطياف.

٢. تحويل الخرائط الأثرية المينوية إلى هيئة رقمية وإضافة إحداثياتها وإعدادها في شكل طبقات معلومات layers.

٣. إعداد خرائط للظواهر الأثرية المكتشفة. فقد تم ترقيم (digitization) وترميز الظواهر الأثرية المهمة وتحويلها إلى طبقة نقطية (raster layer) مع إضافة رموزها المختلفة كرموز الطرق والقصور والقلاع، ثم وضع هذه الطبقة فوق المرئية الفضائية، وطبع خرائط ورقية لاستخدامها في المسح الآثاري الميداني.

٤. المسح الموقعي الميداني. والغرض منه التأكد على أرض الواقع من طبيعة الظواهر الأثرية. وقد لوحظ أن معظم الظواهر الأثرية التي تمت ملاحظتها بصريا على المرئيات الفضائية قد تم التأكد منها ميدانيا. وقد أظهرت المرئيات الفضائية آثارا لطرق ليست واضحة على أرض الواقع الميداني. واتضح أن السبب في ذلك هو درجة الوضوح المكانية العالية للمرئيات المستخدمة.

٥. التحليل الاستشعاري. فقد تم أولا تحسين المرئية الفضائية للحصول على تباين واضح بها ثم تصنيفها إلى أغطية أرضية مختلفة تبعا للبصمات الطيفية، بحيث تضم كل مجموعة أو صنف مفردات متشابهة في بصماتها الطيفية. وقد استخدم في هذا التصنيف البرنامج الاستشعاري إيرداس.

شملت الدراسة كما أشرنا سابقا البحث في معرفة إمكانية استخدام المرئية الفضائية ذات الوضوح المكاني العالي في البحث الآثاري، وتطوير تقنيات معالجة مرئية الاستشعار عن بعد لتفسير وتحليل مرئية الاستشعار عن بعد ذات الوضوح المكاني العالي.

ومن هذا التطبيق الفاعل في استخدام مرئيات إكونوس - ٢ في البحث الآثاري يتضح أن هناك متطلبين أساسيين هما:

١- وضوح مكاني عال.

٢- مقدرات طيفية متعددة.

وقد أوضح البحث أنه باستخدام صور إكونوس -٢ الفضائية البانكروماتية وذات الوضوح المكاني الذي يبلغ المتر، يمكن اكتشاف الأبنية والمنشآت الأثرية عن طريق الفحص والدراسة البصرية.

الخاتمة:

قدم هذا البحث عرضا موجزا لتطور تقنية الاستشعار عن بعد وتطبيقاتها في علم الآثار. وإذا أخذنا في الحسبان التصوير الجوي التقليدي - أحدَ تقنيات الاستشعار عن بعد - وجدنا أن له خلفية تاريخية في التطبيق في علم الآثار تعود لمطلع

القرن العشرين. أما التقنيات الاستشعارية الفضائية وتطبيقاتها في علم الآثار فهي حديثة النشأة. ويبقى أن استخدام الصور الفضائية وتطبيقاتها في علم الآثار لا يزال في مراحله المبكرة، إلا أنه استطاع مع ذلك أن يثبت جدواه وفعاليته في دراسة التضاريس والتربة والغطاء النباتي والمنظر الطبيعي الأرضي وإعداد الخرائط، ومن هنا فقد أصبح ذا فعالية في المسح الأثري بالكشف عن الأماكن التي يمكن أن تضم مواقع أثرية. ومع وجود بعض العقبات التي تواجه التطبيق بالنسبة للظواهر الأثرية الصغيرة الحجم إلا أن العمل جار لتذليلها بتطوير تقنية الوضوح المكاني لبعض مرئيات السفن الفضائية التجارية مثل كويكبيرد وإكونوس وايروس. كما تم دمج الصور الناتجة عن التصوير الجوي التقليدي والمرئيات الفضائية في بعض الحالات للخروج منهما بوضوح مكاني أفضل. ومن أجل أن هذه التقنيات الاستشعارية صارت جزءا لا يتجزأ من مكونات نظم المعلومات الجغرافية، فمن المتوقع أن يتم التغلب على معظم هذه الإشكالات. ومن ثَم تصبح هذه الوسيلة أحد أنجع الوسائل في عمليات المسح الآثاري الميداني وربما تسجل نقلة في هذا المجال.

المراجع
المراجع العربية

الباز، فاروق، ١٩٩٨م. علم الآثار في عصر الفضاء. **مجلة العلوم**. المجلد ١٤ – العدد ٣: ٤-١١.

العنقري، خالد محمد. ١٩٨٦م. **الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في الدراسات المكانية**، الرياض، دار المريخ للنشر.

الصالح، محمد عبد الله.١٩٩٢م.(أ) **الطرق الأولية لتحليل الصور الجوية والفضائية**. مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود.

.....١٩٩٢م. (ب) **مرئية الاستشعار عن بعد جمع بياناتها وتحليلها**. ، جامعة الملك سعود، الرياض.

دانيال، غلين. ٢٠٠٠ م. **موجز تاريخ علم الآثار** (ترجمة عباس سيد أحمد محمد علي) دار الفيصل الثقافية، الرياض.

طرابزوني، محمد. ١٩٩٣م. علم الاستشعار عن بعد. **العلوم والتقنية**، الاستشعار عن بعد (الجزء الأول) العدد ٢٥: ٤ – ١٢.

عثمان طه، بدر الدين والحسن، أحمد أبو القاسم، ٢٠٠٧م، نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها في علم الآثار وإدارة الموارد التراثية، **أدوماتو** ١٥: ٥٥-٧٠.

عبد الله، عبدالفتاح صديق، ٢٠٠٦، **أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد**،الرياض، الطبعة الثانية، مكتبة الرشد.

عزيز، محمد الخزامي، ١٩٩٨م، **نظم المعلومات الجغرافية – أساسيات وتطبيقات للجغرافيين**، منشأة المعارف، جمهورية مصر العربية، الإسكندرية.

زارنس، يورس، ٢٠٠١م. **أرض اللبان** دراسة ميدانية أثرية في محافظة ظفار بسلطنة عمان. تحرير وترجمة معاوية إبراهيم وعلي التجاني الماحي. منشورات جامعة السلطان قابوس، سلسلة علوم الآثار والتراث الثقافي، المجلد الأول، مطابع النهضة، سلطنة عمان.

أبوريشة، علي وفا عبد الرحمن، ١٩٩٣م، **أسس تقنيات الاستشعار عن بعد**، جامعة الملك سعود، مركز دراسات الصحراء، الرياض.

لطفي المومني، ١٩٩٧م، **الاستشعار عن بعد في الهيدرلوجي** دراسة هيدرولوجية حوض وادي الموجب الرئيسي في الأردن. وزارة الثقافة، عمان، الأردن.

المراجع الأجنبية

Adams, W and P. E. Allen. 1961. The Aerial Survey of Sudanese Nubia. *Kush* IX: pp. 11-14.

Bewley, R., Donaghue, D., Gaffney, V., van Leusen. M., and Wise, A., 1999. *Archiving aerial photography and remote sensing data.* Oxford: Oxbow.

Bewley, R. H, S. P. Crutchey & C. A. Shell. 2005. New Light on an ancient landscape: Lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity* 79: 636-647.

Burnside, C. 1985. *Mapping from Aerial Photographs*. London: Collins.

Burrough, P. A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.* Claredon Press, Oxford.

Clapp, N. 1999. *The Road to Ubar.*
Mariner Books, New York.

Cox C. 1992. Satellite imagery, aerial photography and wetland archaeology. *World Archaeology* 24, pp. 249 – 267.

Curran, P. J. 1985. *Principles of Remote Sensing*. London; Longman.

……. 1995. Remote Sensing.
American Journal of Archaeology 99, pp. 83 – 84.

Daniel, G. 1981. *Short History of Archaeology*. Thames and Hudson. London.

Doneus, M. 1999. Aerial Archive. University of Vienna, 4-Dec-1999,
http://www.univie.ac.at/luftbildarchiv/

Dorrel, P. G. 1989. *Photography in Archaeology and Conservation*. Cambridge University Press, London.

Deuel, L. 1969. *Flights into Yesterday*. London.

Edis, J. D Macleod D and R. Bewley. 1989. An Archaeologist guide to the classification of Cropmarks and Soilmarks. *Antiquity* 63, pp. 112-116.

Fowler, M. 1996. "High-Resolution Satellite Imagery in Archaeological Application- A Russian Satellite Photograph of the Stonehenge Region". *Antiquity* 70, pp. 667-671.
Fowler, M. 1997. "A cold war spy satellite image of Bury Hill, near Andover Hampshire". *HFCAS Newsletter* 27, pp. 5-7.

Hood, S. 1971. T*he Minoans: The Story of Bronze Age Crete*. Praeger Publishers, New York.

Hritz C. & T. J. Wilkinson. 2006. Using Shuttle Radar topography to map ancient water channel in Mesopotamia. *Antiquity* 80, pp. 415-424.

Kennedy, D. L. 1982. The Contribution of Aerial Photography to Archaeology in Jordan: with special reference to the Roman period. *Studies in the Archaeology of Jordan* 1, pp. 29-36. (ed.) Hadidi, A. Department of Antiquities, Amman.

Kennedy, D. L. 1998. Declassified satellite photographs and archaeology in the Middle East: case studies from Turkey. *Antiquity* 72, pp. 553-61.

Kouchoukos, N. 2002. Satellite images and Near Eastern Landscapes, *Near Eastern Archaeology* 64, pp. 80-91.

Kruckman L. 1987. The role of remote sensing in ethnohistorical research. *Journal of Field Archaeology*. 14, pp. 343 – 351.

Kruckman L. 1988. Sources for remote sensing data. *Journal of Field Archaeology* 1, pp. 483.

Lillesand T. M and Kiefer R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. (3rd ed) John Wiley & Sons, New York.

Lipo, C. P. & Terry L. Hunt. 2005. Mapping prehistoric statue roads on Easter Island. *Antiquity* 79, pp. 158-168.

Lo. C. P. 1986. *Applied Remote Sensing*, Longman, Scientific and Technical, Harlow, England.

Martin J. F. Fowler. 1996. High Resolution Satellite Imagery in Archaeological Application; with a photograph of the Stonehenge region. *Antiquity* 70, pp. 667-670.

McCauley, J. F. et al. 1982. "Subsurface valleys and geoarchaeology of the Eastern Sahara revealed by Shuttle Radar". *Science* 218: 1004-1020.

McCauley, J. F. et al. 1986. Paleodrainages of the Eastern Sahara- The radar rivers revisited (SIR-A/B implications for a mid –Tertiary Trans-African drainage system). *IEEE, Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-24, No. 4: 624-648, July 1986.

Miller, W. 1957. Uses of aerial photography in archaeological field work. *American Antiquity* 23, pp. 46-62.

Montufo, A. M. 1997. The use of Satellite Imagery and digital image processing in landscape archaeology: A case study from the Island of Mallorca, Spain. *Geoarchaeology* 12, No. 1, pp. 71-92.

Mumford, G & S. Parcak. 2002. Satellite image analysis and archaeological fieldwork in El-Markha plain (south Sinai). *Antiquity* 76, pp. 353-4.

Pendleton E. B. 1995. Remote Sensing and the Archaeology of the Silk Road. *Current Anthropology*. 36, No. 3, pp. 520.

Philip, G. D. Donoghue, A. Beck & N. Galiatsatos. 2002. CORONA satellite photography: an archaeological application from the Middle East. *Antiquity* 76, pp. 109-18.

Rapp G. and Christopher L. H. 1998. *Geoarchaeology the earth-science approach to archaeological interpretation*. Yale University Press.

Renfrew, C. and Bahn, P. 2000. *Archaeology*. Thames and Hudson. London.

Riley, D. N. 1987. *Air Photography and Archaeology.* London: Duckworth.

Schollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., and Herzog, I., 1990. *Archaeological prospecting and remote sensing*, 1st edn. Cambridge: Cambridge University Press.

Thompson H. O. 1967. A new development in Air Photography. *Antiquity* 41, pp. 225 – 227.

Ur, J. 2003. CORONA Satellite Photography and Ancient Road Networks: A Northern Mesopotamian Case Study. *Antiquity* 77, pp. 102-115.

Vita-Finzi C. and Higgs, E. 1970. "Prehistoric Economy in the Mount Carmel area of Palestine: site catchment analysis". *Proceedings of the Prehistoric Society* 36, pp. 1-37.

Wheatley, D. and Mark Grillings. 2002. *Spatial technology and archaeology. The archaeological applications of GIS*. Taylor & Francis.

Wilson, D. R. 2000. *Air Photo Interpretation for Archaeologists*. Stroud: Tempus.

مراجع الإنترنت

Beck, A. 2006.Google Earth and World Wind: remote sensing for the masses? Accessed 5/11/2006.
http://antiquity.ac.uk/ProjGall/beck/index.html

Pavlidis, L. 2005. High Resolution Satellite Imagery for Archaeological Application. Accessed 20/12/2006.
http://www.mariamagic.com/Science-technology/High-Resolution-satellite-Images-for Archaeology.pdf

Sherratt, A. 2004. Spotting tells from space. Antiquity 78:
http://www.antiquity.ac.uk/projgall/sherratt/.

Canada Centre for Remote Sensing, internet, accessed 14th January 2006:
http://www.ccrs.nrcan/gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter1/01_php

Anthony Beck: Google Earth and World Wind: remote sensing for the masses? Accessed 2nd January 2006
http://antiquity.ac.uk/ProjGall/beck/index.html

Remote Sensing for Coastal Management – Quickbird. Accessed 20/12/2006.
http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/quickbird.htm

Remote Sensing for Coastal Management – IKONOS. Accessed 20/12/2006.
http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/ikonos.html

EROS (satellite). Wikipedia, the free encyclopedia. Accessed 16/12/2006.
http://en.wikipedia.org/wiki/EROS_(satellite)

Remote sensing. Wikipedia, the free encyclopedia. Accessed 16/12/2006.
http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing

NASA 2006. Earth observatory. Remote Sensing. Accessed 20/12/2006.
http://earthobservatory.nasa.gov/Library

NASA 2007. University Scientists Uncover Lost Maya Ruins – From Space. Accessed 29/1/2007.
http://www.nasa.gov/vision/earth/lookinggatearth/mayan_ruins_prt.htm

UNESCO. Remote Sensing and GIS in Support of World Heritage Conservation. Accessed 15/10/2006.
http://telsat.belspo.be/whp/remotesensing.html

Archatlas: Site Map. Accessed 20/12/2006.
http://www.archatlas.dept.shef.ac.uk/projects/sitemap.php

SIR-C/X-SAR image Ubar Optical/Radar. Accessed 10/1/2007

http://www.jpl.nasa.gov/radar/sircxsar//ubar1.html

NASA Observatorium Education-Ubar. Accessed 10/1/2006.
http://www.Observe.arc.nasa.gov/nasa/exhibits/ubar_3html

Wikipedia, the free encyclopedia. Image : Diagramm bewchs.jpg. Accessed 2/2/2007.
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Diagram_bewuchs.jpg

Spot Image. Accessed 6th March 2007.
http://www.spot.com/html/SICORP/_401_473_486_1273_.php