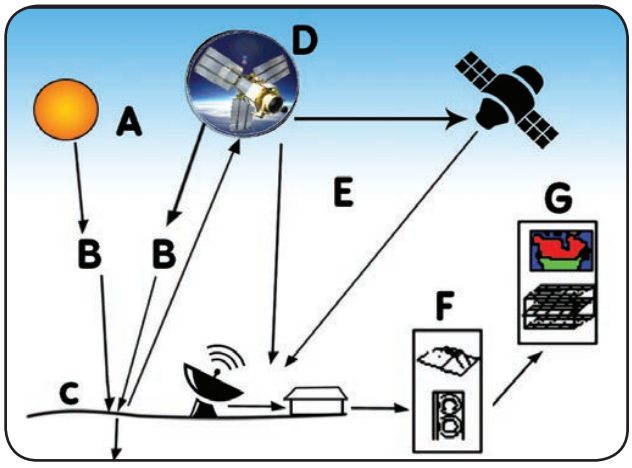
الفصل الثاني

الأقمار الصناعية والمستشعرات

٢ـ١ المستشعرات

في الفصل الأول تم تناول بعض المفاهيم الأساسية، الضرورية لفهم عملية الاستشعار عن بعد، وتعرضنا بالتفصيل للعناصر الثلاثة الأساسية (مصدر الطاقة- تفاعل الطاقة مع الغلاف الجوي- تفاعل الطاقة مع الهدف)....كما تم التعرض لرابع عنصر، وهو تسجيل الطاقة بواسطة المستشعر (جهاز الاستشعار) من خلال تناول أسلوب عمل المستشعرات الإيجابية والسلبية، وكذا خصائص الصور.



في هذا الفصل سوف نتناول مكونات عملية الاستشعار عن بعد من خلال الدراسة التفصيلية لخصائص منصات الحمل.. والمستشعرات (أجهزة الاستشعار عن بعد).. وكذا البيانات التي تقوم بجمعها مع التعرض بإيجاز لكيفية معالجة تلك البيانات، بعد أن يقوم المستشعر بتسجيلها.

كي يتمكن المستشعر (جهاز الاستشعار) من تجميع وتسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الهدف يجب أن يكون مجهزاً على منصة ثابتة تبعد عن الهدف (السطح المطلوب مراقبته).. قد تكون تلك المنصة تجهيزه أرضية.. أو طائرة .. أو منطاد (أي منصة داخل الغلاف الجوي) ...أو مركبة فضائية/ قمر صناعي للاستشعار من خارج الغلاف الجوي (outside of the Earth's atmosphere).

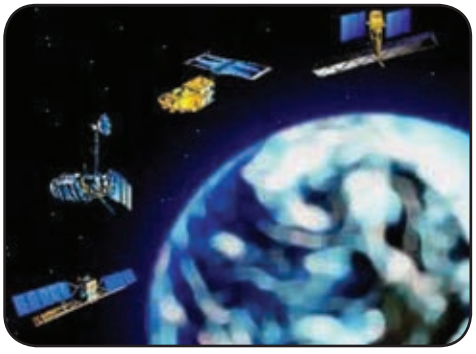
مستشعرات أرضية :

عـادة يـتم تجهيزها على أبراج أو مبان عالية ، و تسـتخدم لجمع معلومات تفصيلية عن الهدف لتتـم مقارنتها بالمعلومات التي يتم الحصول عليها بواسـطة أجهزة الاستشـعار الجوية أو الفضائية، في بعض الحالات ، يتم اسـتخدامها لوصف الأهداف التي تم تصويرها بواسطة أجهزة استشعار أخرى، و ذلك لاستنتاج معلومات أكثر دقة من الصور الملتقطة .

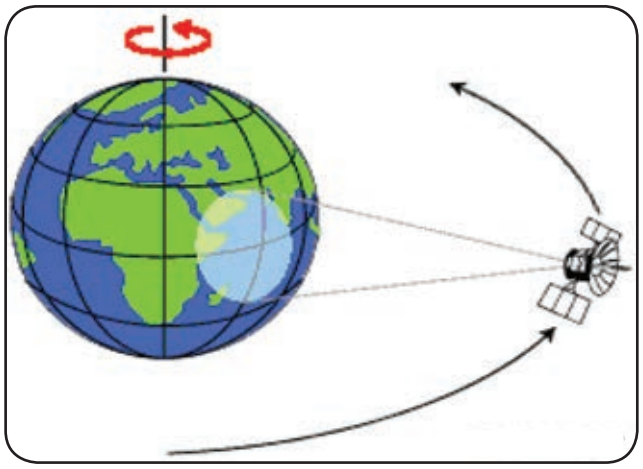
مستشـعرات محمولـة جواً: يـتم تجهيزها على طائـرات ذات أجنحـة / طائرات مروحيـة /طائرات موجهة بدون طيار لجمع تفاصيل دقيقة ، و تسهيل مهمة جمع البيانات عن أي منطقة على سطح الأرض في أي وقت .

مستشعرات محمولة على مركبات فضائية / أقمار صناعية:

وتسـتخدم لتنفيـذ عمليـة الاستشـعار مـن خـارج الغـلاف الجـوى (outside of the Earth atmosphere) ، وتعتـبر الأقمـار الصناعيـة الأكثـر شـيوعاً في هذا المجـال .. ويمكن تعريف الأقمار الصناعية بأنها أجسـام تدور حول أجسام أخرى، و في حالتنا فإنها تدور حول الأرض،حيث يتم إطلاقها لأغراض مختلفة ، مثل الاستشعار عن بعد، و الاتصالات، و تحديد المواقع و الملاحة . وتدور الأقمـار الصناعيـة في مـدارات حـول الأرض ، و بالتالي فهي تسـمح بوجود تغطية مستمرة لسطح الأرض.



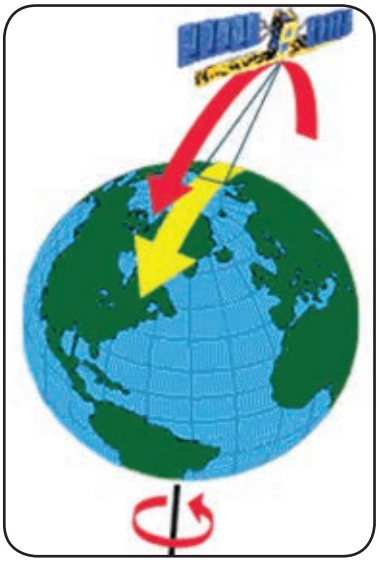
٢-٢ خصائص الأقمار الصناعية.. مداراتها ونطاق تغطيتها:



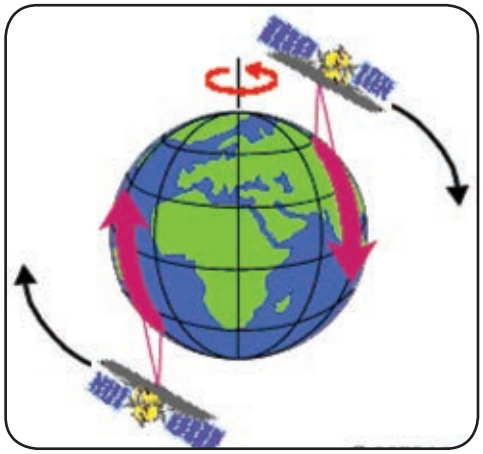
المدارات : هى المسارات التي تدور فيها الأقمار حول الأرض، ويتم تصميم مدارات الأقمار بما يتناسب وقدرات المستشعرات المجهزة بها والغرض منها.. وتختلف المدارات من حيث ارتفاعاتها عن سطح الأرض (altitude) وتوجيهها ودورانها بالنسبة للأرض .

المدرات الجغرافية الثابتة (GEO) :

مدارات على ارتفاع عالياً جداً (تقريباً ٣٦٠٠٠ كم عن سطح الأرض) «والأقمار الموجودة» بتلك المدارات تدور بسرعة تساوي تقريباً سرعة «دوران الأرض»، و بالتالي تبدو كأنها ثابتة بالنسبة لسطح الأرض، بمايتيح لها أن تراقب مناطق معينة بشكل مستمر....وتعمل أقمار الطقس و الاتصالات عادة بتلك المدارات . ونظراً لارتفاعاتها العالية، فإن بعض أقمار الطقس تتمكن من ملاحظة التغيرات في السحب والغيوم لنصف الكرة الأرضية كاملاً .

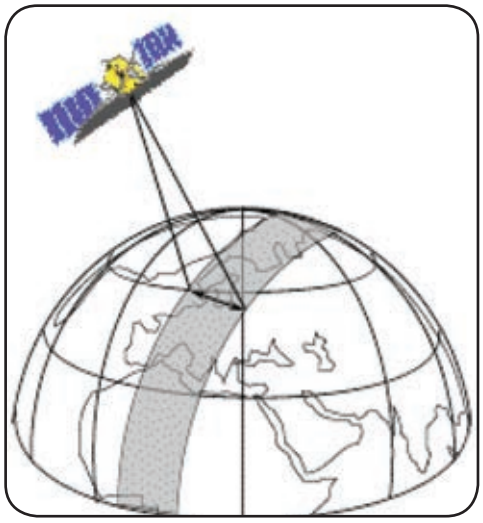


معظم الأقمار المجهزة للاستشعار عن بعد يتم تصميمها لتتخذ مدارات من الشمال للجنوب (north - south) بالتزامن مع اتجاه دوران الأرض من الغرب إلى الشرق (west - east)، مما يسمح لها بتغطية معظم سطح الأرض خلال فترة زمنية محددة، **وهذه المدارات تعرف بالمدارات القطبية** (near polar orbits)، وقد سميت بذلك نظراً لميل المدار بالنسبة للخط الواصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي، والعديد من تلك المدارات متزامنة مع الشمس، أي أنها تغطي أي منطقة من العالم في فترة النهار (الخاصة بتلك المنطقة، فيما يعرف باسم توقيت الشمس المحلي، ويكون وضع الشمس في السماء عند مرور القمر الصناعي ، ثابتاً بالنسبة لذلك الفصل من السنة ، و ذلك عند أي ارتفاع محدد ، مما يضمن ظروف إضاءة ثابتة ، عند التقاط الصورفي فصل معين على مدار سنوات متتالية ، أو عند مراقبة منطقة معينة لعدة أيام، ويعتبر ذلك عاملاً مهماً عند



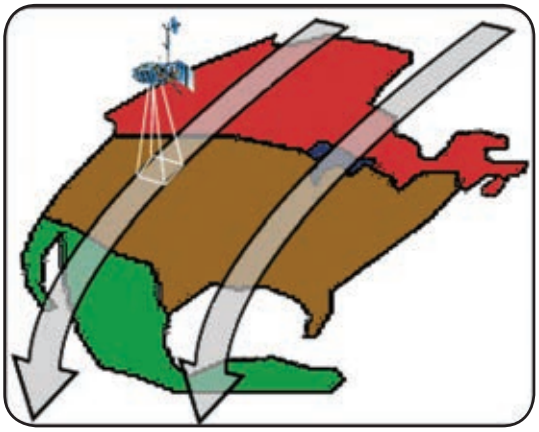
المقارنة بين الصور لرصد التغيرات ، أو عند تجميع عدة صور لمناطق متجاورة لتكوين صورة واحدة أكبر ، ففي تلك الحالة لن نحتاج لتصحيح ظروف الإضاءة للصورة .

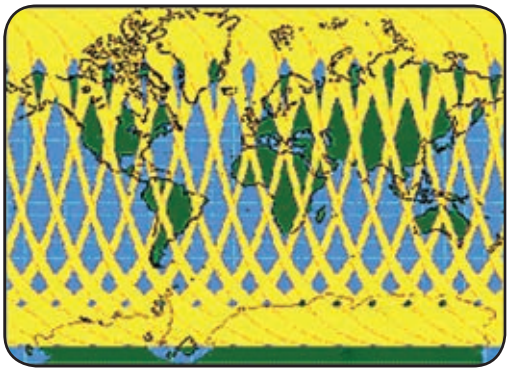
معظم الأقمار الصناعية حالياً توجد في المدارات القطبية، مما يعني أن القمر الصناعي يتحرك شمالاً بطول جانب واحد من الأرض، ويطلق على هذا التحرك «المسار الصاعد» (ascending pass)، ثم يتحرك باتجاه الجنوب في النصف الثاني من مداره فيما يعرف «بالمسار الهابط» (descending pass) . وإذا كان المدار أيضاً متزامناً مع الشمس ، فإن المرور الصاعد يكون في الغالب في النصف المظلم من الأرض، و المرور النازل في الجزء المضاء من الأرض ، المستشعرات التي تعتمد على ضوء الشمس المنعكس من الأرض (مستشعرات سلبية) ، تقوم بتصوير سطح الأرض في أثناء مرورها نزولاً فقط، عندما تكون الإضاءة الشمسية متوافرة...أما المستشعرات الإيجابية، التي تقوم ببث إشعاع أو المستشعرات السلبية التي تسجل الإشعاع (الحراري) المنبعث من سطح الأرض، وتستطيع التصوير أثناء مرورها صعوداً.



عند دوران القمر الصناعي حول الأرض، فإن جهاز الاستشعار يرى جزء محدد من سطح الأرض و هو الجزء المراد تصويره، و نعبر عنه بمصطلح «الرقعة/الشريحة» (Swath) ويتراوح اتساع الشريحة بين عشرات ومئات الكيلومترات .

وبما أن "القمر" يتحرك فى مدار من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، و بما أن "الأرض" تدور من الغرب إلى الشرق ، فإن القمر يظهر و كأنه تحدث له إزاحة باتجاه الغرب عند مشاهدته من سطح الأرض، وهذه الحركة تسمح للقمر بتغطية مساحة جديدة مع كل مرور له، فمدار القمر وحركة الأرض معاً، يسمحان للقمر بتغطية سطح الأرض بالكامل، بعدما يكمل دورة مدارية كاملة .





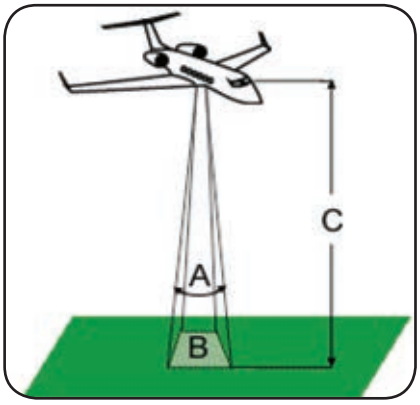
ويمكن توضيح مفهوم الدورة المدارية للقمر باختيار أي مسار في مدار القمر، وتحديد نقطة على سطح الأرض كبداية فإن القمر يكمل دورته المدارية عندما يعيد مساره ماراً بنفس النقطة المحددة ـ على سطح الأرض، بحيث تكون تحت القمر مباشرة في اتجاه عمودي منه إلى سطح الأرض، و تسمى تلك النقطة (Nadir point) . و يجب ملاحظة أن الفترة التي يستغرقها القمر ليكمل دورة مدارية، قد تختلف عن «زمن إعادة الزيارة» (Revisit Period)، فعند استخدام أجهزة استشعار قابلة للتوجيه، يستطيع القمر أن يرى مساحة من الأرض قبل و بعد المرور بالهدف، و بالتالي يكون زمن إعادة الزيارة أصغر من الفترة المدارية للقمر .

زمن إعادة الزيارة يعتبر عنصراً هاماً لعدة تطبيقات ، خاصة عندما يتطلب الأمر تصوير منطقة عدة مرات، مثل مراقبة انتشار بقعة بترول، أو متابعة انتشار فيضان .

في المدارات القطبية، المناطق التي تقع على ارتفاعات أكبر يتم تصويرها بشكل أكبر من المناطق الاستوائية، و ذلك نتيجة تقاطع الشرائح المتجاورة التي يتم تصويرها، حيث إن المدارات تقترب من بعضها عند الأقطاب .

٢ـ٣ الدقة المكانية، وحجم البكسل ، والمقياس:

في بعض أجهزة الاستشعار ، تلعب المسافة بين الهدف المراد تصويره ومنصة الاستشعار دوراً هاماً في تحديد التفاصيل التي يمكن الحصول عليها ، و كذلك المساحة الكلية التي يمكن تصويرها، المستشعرات التي تكون على مسافة كبيرة من الأرض ، تستطيع أن ترصد مساحة كبيرة من الأرض، و لكنها بتفاصيل أقل ، قارن بين ما يستطيع رائد الفضاء رؤيته من على متن مركبته الفضائية، بما تستطيع أنت رؤيته من على متن طائرة ستجد أن «رائد الفضاء» قد يرى دولة بأكملها بنظرة واحدة، و لكنه لا يستطيع تمييز المنازل مثلاً، و لكن إذا سافرت على متن طائرة ، فإنك تستطيع تمييز المباني و السيارات، و لكن المساحة التي تستطيع رؤيتها ستكون أقل بكثير ، وهذا هو الفرق بين صور الأقمار الصناعية و التصوير الجوي .



التفاصيل التي يمكن تمييزها في صورة ما تعتمد على ما يسمى بالدقة المكانية (Spatial Resolution)، وتشير إلى حجم أصغر عنصر يمكن تمييزه في الصورة، الدقة المكانية للمستشعرات السلبية تعتمد على مجال الرؤية عند لحظة معينة، و تسمى مجال الرؤية اللحظي (Instantaneous Field Of View - IFOV)، و يعبر عنه المخروط الذي يمثل مجال رؤية المستشعر (A) و يحدد المساحة على سطح الأرض (B) التي يمكن رؤيتها من ارتفاع معين في تلك اللحظة. يتم حساب مساحة تلك المنطقة على سطح الأرض عن طريق المعادلة : IFOV * C حيث C تمثل المسافة من الأرض لجهاز الاستشعار ، و IFOV هو مجال الرؤية اللحظي.

تسمى هذه المساحة «بوحدة الدقة» (Resolution Cell)، و تحدد أقصى دقة مكانية للمستشعر، و لذلك يجب أن يكون حجم الهدف المراد تصويره مساوياً لحجم وحدة الدقة أو أكبر منه . أما إذا كان حجمه أصغر من وحدة الدقة ، فقد يكون من الصعب تمييزه .

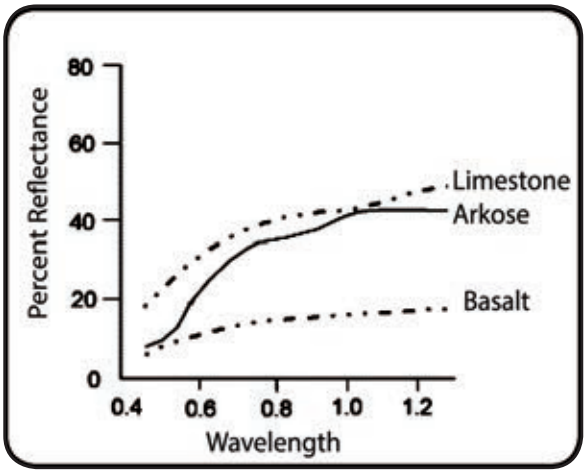
كما ذكرنا في الفصل الأول، فإن معظم صور الاستشعار عن بعد تتكون من مصفوفة من عناصر الصورة أو "البكسل" ، و هي أصغر وحدة تتكون منها الصورة . و تكون البكسل على شكل مربع و تمثل مساحة معينة من الصورة، و يجب ملاحظة أن مصطلح حجم البكسل (Pixel Size) يختلف عن مصطلح الدقة المكانية (Spatial resolution). فعلى سبيل المثال، إذا كانت الدقة المكانية لمستشعر ما هي ٢٠ متراً ، و تم عرض الصورة الملتقطة بواسطته بدقتها الكاملة، فسوف تكون كل بكسل في الصورة تعبر عن مساحة ٢٠م ×٢٠م على الأرض، وبالتالي في هذه الحالة فإن حجم البكسل و الدقة المكانية يمثلان نفس القيمة، أما في حالات أخرى، فيمكن أن يتم عرض الصورة بحجم بكسل مختلف عن الدقة .

الصور التي لا نستطيع منها أن نميز سوى الأهداف الكبيرة، يقال إنها صور رديئة أو ذات دقة منخفضة (low resolution)، أما الصور التي تمكننا من تمييز تفاصيل صغيرة فيقال إنها صور جيدة أو ذات دقة عالية (high resolution). فعلى سبيل المثال، أجهزة الاستشعار المستخدمة في أغراض عسكرية يتم تصميمها بحيث تعرض أكبر قدر ممكن من التفاصيل ، و بالتالي فإنها ذات دقة عالية جداً (تصل إلى عشرات السنتيمترات) . أما "الأقمار الصناعية التجارية" ، فإن لها دقة تتراوح بين عدة أمتار (حالياً تصل إلى "١" متر) إلى عدة كيلومترات ، و بشكل عام ، كلما زادت الدقة قلت مساحة الأرض التي يمكن رؤيتها .

أما النسبة بين المسافات في الصورة أو الخريطة والمسافات الحقيقية على الأرض ، تسمى بمقياس الرسم أو مقياس الصورة، فإذا كانت هناك خريطة مرسومة بمقياس ١:١٠٠,٠٠٠ فذلك يعني أن أي عنصر في الخريطة طوله ١سم يكون طوله الحقيقي على الأرض ١٠٠٠٠٠ سم أي ١ كم. الصور و الخرائط ذات النسب الصغيرة بين الأرض و الخريطة، يقال إن لها مقياساً صغيراً (مثل ١:١٠٠٠٠٠) ، و تلك التي لها نسب كبيرة يكون لها مقياس كبير (مثل: ١:٥٠٠٠).

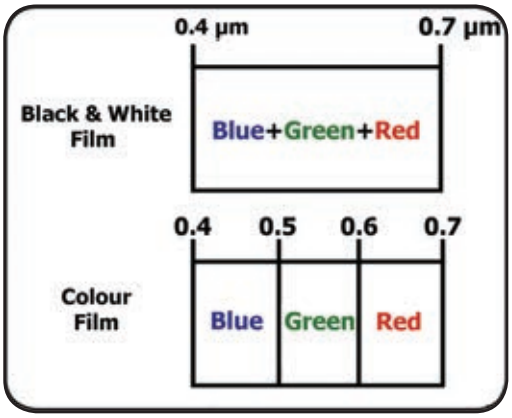
٢ـ ٤ الدقة الطيفية (Spectral Resolution):

في الفصل الأول ، تكلمنا عن الاستجابة الطيفية ، و الانبعاث الطيفي لخصائص سطح الأرض و الأهداف المطلوبة، كما ذكرنا أن العديد من التفاصيل و الخصائص في الصورة يمكن تمييزها عن طريق مقارنة استجابته عند استخدام أطوال موجية مختلفة .



هناك بعض الفئات التي يمكن تمييزها بسهولة حتى عند استخدام نطاق واسع من الأطوال الموجية ، مثل المسطحات المائية و الغطاء النباتي ـ يمكن تمييزها، باستخدام الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة ـ كما ذكرنا سابقاً.

بعض الفئات الأدق، مثل أنواع الصخور المختلفة، قد لا نتمكن من تمييزها بسهولة باستخدام نفس النطاقات الواسعة من الأطوال الموجية، و لكنها تحتاج إلى استخدام نطاق أدق من الأطوال الموجية للتمييز بينها، لذلك نكون بحاجة إلى استخدام جهاز استشعار ذي دقة طيفية (SpectralResolution) أعلى. الدقة الطيفية تعبر عن قدرة جهاز الاستشعار على استخدام نطاقات أطوال موجية دقيقة. فكلما زادت الدقة الطيفية للمستشعر، كلما كان نطاق الأطوال الموجية أدق (أقل) .



أفلام التصوير غير الملونة، تسجل الأطوال الموجية على مدى نطاق الضوء المرئي بالكامل . الدقة الطيفية لتلك الصور منخفضة، نظراً لأن الأطوال الموجية المستخدمة لا يتم تمييزها عن بعضها، ولكن يتم تسجيل الانعكاس الكلي للضوء المرئي، أما الأفلام الملونة، فهي أيضاً تسجل الطاقة المنعكسة في نطاق الضوء المرئي ، و لكنها تتميز بأن لها دقة طيفية أعلى، حيث إنها تسجل الطاقة الخاصة بالأطوال الموجية للألوان الأساسية كل على حدة، و بالتالي يمكنها تمثيل الألوان المختلفة .

معظم أجهزة الاستشعار عن بعد، لها القدرة على تسجيل الطاقة الخاصة بنطاقات مختلفة من الأطوال الموجية ، و تسمى أجهزة استشعار «متعددة الأطياف»، و سوف نتكلم عنها لاحقاً. هناك جيل أحدث من أجهزة الاستشعار تسمى أجهزة الاستشعار الطيفية الفائقة (ـ hype spectral) ، و هي تستطيع تسجيل مئات النطاقات الطيفية الضيقة ، على مدى الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة تحت الحمراء المتوسطة، نتيجة الدقة الطيفية العالية لتلك المستشعرات، فإنها تستطيع التمييز بين العديد من الأهداف المختلفة، بناءً على استجابتها الطيفية.

٥.٢ دقة القياسات الإشعاعية:

إذا كان ترتيب عناصر الصورة «البكسل» يعبر عن الدقة المكانية للصورة (Spatial Resolution) ، فإن دقة القياسات الإشعاعية (Radiometric Resolution) تعبر عن المحتوى الحقيقي للصورة، فحساسية المستشعر تجاه الطاقة الكهرومغناطيسية تحدد تلك الدقة . دقة القياسات الإشعاعية لجهاز التصوير تعبر عن قدرته على تمييز الاختلافات البسيطة في الطاقة. كلما زادت دقة القياسات الإشعاعية، زادت قدرة الجهاز على تحديد الاختلافات البسيطة في الطاقة المنعكسة أو المنبعثة .

البيانات الموجودة بالصور، يتم التعبير عنها بالتمثيل الرقمي، و ذلك بواسطة أرقام موجبة من ٠ إلى (٢ن-١)، حيث ن هو أي رقم موجب .

هذا المدى من الأرقام يقابل عدد الوحدات (bits) المستخدمة لتمثيل الأعداد بالنظام الثنائي (Binary System) .

فكل «بت» تستخدم للتعبير عن عدد من الأرقام، يتم حسابه بواسطة هذه المعادلة : إذا استخدمنا ١ بت فإننا يمكننا تمثيل عدد من الأرقام يساوي = ٢^١=٢، إذا يمكننا التعبير عن رقمين باستخدام بت واحدة .

أقصى عدد من مستويات السطوع المتاحة تعتمد على عدد الوحدات (bits) المستخدمة لتسجيل الطاقة .

فإذا استخدم المستشعر "٨ بت" لتسجيل البيانات ، فسوف يكون هناك ٢^٨ =٢٥٦ قيمة رقمية متاحة، تتراوح بين صفر و ٢٥٥ .

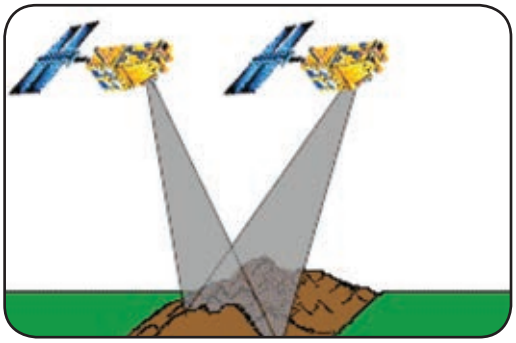
ولكن إذا استخدم "٤ بت" فقط ، فبالتالي القيم المتاحة سوف تكون ٢^٤=١٦ قيمة رقمية، وبالتالي تقل دقة القياسات الإشعاعية بدرجة كبيرة .

بيانات الصورة يتم تمثيلها بتدرجات مختلفة من اللون «الرمادي» ، و يعبر عن اللون الأسود بالرقم "٠" و اللون الأبيض يمثل بأكبر قيمة رقمية متاحة (وهي ٢٥٥ في حالة استخدام ٨ بت لتسجيل الطاقة). عند مقارنة صورة تستخدم ٢ بت بصورة تستخدم ٨ بت لتسجيل الطاقة، نجد اختلافاً كبيراً في كمية التفاصيل التي يمكن تمييزها، و ذلك نظراً لاختلاف دقة القياسات الإشعاعية .

٢ـ٦ الدقة الزمنية :

تعرضنا سابقاً لتلك النقطة عندما ذكرنا مصطلح «زمن إعادة الزيارة» (Revisit Period)، و الذي يعبر عن طول المدة الزمنية التي يستغرقها «القمر» لإكمال دورة مدارية واحدة، و عادة ما تكون تلك المدة عدة أيام. و بالتالي فإن الدقة الزمنية لنظام الاستشعار عن بعد لتصوير نفس المنطقة بنفس زاوية التصوير مرة أخرى تساوي تلك المدة. و لكن نتيجة تداخل الشرائح ـ التي يتم رصدها ـ للمدارات المتجاورة، وزيادة مساحة التداخل بازدياد الارتفاع، فإن بعض المناطق يتم تصويرها أكثر من غيرها. كذلك توجد بعض الأقمار الصناعية التي يمكنها توجيه أجهزة الاستشعار الخاصة بها، لتصوير نفس المنطقة بين دورتين مختلفتين للقمر، بفاصل زمني يساوي يوماً إلى خمسة أيام .

وبالتالي، فإن الدقة الزمنية لجهاز الاستشعار تعتمد على عدة عوامل، منها: قدرات القمر الصناعي أو المستشعر، و التداخل بين الشرائح التي يتم تصويرها، و الارتفاع .

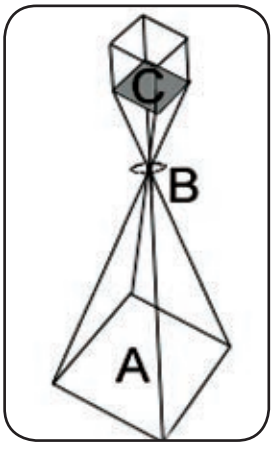


القدرة على تصوير نفس المنطقة من سطح الأرض على فترات زمنية مختلفة، تعتبر من أهم عوامل الاستشعار عن بعد. حيث إن الصفات الطيفية لخصائص سطح الأرض قد تتغير بمرور الوقت، و يمكن رصد تلك التغيرات عن طريق التقاط صور في فترات زمنية مختلفة و مقارنتها ببعضها، فعلى سبيل المثال: في فترة «نمو النباتات»، تكون معظم أنواع النباتات في حالة تغير مستمر، و قدرتنا على رصد تلك التغيرات الطفيفة، باستخدام الاستشعار عن بعد، تعتمد على التوقيت الذي يمكننا التقاط الصور فيه.

عن طريق التصوير المستمر لسطح الأرض في أوقات مختلفة، نستطيع مراقبة التغيرات التي تحدث به، سواء كانت تغيرات طبيعية (مثل الغطاء النباتي و الفيضانات)، أو بفعل البشر (مثل الزحف العمراني أو إزالة الغابات).

وتظهر أهمية عامل الزمن في التصوير عند :

- وجود غيوم بصفة مستمرة مما يحد من رؤية سطح الأرض (عادة ما يحدث ذلك في المناطق الاستوائية).
- الظواهر قصيرة الأجل مثل: الفيضانات و البقع النفطية.
- الحاجة لمقارنة صور بتوقيتات مختلفة، مثل مراقبة انتشار أمراض الغابات من عام لآخر.
- يمكن استخدام تغير شكل أحد العناصر للتمييز بينه، و بين آخر قريب الشبه منه (مثل القمح و الذرة).



٢ـ٧ آلات التصوير والتصوير الجوي:

يعتبر استخدام آلات التصوير (Cameras) في مجال الاستشعار عن بعد من أبسط و أقدم الوسائل في هذا المجال. تحتاج آلات التصوير لأن تكون قريبة من سطح الأرض حتى تتمكن من تصويره، و هي أنظمة سلبية (لا تمتلك مصدر إشعاع خاص بها)، تستخدم عدسة للتصوير (أو مجموعة عدسات تسمى بالبصريات "Optics")، و تتكون الصورة بواسطة العدسة على المستوى البؤري (focal plane).

الأفلام الفوتوغرافية حساسة للضوء من الطول الموجي (٠,٣ ـ ٠,٩) ميكرومتر، أي تغطي الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة.

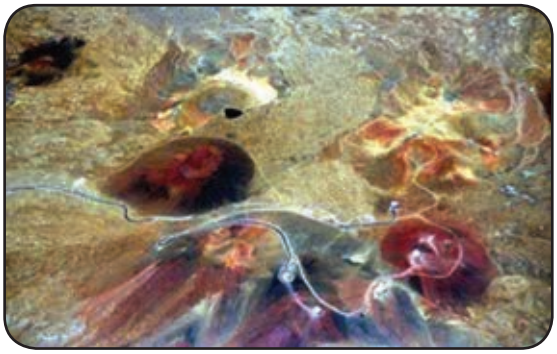
أما الأفلام «البانوكروماتية» فهي حساسة للضوء المرئي و الأشعة فوق البنفسجية ، و تنتج تلك الأفلام صوراً غير ملونة (بتدرجات اللون الرمادي)، و هي أكثر أنواع الأفلام شيوعاً في التصوير الجوي .

كذلك فإن التصوير بالأشعة فوق البنفسجية يستخدم نفس نوع الأفلام، ولكن مع وجود مُرشح (filter) لامتصاص ومنع الضوء المرئي من الوصول للفيلم، وبالتالي يتم تسجيل الأشعة فوق البنفسجية المنعكسة عن الأهداف فقط. التصوير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية هو نوع غير شائع ، و ذلك نظراً لظاهرتي الامتصاص و التشتت اللتين تحدثان في الغلاف الجوي لذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي . التصوير غير الملون باستخدام الأشعة تحت الحمراء يستخدم فيلم حساس للأطوال الموجية من (٠,٣ – ٠,٩) ميكرمتر و تفيد في تسجيل الاختلافات في الغطاء النباتي، نظراً لحساسيتها للأشعة تحت الحمراء المنعكسة .

في التصوير الملون سواء كان عادياً أو بالأشعة تحت الحمراء ، وهو ما يطلق عليه التصوير «الملون الزائف»، (Color Infrared, CIR)، يتم استخدام فيلم من ثلاث طبقات ، كل منها تكون حساسة لنطاق مختلف من الضوء .

فعند استخدام التصوير الملون العادي، تكون الطبقات الثلاثة للألوان حساسة للون الأزرق والأخضر والأحمر، تماماً مثل حساسية أعيننا للضوء، و بالتالي تظهر لنا تلك الصور بنفس الشكل الذي ترى به أعيننا البيئة المحيطة بنا (تظهر الأشجار باللون الأخضر و هكذا...) .

أما في التصوير الملون بالأشعة تحت الحمراء (CIR)، تكون الطبقات الثلاث حساسة للونين الأخضر و الأحمر و الجزء الفوتوغرافي من نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة، والتى تتم معالجتها لتظهر بالألوان الأزرق، الأخضر، والأحمر على الترتيب، بالتالي تظهر الأهداف التي تعكس الأشعة تحت الحمراء القريبة بلون أحمر في الصور، و تظهر الأهداف التي تعكس الضوء الأحمر بلون أخضر في الصور، أما التي تعكس الضوء الأخضر فتظهر باللون الأزرق، مما يعطينا تمثيلاً زائفاً لألوان الأهداف بالنسبة للألوان الطبيعية لها، و التي تألفها أعيننا، و لذلك يسمى ذلك التصوير بالتصوير اللوني الزائف.



يمكن استخدام آلات التصوير مع منصات مختلفة من ضمنها المنصات الأرضية ، الطائرات المروحية، الطائرات المجنحة ،و الطائرات الموجهة بدون طيار، والمركبات الفضائية .

الصور الفوتوغرافية الملتقطة بواسطة الطائرات تحتوي على العديد من التفاصيل ، و تستخدم في التطبيقات التي تكون بحاجة إلى تفاصيل دقيقة ، أو صور لأهداف صغيرة. تتوقف مساحة الأرض التي تغطيها الصورة على عدة عوامل، منها البعد البؤري للعدسة، و ارتفاع الطائرة أثناء التصوير عن الأرض، و تصميم و حجم فيلم التصوير المستخدم .

«البعد البؤري للعدسة» هو الذي يحدد مجال الرؤية لآلة التصوير، و البعد البؤري الأكثر استخداماً هو ١٥٢ ملليمتراً و كذلك ٩٠ مم و ٢١٠مم، كلما زاد البعد البؤري للعدسة قلت المساحة التي يمكن تغطيتها من الأرض، و لكن تزداد التفاصيل التي يمكن رصدها .

كذلك تعتمد تلك المساحة على ارتفاع الطائرة المجهزة بآلة التصوير، فبازدياد الارتفاع تزداد مساحة الأرض التي يمكن رؤيتها، ولكن تقل التفاصيل في الصورة. تستطيع الصور الجوية أن ترصد تفاصيل دقيقة حتى أقل من ٥٠ سم ، و تتغير الدقة المكانية للصورة (Spatial Resolution) تبعاً لعدة عوامل تتغير عند كل مرة يتم التقاط الصور فيها .

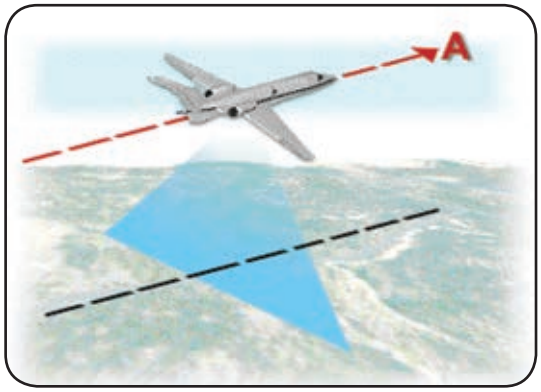
تصنف معظم الصور الجوية لقسمين : «مائلة و رأسية»، و ذلك تبعاً لوضع آلة التصوير بالنسبة للأرض أثناء التصوير .

الصور الجوية «المائلة» (Oblique aerial photographs) : هي الصور التي تلتقط عندما يكون محور آلة التصوير مائلاً، و تنقسم الصور المائلة إلى صور شديدة الميل (عادة يظهر بها خط الأفق) ، و صور قليلة الميل (لا يظهر بها خط الأفق) .

هذا النوع من التصوير يستطيع تغطية مساحات كبيرة في صورة واحدة ، كذلك يستخدم لتصوير تضاريس الأرض، و بالرغم من ذلك فهي لا تستخدم على نطاق واسع في رسم الخرائط، وذلك نظراً لاختلاف المقياس في أول الصورة عن آخرها مما يعوق قياس المسافات و المساحات والمساقط ، كما يظهر في الصورة التالية .

الصور الجوية الرأسية (Vertical aerial photographs): هي التي يتم التقاطها عندما يكون محور التصوير عموديا، وهي أكثر أنواع التصوير الجوي استخداما في أغراض الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط، و يستخدم في هذا النوع آلات تصوير تم تصميمها خصيصاً لالتقاط مجموعة متتابعة من الصور بسرعة مع تقليل الأخطاء (التشوهات) الجغرافية، وغالباً ما يتم ربطها بأنظمة الملاحة على متن الطائرة ، و ذلك حتى ترفق الإحداثيات الجغرافية الصحيحة بكل صورة يتم التقاطها، و معظم آلات التصوير الحالية بها آليات لتقليل ، أو إلغاء تأثير حركة الطائرة بالنسبة للأرض، وذلك لتلافي حدوث الأخطاء قدر الإمكان .

عند التقاط صور رأسية ، فإن الطائرة تطير في مجموعة من الخطوط المتتابعة، كل منها يسمى خط الطيران، يتم التقاط الصور بالتتابع وبشكل سريع لسطح الأرض تحت الطائرة، و عادة ما



تكون نسبة التداخل بين الصور المتتابعة حوالي ٥٠ ـ ٦٠ ٪، ذلك التداخل بين الصور يضمن أن يتم تصوير سطح الأرض بالكامل على طول مسار الطائرة، كما يسهل كذلك الرؤية المجسمة، تُظهر كل صورتين متتابعتين منطقة التداخل من أكثر من منظور، و بالتالي يمكن عرضها بشكل مجسم من خلال جهاز "المجسام" (Stereoscope)، الذي يعرض الصور بشكل ثلاثي الأبعاد، ويسمى بالنموذج المجسم (stereo model)، ويستخدم ذلك في الكثير من تطبيقات التصوير الجوي .

تظهر فائدة «التصوير الجوي» في التطبيقات التي تحتاج للتفاصيل الدقيقة للصورة أكثر من حاجتها للمعلومات الطيفية، حيث إن تلك الصور لها دقة طيفية قليلة مقارنة بالصور التي تلتقط بواسطة أجهزة الاستشعار الإلكترونية. "الصور الرأسية" يسهل الحصول منها على قياسات دقيقة تستخدم في العديد من التطبيقات (مثل رسم الخرائط، و دراسة الغابات، ودراسة طبقات الأرض) ويسمى علم الحصول على قياسات من الصور "علم المساحة التصويرية" (Photogrammetry)، و تم استخدامه على نطاق واسع منذ بدايات استخدام التصوير الجوي. غالباً ما يتم تحليل الصور (حتى الصور المجسمة) بواسطة خبير وليس باستخدام الحاسب، و لكن في بعض الأحيان يمكن مسح الصور ضوئياً و تحويلها للصيغة الرقمية، وبالتالي يتم تحليلها بواسطة الحاسب، و سوف نتعرض بالتفصيل لطرق تحليل صور الاستشعار عن بعد في الفصل الرابع .

توجد أنظمة تصوير أخرى تستخدم عدة عدسات ، و يطلق عليها « التصوير متعدد النطاقات» (Multi-band Photography)، و تستخدم العديد من المرشحات المختلفة (Filters)، وذلك لالتقاط الصور في نطاقات طيفية مختلفة في آن واحد .

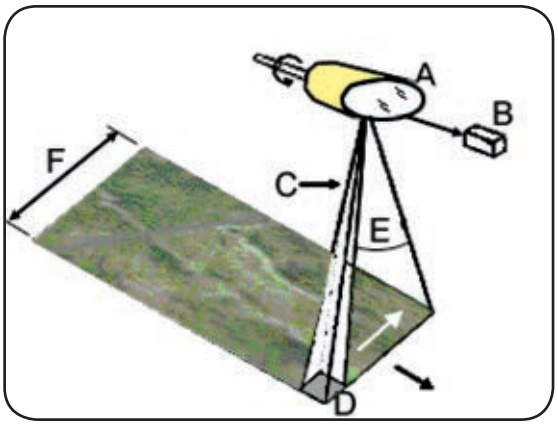
يتميز هذا النوع من آلات التصوير بقدرته على تسجيل الطاقة المنعكسة في نطاق أطوال موجية مختلفة، مما يؤدي إلى سهولة تحديد و تمييز الكثير من الخصائص. و لكن على الرغم من ذلك قد يكون تحليل تلك الصور معاً أمراً صعباً .

«آلات التصوير الرقمية» (Digital Cameras)، التي تقوم بتسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكترونياً، تختلف كثيراً عن نظيرتها التي تستخدم أفلام تصوير . فبدلاً من الفيلم، تستخدم الكاميرات الرقمية شريحة من «السيليكون» تسمى ("CCDs" Change-coupled devices) و التي تستجيب للإشعاع الكهرومغناطيسي، عندما يصل الإشعاع لسطح الشريحة "CCDs" فإنه يولد شحنة إلكترونية، تختلف قيمتها تبعاً لاختلاف سطوع لون تلك المنطقة من الأرض .

يحدد لكل نطاق طيفي رقم معين ، و يرفق مع كل «بكسل» بناءً على قيمة الشحنة الإلكترونية، الصيغة الرقمية للصورة تجعل من السهل تحليلها و تخزينها بواسطة الكمبيوتر ، كما يمكن طباعتها و التعامل معها مثل الصور العادية، كما أن آلات التصوير الرقمية توفر دقة طيفية أعلى، وتسرع عملية الحصول على الصور، وهي تلتقط صوراً بدقة مكانية تصل إلى ٠,٣ م ، و دقة طيفية تتراوح بين ٠,٠١٢ مم ، ٠,٣ مم، عدد عناصر الصورة "pixels" يختلف من نظام إلى آخر ، و لكنه عادة يتراوح بين ٥١٢×٥١٢ و ٢٠٤٨×٢٠٤٨ .

٢ـ٨ المسح الضوئي متعدد الأطياف:

العديد من أجهزة الاستشعار عن بعد تقوم بجمع البيانات باستخدام أنظمة المسح الضوئي، ذات مستشعر ذي مجال رؤية صغير (IFOV) يقوم بمسح تضاريس المنطقة المراد دراستها، و ذلك لتكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض ، يمكن وضع تلك الأنظمة على متن طائرة أو قمر صناعي. و إذا كان النظام يستطيع تسجيل البيانات باستخدام أطوال موجية مختلفة، فإنه يسمى "ماسح ضوئي متعدد الأطياف" (multispectral scanner_MSS)، و هو أكثر أنظمة المسح الضوئي استخداماً...



وتوجد طريقتان / وضعان للمسح الضوئي تستخدمان للحصول على صور متعددة الأطياف، و هما "المسح الضوئي عبر المسار" و "المسح الضوئي بطول المسار" .

المسح الضوئي عبر المسار (Across_track Scanning) :

يقوم بمسح سطح الأرض على هيئة خطوط مستقيمة، تكون في اتجاه عمودي على اتجاه حركة المنصة الحاملة لجهاز الاستشعار .

كل خط يتم مسحه من جهة لأخرى بالكامل باستخدام مرآة دوارة (A)، أثناء حركة المنصة إلى الأمام، يتم مسح الأرض بشكل متتابع، و تتكون صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض في تلك المنطقة، الإشعاع المنعكس أو المنبعث يتم تقسيمه إلى مجالات طيفية مختلفة و تسجل كل منها على حدة .

يتم تفريق الأشعة فوق البنفسجية، و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة و الحرارية إلى الأطوال الموجية المكونة لها، توجد مجموعة من أجهزة الرصد ـ داخل الماسح نفسه يكون كل منها حساساً لنطاق معين من الأطوال الموجية ، يقوم بقياس وتسجيل الطاقة لكل نطاق من الأطوال الموجية على هيئة إشارات كهربية، ثم يتم تحويلها إلى صور رقمية و يتم الاحتفاظ بها لاستخدامها في مراحل المعالجة التالية .

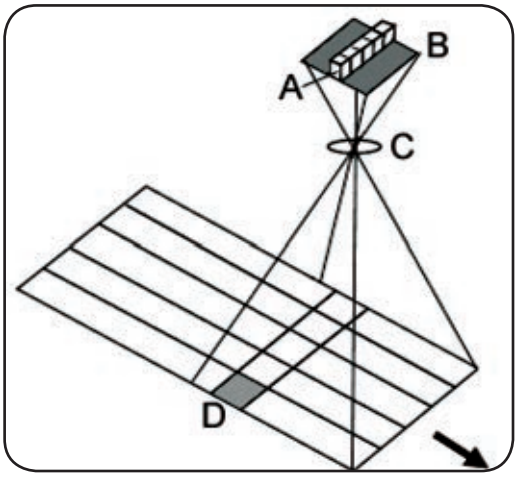
مجال الرؤية اللحظي للمستشعر (C) و ارتفاع منصة الاستشعار يحددان وحدة الدقة للمستشعر (D) ، و بالتالي الدقة المكانية (spatial resolution) .

مجال الرؤية الزاوي للمستشعر (E) (angular field of view) يعبر عن المساحة التي تمشطها المرآة مقاسة بالدرجات ، و تحدد عرض رقعة الأرض التي يتم مسحها (F) (swath) .

أجهزة المسح الضوئي المحمولة جواً تقوم بالمسح بزاوية كبيرة (تتراوح بين ٩٠° و١٢٠°)، بينما الأقمار الصناعية - نظراً لارتفاعاتها الكبيرة - فإنها تقوم بالمسح بزاوية صغيرة (تتراوح بين ١٠° و٢٠°) ، و ذلك لتتمكن من تغطية مساحة كبيرة . نظراً لأن المسافة بين جهاز الاستشعار و سطح الأرض تزداد عند أطراف الرقعة التي يتم مسحها ، فبالتالي تزداد أيضاً مساحة وحدة الدقة عند الأطراف ، مما يؤدي لحدوث تشوهات هندسية للصورة كذلك الوقت الذي يرى فيه المستشعر وحدة الدقة على الأرض أثناء قيام المرآة الدوارة بمسح سطح الأرض يسمى "زمن السكون" "dwell time"، عادة ما يكون قصيراً و يؤثر على تصميم المستشعر من حيث الدقة المكانية و الطيفية و دقة القياسات الإشعاعية .

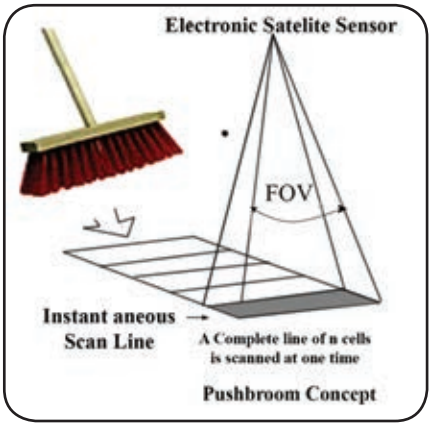
المسح الضوئي على طول المسار (Along-track scanning) :

تستخدم أيضاً حركة منصة الاستشعار للقيام بالمسح على هيئة خطوط عمودية على اتجاه الطيران ، و ذلك لتكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض . و لكن بدلاً من استخدام المرآة ، يتم استخدام «مصفوفة خطية» من أجهزة الرصد (A) (detectors)، موجودة عند المستوى البؤري (B) للصورة المتكونة بواسطة نظام العدسات (C)، و التي يتم دفعها (توجيهها) على طول مسار الرحلة و يسمى أيضاً ذلك النوع من الماسحات الضوئية (push broom scanners) ، وذلك لأن حركة المصفوفة تشبه حركة شعيرات المكنسة عند دفعها على الأرض .



يقوم كل جهاز تسجيل بقياس وتسجيل الطاقة الخاصة بوحدة دقة واحدة على سطح الأرض (D) ، و بالتالي فإن الدقة المكانية للماسح الضوئي تتوقف على مجال الرؤية اللحظي لأجهزة التسجيل، كذلك توجد مصفوفة خطية أخرى تستخدم لقياس كل نطاق طيفي .

يتم تحويل الطاقة المسجلة لكل خط يتم مسحه، إلى صيغة إلكترونية، أو رقمية .



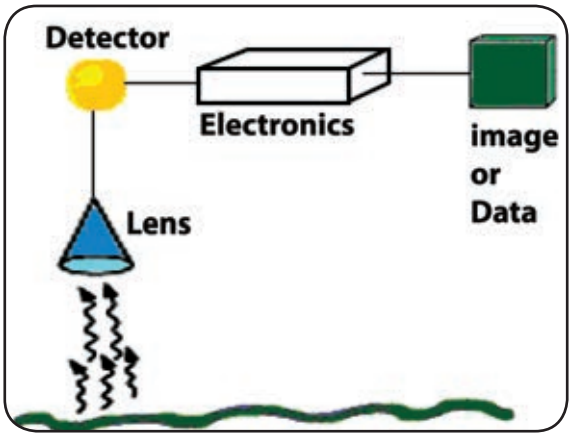
المسح الضوئي على طول المسار له مميزات أكبر من المسح الضوئي عبر المسار، فحركة مصفوفة أجهزة الرصد و التسجيل تسمح بقياس الطاقة الخاصة بكل وحدة دقة على سطح الأرض لوقت أطول " زمن السكون"، مما يسمح برصد كمية أكبر من الطاقة، وبالتالي تزداد دقة القياسات الإشعاعية، كذلك فإن طول زمن السكون يسهل استخدام مجال رؤية لحظي ونطاق ترددات أقل لكل جهاز رصد، وبالتالي يمكن الحصول على دقة مكانية و طيفية أكبر بدون التأثير على دقة القياسات الإشعاعية. أجهزة الرصد عادة ما تكون أصغر حجماً و أخف وزناً و تستهلك طاقة أقل، و ذلك لعدم وجود أجزاء متحركة بها. و لكن على الجانب الآخر، فإن معايرة الآلاف من أجهزة الرصد للحصول على حساسية ثابتة لكل المصفوفة هو أمر معقد و لكنه ضروري.

بشكل عام فإن أنظمة المسح الضوئي لها مميزات أكبر من أنظمة التصوير الفوتوغرافي فالنطاق الطيفي لأنظمة التصوير الفوتوغرافي يشمل الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة، بينما النطاق الطيفي لأنظمة المسح الضوئي يمتد ليشمل كذلك الأشعة تحت الحمراء الحرارية، كما أن الدقة الطيفية لتلك الأنظمة أعلى من تلك الخاصة بأنظمة التصوير الفوتوغرافي. في أنظمة التصوير الفوتوغرافي متعدد الأطياف يتم استخدام عدسات منفصلة لتسجيل كل نطاق طيفي على حدة، و لكن ذلك قد يؤدي لحدوث بعض المشاكل فقد يكون من الصعب التأكد من أن الصور متمايزة تماماً من حيث النطاق الطيفي و القياسات الإشعاعية، و ذلك عند التقاط العديد من الصور.

أما أنظمة "المسح الضوئي" فإنها تسجل جميع النطاقات الطيفية معاً عبر نظام بصريات واحد، و ذلك لتجنب حدوث مثل تلك المشكلات.

"أنظمة التصوير الفوتوغرافي" تقوم بتسجيل الطاقة عبر عملية كيميائية مما يؤدي إلى صعوبة قياسها، ولكن أنظمة المسح الضوئي تقوم بتسجيل الطاقة إلكترونياً، مما يسهل عملية قياس الطاقة، و كذلك تستطيع تسجيل مدى كبير من القيم بالصيغة الرقمية، كما أن "التسجيل الرقمي" للبيانات يسهل إرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية، و البدء في معالجتها فوراً، بينما أنظمة التصوير الفوتوغرافي تحتاج أن يتم إمدادها بأفلام التصوير بشكل مستمر، وتبدأ عملية المعالجة على الأرض بعد هبوط الطائرة للحصول على الصور المطلوبة.

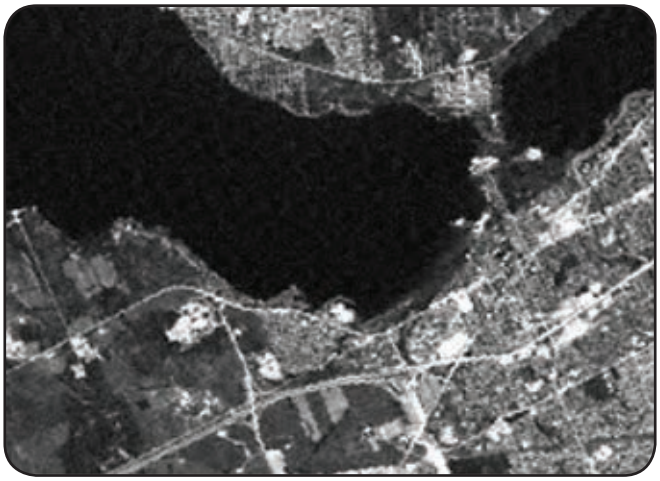
٢ـ٩ التصوير الحراري:



معظم الأنظمة متعددة الأطياف يمكنها استشعار الأشعة تحت الحمراء الحرارية ، بالإضافة إلى الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة .

ولكن استشعار الطاقة المنبعثة من سطح الأرض في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية (٣ ميكرومتر إلى ١٥ ميكرومتر) يختلف عن استشعار الطاقة المنعكسة. المستشعرات الحرارية تستخدم أجهزة رصد حساسة لتعرض سطحها مباشرة للفوتونات ، و ذلك لرصد الطاقة الحرارية المنبعثة، يتم تبريد تلك المستشعرات لدرجة تصل للصفر المطلق، وذلك لتقليل الحرارة المنبعثة منها .

المستشعرات الحرارية تستخدم لقياس درجة حرارة سطح الأرض و الخصائص الحرارية للأهداف .



التصوير الحراري عادة ما يقوم بالمسح عبر المسار (مثل المسح الضوئي عبر المسار المذكور سابقاً) ، و يقوم برصد الإشعاع المنبعث في النطاق الحراري فقط من الطيف الكهرومغناطيسي . تستخدم المستشعرات الحرارية مرجعاً حرارياً (temperature reference) لمقارنته بما يتم رصده من إشعاعات، و بالتالي يمكن معرفة درجة الحرارة المطلقة . عادة ما تسجل تلك الطاقة على على فيلم أو شريط مغناطيسي، و يمكن أن تصل دقة المستشعر إلى ٠,١ درجة مئوية . الصور ذات درجات الحرارة النسبية يتم تمثيلها بتدرجات اللون الرمادي ، حيث تكون الدرجات الفاتحة منه تعبر عن درجات حرارة أعلى، و درجات الحرارة الأقل (أكثر برودة) يتم التعبير عنها بالدرجات الداكنة .

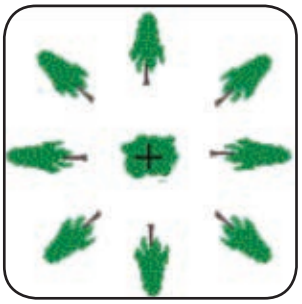
الصور التي تمثل فروق درجات الحرارة النسبية بالنسبة لموقعها، تكون ملائمة لمعظم التطبيقات. درجات الحرارة المطلقة يمكن حسابها، و لكنها تحتاج إلى معايرة ، و قياسات دقيقة للمراجع المستخدمة (references) ، و كذلك معرفة دقيقة بالخصائص الحرارية للهدف، و التشوهات الهندسية و التأثيرات الإشعاعية .

بسبب أن الأطوال الموجية للإشعاع الحراري كبيرة بالمقارنة بأطوال الضوء المرئي، فإن التشتت في الغلاف الجوي يكون أقل، و لكن ظاهرة الامتصاص بواسطة غازات الغلاف الجوي تؤدي إلى تحديد استشعار الطاقة الحرارية إلى منطقتين محددتين، و هما (من ٣ إلى ٥ ميكرومتر) و (من ٨ إلى ١٤ ميكرومتر)، و لأن الطاقة تقل كلما ازداد الطول الموجي ، فإن المستشعرات الحرارية لها نطاق رؤية لحظي كبير للتأكد من أن كمية كافية من الطاقة تصل إلى جهاز الرصد حتى تكون القياسات دقيقة، و لذلك فإن الدقة المكانية لتلك المستشعرات تكون قليلة بالنسبة إلى الدقة المكانية الممكنة في الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة. يمكن قياس الطاقة الحرارية نهاراً أو ليلاً، و ذلك لأنها منبعثة و ليست منعكسة، و تستخدم في العديد من التطبيقات مثل الاستطلاعات العسكرية، مواجهة الكوارث (حرائق الغابات) ، مراقبة فقدان الحرارة .

٢ـ١٠ التشوهات الهندسية في الصور :

كل صور الاستشعار عن بعد سواء تم التقاطها بنظام التصوير الفوتوغرافي أو المسح الضوئي، و سواء كان نظام الاستشعار محمولاً بواسطة طائرة أو قمر صناعي ، فإن جميع الصور تعاني من بعض التشوهات الهندسية، ترجع المشكلة لكوننا نقوم بتمثيل سطح الأرض – ثلاثي الأبعاد – بصوراً ثنائية الأبعاد، وبالتالي تتعرض كل صور الاستشعار عن بعد إلى بعض التشوهات الهندسية، و تختلف حسب الطريقة التي تم التقاط الصورة بها، و تأتي تلك الأخطاء كنتيجة لعدة عوامل، نذكر منها:

- منظور وحدة البصريات (العدسات) الخاصة بجهاز الاستشعار .
- حركة نظام المسح الضوئي .
- حركة منصة الاستشعار و مدى استقرارها و ثباتها .
- ارتفاع المنصة، و سرعتها، واتجاهها .
- طبيعة التضاريس الأرضية .
- مدى تحدب الأرض و دورانها .



آلات التصوير (Cameras) المستخدمة في التصوير الجوي تلتقط مشهداً لحظياً لسطح الأرض، و تنتج التشوهات الهندسية في الصور الجوية الرأسية نتيجة الإزاحة. حيث إن الأشياء التي تقع تحت مركز العدسة مباشرة (نقطة النظير) تظهر قمتها فقط، أما بقية الأشياء فتظهر و كأنها تميل بعيداً عن المركز، وبالتالي تظهر قممها و جوانبها، و إذا كانت الأهداف التي يتم رصدها ذات ارتفاعات كبيرة، أو تبعد كثيراً عن المركز فإن التشوهات و الأخطاء تزداد .

الهندسة الخاصة بالتصوير على طول المسار تشبه تلك الخاصة بالتصوير الفوتوغرافي الجوي، حيث إن كل جهاز رصد يقوم بالتقاط مشهد سطح الأرض المقابل لوحدة الدقة، تظهر الاختلافات الهندسية بين الخطوط التي يتم مسحها نتيجة اختلافات في ارتفاع الطائرة ، أو طريقة حركتها أثناء مسار رحلتها .

الصور الملتقطة بالمسح الضوئي عبر المسار ، تتعرض لنوعين أساسيين من التشوهات الهندسية ، تشوه نتيجة الإزاحة (A) ، مثل الصور الفوتوغرافية ، و لكن في اتجاه واحد فقط موازٍ لاتجاه المسح، و لا يظهر تأثير الإزاحة تحت المستشعر مباشرة (عند نقطة النظير). بينما يقوم المستشعر بالمسح الضوئي عبر المسار، فإن قمم و جوانب الأهداف تظهر مائلة بعيداً عن نقطة النظير، في كل خط يتم مسحه، و تزداد الإزاحة عند أطراف الرقعة التي يتم مسحها .

هناك نوع آخر من التشوهات (B) يظهر نتيجة دوران مرآة الماسح، فبينما يقوم المستشعر بمسح كل خط ، تزداد المسافة من المستشعر إلى سطح الأرض كلما ابتعدنا عن المركز، بالرغم من كون مرآة الماسح تدور بسرعة ثابتة، إلا أن مجال الرؤية اللحظي الخاص بجهاز الاستشعار يتحرك بسرعة أكبر (بالنسبة للأرض) و يقوم بمسح مساحة أكبر كلما اقترب من الأطراف، و يؤدي ذلك إلى ضغط عناصر الصورة عند النقط البعيدة عن نقطة النظير، و يسمى ذلك بالتشوه المماسي (tangential scale distortion) .

كل الصور معرضة للتشوهات الهندسية الناتجة عن التغيرات في ثبات منصة الاستشعار ، بما فيها تغير سرعتها و ارتفاعها و اتجاهها (زاوية توجهها بالنسبة للأرض) أثناء التقاط الصور، و تظهر هذه التأثيرات بشكل كبير عند استخدام الطائرات، و يخف تأثيرها بدرجة كبيرة مع الأقمار الصناعية، و ذلك لأن مداراتها تكون ثابتة بالنسبة لبعدها عن الأرض . وبالرغم من ذلك فإن حركة الأرض باتجاه الغرب ، تجعل كل مساحة تقوم برصدها الأقمار الصناعية تكون متجهة باتجاه الغرب قليلاً بالنسبة للمساحة السابقة ، و بالتالي كمحصلة لذلك تظهر انحرافات بالصورة، يسمى هذا النوع (Skew Distortion)، و هو نوع شائع من التشوهات في حالة الأقمار الصناعية ذات أنظمة المسح متعددة الأطياف .

مصادر التشوهات الهندسية و الأخطاء الموضعية تختلف حسب الموقف ، و لكنه دائم الحدوث في الاستشعار عن بعد بصفة عامة .

في بعض الحالات نتمكن من إزالة تلك الأخطاء ، أو على الأقل التخفيف من تأثيرها ، و لكن يجب أن نأخذها في اعتبارنا عند القيام بالقياسات و استخلاص المعلومات من الصور .

إلى الآن، نكون قد تكلمنا عن بعض الخصائص العامة لمنصات الاستشعار، و أجهزة الاستشعار ، و في الأجزاء التالية سوف نلقي نظرة تفصيلية على بعض أجهزة الاستشعار (خاصة الأقمار الصناعية) التي تعمل في نطاق الضوء المرئي، و الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي .

٢ـ١١ الأقمار الخاصة بالطقس:

لقد كان التنبؤ «بالطقس» هو أول التطبيقات المدنية للاستشعار عن بعد باستخدام الأقمار الصناعية، حيث تعود بداية استخدام الأقمار الصناعية في ذلك المجال إلى القمر الصناعي "تيروس ـ ١" (TIROS-1 Television and Infrared Observation Satellite ـ 1) ، و الذي أطلقته الولايات المتحدة الأمريكية «عام ١٩٦٠» و تم إطلاق العديد من أقمار التنبؤ بالطقس الأخرى في السنوات الخمس التي تلتها، إلى المدارات القطبية، حيث تمكنت من تغطية أنماط الطقس على مستوى العالم .

وفي عام ١٩٦٦، أطلقت وكالة «ناسا» الأمريكية القمر الصناعي ـ "ATS-1" geost (ATS-1 tionary Applications Technology Satellite) ، و الذي قام بتوفير صوراً لكل نصف من سطح الأرض، و غطاء السحب كل نصف ساعة، وبذلك أصبح ممكناً للمرة الأولى متابعة الطقس بشكل دوري .

أما حالياً ، فتوجد كثير من الدول التي تمتلك أقمار أرصاد جوية لمتابعة حالة الطقس في مختلف أنحاء الكرة الأرضية، و بشكل عام فإن هذا النوع من الأقمار يستخدم مستشعرات ذات دقة مكانية صغيرة ـ بالمقارنة بالأقمار التي تقوم بتصوير سطح الأرض ـ و تقوم بتغطية مساحات كبيرة .

الدقة الزمنية لتلك الأقمار عادة ما تكون كبيرة جداً ، حيث إنها تراقب سطح الأرض، و كمية الرطوبة بالجو، و غطاء السحب بشكل دوري يكاد يصل إلى متابعة مستمرة، مما يسهل التنبؤ بالطقس.

و فيما يلي نغطي بعض الأقمار المستخدمة في الأرصاد الجوية :

جويس "GOES":

يعتبر هذا القمر تابعاً لسلسلة أقمار " أيه تي أس" "ATS" GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) تم تصميمه بواسطة «وكالة ناسا لصالح الإدارة الوطنية للمحيطات و المناخ» (NOAA)، ليزود الولايات المتحدة بصور دورية لسطح الأرض و غطاء السحب. و تم استخدام الأقمار من سلسلة (GOES) على نطاق واسع في مجال الأرصاد الجوية لمدة ٢٠ عاما، وهذه الأقمار هي جزء من الشبكة العالمية لأقمار الأرصاد الجوية المحيطة بالأرض ، و التي يبعد كل منها عن الآخر حوالي ٧٠° في خطوط ثابتة الطول ، لتوفر تغطية شبه تامة للأرض. اثنان من أقمار "GOES" يوجدان بمدارات جغرافية ثابتة، و التي تبعد حوالي ٣٦٠٠٠ كم عن خط الاستواء، ويستطيع كل منهما أن يرى تقريبا ثلث سطح الأرض. أحدهما يقع عند خط طول ٧٥° غرب، و يراقب أمريكا الشمالية،و الجنوبية، و معظم المحيط الأطلنطي، أما الآخر فيقع عند خط طول ١٣٥°غرب، ويراقب أمريكا الشمالية وحوض المحيط الهادئ. يغطي القمران معاً خطوط الطول من ٢٠° غربا إلى ١٦٥° شرقاً، و تغطي الصور الخاصة بهما جزءاً من جنوب شرق الولايات المتحدة، و ساحل المحيط القريب ، منها حيث تتولد هناك العديد من العواصف الشديدة، و تظهر الصورة بالأعلى إعصار "فران" "Fran" و هو يقترب من السواحل الجنوبية الشرقية للولايات المتحدة و جزر الباهاما في سبتمبر ١٩٩٦ .

تم إطلاق جيلين من سلسلة (GOES) ، كانت مهمة كل من الجيلين هي قياس الإشعاع المنبعث و المنعكس و الذي يستخدم لمعرفة درجات الحرارة و الرياح و الرطوبة و غطاء السحب، الجيل الأول لتلك الأقمار يتكون من "جويس ـ ١ " "1 ـ GOES" (الذي أطلق عام ١٩٧٥) إلى "GOES ـ 7" "7 ـ GOES" (الذي أطلق عام ١٩٩٢). و نتيجة لتصميم تلك الأقمار، فإنها كانت قادرة على مراقبة الأرض لنسبة بسيطة من الوقت (٥٪ تقريباً). بدأت أقمار الجيل الثاني بالقمر "جويس ـ 8" "8 ـ GOES" (أطلق عام ١٩٩٤)، و قد تمت إضافة العديد من التعديلات التقنية إليها بالنسبة لأقمار الجيل الأول، فقد تمكنت من مراقبة الأرض بشكل شبه متواصل مما سمح بالحصول على صور دورية للأرض (تقريباً كل ١٥ دقيقة)، وقد أدت تلك الزيادة في الدقة الزمنية ، بالإضافة إلى التحسن في الدقة المكانية و الطيفية إلى الحصول على معلومات ذات جودة أعلى للتنبؤ بأحوال الطقس .

أقمار الجيل الثاني تتميز بامتلاكها لأدوات تصوير و رصد جوي منفصلة، وحدة التصوير بها خمس قنوات تقوم باستشعار الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء المنعكسة و المنبعثة، القدرة على استشعار الأشعة تحت الحمراء تسمح بالتصوير نهاراً أو ليلاً ، كذلك فإن قدرة المستشعر على التوجيه و اختيار منطقة معينة ، تسمح له بتصوير نصف الكرة الأرضية كاملاً أو تصوير نقط معينة. البيانات التي يتم تصويرها تكون بدقة ١٠ بت للقياسات الإشعاعية، و يمكن إرسالها مباشرة إلى المستخدمين على سطح الأرض، الجدول التالي يوضح النطاقات الخمس، و الدقة المكانية، و التطبيقات الخاصة بكل منها .

النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية	التطبيقات
1	0.52 – 0.72 (ضوء مرئي)	1 كم	السحب، التلوث، الضباب، تحديد العواصف القوية.
2	3.78 – 4.03 (أشعة تحت حمراء قصيرة)	4 كم	تحديد الضباب ليلاً، تمييز السحب المحملة بالماء أو الثلج أثناء النهار، تحديد الحرائق والبراكين، تحديد درجة حرارة سطح البحر ليلاً.
3	6.47 – 7.02 (النافذة الجوية لبخار الماء الموجود بالمستويات العليا)	4 كم	تحديد المناطق ذات الرطوبة المتوسطة، مراقبة الحركة الجوية المتوسطة.
4	10.20 – 11.20 (أشعة تحت حمراء طويلة)	4 كم	تحديد الرياح الساحبة للغيوم، العواصف الشديدة، الأمطار الغزيرة.
5	11.50 – 12.50 (الأشعة تحت الحمراء الحساسة لبخار الماء)	4 كم	تحديد المستويات المنخفضة من الرطوبة، تحديد درجة حرارة سطح البحر، رصد الهواء الحامل للأتربة والرماد البركاني.

أما جهاز الرصد الجوي فله تسع عشرة قناة تقيس الإشعاع المنبعث في ثمانية عشر نطاقاً للأشعة تحت الحمراء، و يرصد الإشعاع المنعكس في نطاق مرئي واحد، و هذه البيانات لها دقة مكانية تصل إلى ٨ كم و ١٣ بت لدقة القياسات الإشعاعية، و تستخدم بيانات جهاز الرصد لقياس درجة حرارة السطح و السحب المرتفعة، و أنماط الرطوبة متعددة المستويات في الغلاف الجوي، و توزيع غاز الأوزون .

NOAA AVHRR :

منظمة "NOAA" مسئولة عن سلسلة أخرى من الأقمار الصناعية المفيدة في مجال الأرصاد الجوية، و بعض التطبيقات الأخرى، تقع هذه الأقمار في مدارات قطبية متزامنة مع الشمس (حوالي ٨٣٠-٨٧٠ كم فوق الأرض)، و تعتبر جزءاً من سلسلة " تيروس" "TIROS" (و التي ترجع لعام ١٩٦٠) و تقوم تلك الأقمار بتزويد أقمار الأرصاد الجوية (مثل أقمار "جويس" "GOES"، بمعلومات مكملة. يوجد قمران من هذا النوع، كل منهما يقوم بتغطية الأرض بالكامل، يعملان معاً، و ذلك للتأكد من أن أي معلومة عن أي منطقة من سطح الأرض، لا تعود لأكثر من ست ساعات مضت. أحدهما يمر بخط الاستواء في الصباح الباكر من الشمال للجنوب ، و الآخر يمر به بعد الظهر .

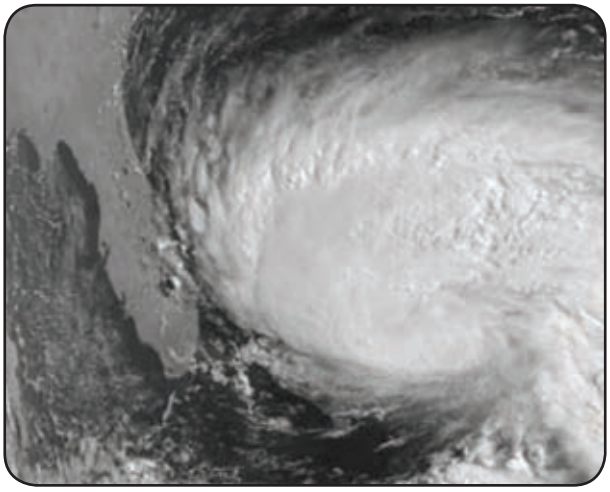
المستشعر الأساسي للأقمار الخاصة بمنظمة "NOAA"، يستخدم للرصد الجوي إلى جانب استطلاع و مراقبة سطح الأرض على مساحات صغيرة، و يسمى "AVHRR" اختصارا لـ"Advanced Very High Resolution Radiometer"، ويستطيع ذلك المستشعر قياس الإشعاع في نطاق الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة و الحرارية من الطيف الكهرومغناطيسي ، و ذلك على رقعة من الأرض عرضها حوالي ٣٠٠٠ كم. الجدول التالي يبين النطاقات الخاصة به و الدقة المكانية و التطبيقات .

النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية	التطبيقات
1	0.58 – 0.68 (أحمر)	1.1 كم	متابعة السحب والثلج والجليد.
2	0.725 – 1.1 (أشعة تحت حمراء قريبة)	1.1 كم	الماء، الغطاء النباتي والزراعة.
3	3.55 – 3.93 (أشعة تحت حمراء متوسطة)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، النشاط البركاني وحرائق الغابات.
4	10.30 – 11.30 (أشعة تحت حمراء حرارية)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، رطوبة التربة.
5	11.5 – 12.5 (أشعة تحت حمراء حرارية)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، رطوبة التربة.

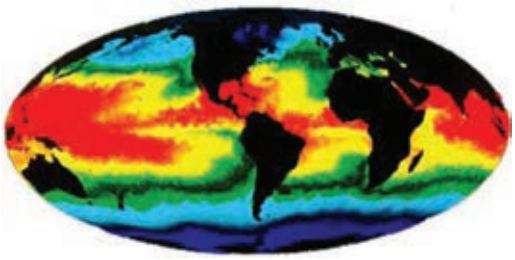
البيانات التي يتم الحصول عليها بواسطة المستشعر "AVHRR" يمكن استخدامها في عدة أوضاع تشغيلية تختلف عن بعضها في الدقة وطريقة الإرسال، فيمكن إرسال البيانات مباشرة إلى الأرض، و استخدامها بمجرد الحصول عليها، أو يتم تسجيلها على متن القمر الصناعي ليتم إرسالها و معالجتها فيما بعد. الجدول التالي يوضح الصيغ المختلفة للبيانات و خصائص كل منها :

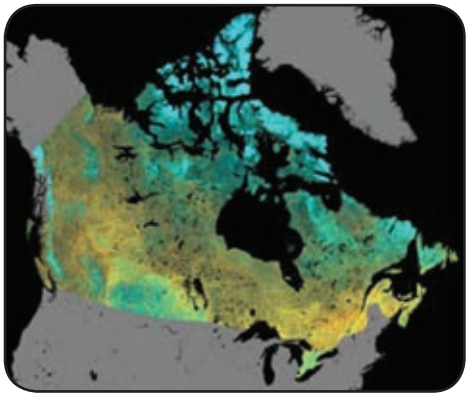
أنواع البيانات الخاصة بـــ "AVHRR":

الصيغـــــــة	الدقة المكانية	الإرسال والمعالجة
الإرسال الآلي للصور "APT" (Automatic Picture Transmission)	4 كم	**دقة منخفضة :** يتم إرسالها و عرضها مباشرة
الإرسال عالي الدقة للصور "HPRT" (High Resolution Picture Transmission)	1.1 كم	**دقة كاملة :** يتم إرسالها وعرضها مباشرة
التغطية العالمية "GAC" (Global Area Coverage)	4 كم	دقة منخفضة تتم التغطية باستخدام البيانات المسجلة
التغطية المحلية "LAC" (Local Area Coverage)	1.1 كم	**دقة كاملة :** تتم التغطية المحلية باستخدام البيانات المسجلة



بالرغم من أن المستشعر "AVHRR" يتم استخدامه في أنظمة التنبؤ بالطقس، إلا أنه ملائم بشكل كبير للاستخدام في مراقبة سطح الأرض أيضاً، فبالرغم من أن الدقة المكانية له أقل بكثير من أجهزة الاستشعار الخاصة بمراقبة الأرض (سنتعرض لها لاحقاً)، و لكنه يستخدم على نطاق واسع في مراقبة الظواهر المحلية ذات النطاق المحدود، مثل درجة حرارة سطح البحر و الغطاء النباتي الطبيعي و ظروف زراعة المحاصيل، كذلك يمكن إنتاج الصور المجمعة "Mosaics" التي توفر تغطية لمساحات واسعة باستخدام مجموعات عديدة من البيانات التي تم الحصول عليها بواسطته .





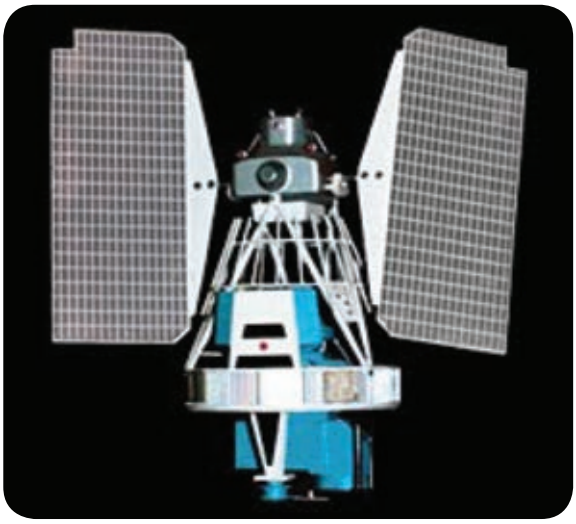
أقمار أخرى خاصة بالطقس:

تقوم الولايات المتحدة بتشغيل سلسلة الأقمار الصناعية "DMSP" (Defense Meteorological Satellite Program) والتي تستخدم في مجال الأرصاد الجوية أيضاً، و تقع تلك الأقمار في المدارات القطبية، و جهاز الاستشعار المستخدم بها يسمى "OLS" (Operational Line-scan System)، و الذي يقوم بعمل تغطيتين يومياً، و يكون عرض الرقعة التي تتم تغطيتها حوالي ٣٠٠٠ كم، والدقة المكانية ٢,٧ كم. كما أن له نطاقين واسعين إلى حد ما من الأطوال الموجية: نطاق الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة (٠,٤ إلى ١,١ ميكرومتر)، ونطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية (١٠,٠ إلى ١٣,٤ ميكرومتر). من الخصائص المميزة لذلك المستشعر قدرته على التقاط الصور بالضوء المرئي أثناء الليل، و ذلك رغم عدم جودة ظروف الإضاءة، مما جعل من الممكن التقاط صور مدهشة للأرض تظهر الإضاءة الليلية للتجمعات الحضارية الكبيرة.

يوجد الكثير من أقمار الأرصاد الجوية الأخرى تم إطلاقها و تشغيلها بواسطة دول أخرى أو مجموعة من الدول، من تلك الدول اليابان بسلسلة أقمار "GMS"، و دول «الاتحاد الأوروبي» بسلسلة أقمار "Meteosat". كل من أقمار السلسلتين يدور في المدار الجغرافي الثابت فوق خط الاستواء عند كل من اليابان و أوروبا، و توفر تلك الأقمار صوراً كل نصف ساعة مثل سلسلة أقمار "GOES". أقمار "GMS" لها نطاقان من الأطوال الموجية: من ٠,٥ إلى ٠,٧٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ١,٢٥ كم)، و من ١٠,٥ إلى ١٢,٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم). أما أقمار "Meteosat"، فلها ثلاثة نطاقات: الضوء المرئي من ٠,٤ إلى ١,١ ميكرومتر (الدقة المكانية ٢,٥ كم)، الأشعة تحت الحمراء المتوسطة من ٥,٧ إلى ٧,١ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم)، و الأشعة تحت الحمراء الحرارية من ١٠,٥ إلى ١٢,٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم).

١٢.٢ الأقمار و المستشعرات الخاصة بمراقبة سطح الأرض:

لاند سات "Landsat":



بالرغم من أن العديد من أقمار الأرصاد الجوية (كما ذكرنا في الجزء السابق) تستخدم أيضاً لمراقبة سطح الأرض ، إلا أنها غير مهيأة لرصد، و رسم الخرائط التفصيلية لسطح الأرض، بفضل النجاح الكبير لأقمار الأرصاد الجوية الأولى في الستينيات و الصور التي تمكنت من رصدها، بالإضافة إلى الصور التي تم التقاطها أثناء الرحلات المأهولة إلى الفضاء، تم تصميم أول قمر صناعي مخصص لأغراض مراقبة سطح الأرض، و هو "لاند سات ـ ١" "Landsat ـ 1" ، و تم إطلاقه بواسطة وكالة "ناسا" عام ١٩٧٢ .

و تمت تسميته أولاً بـ "ERTS-1" اختصاراً لـ (Earth Resources Technoogy Satellite) ، وكان مصمماً كتجربة لاختبار إمكانية التقاط صور متعددة الأطياف لسطح الأرض بواسطة قمر صناعي لا يوجد به رواد فضاء .

و منذ ذلك الوقت ، قام هذا البرنامج الناجح بجمع الكثير من البيانات من مختلف أنحاء العالم بواسطة أقمار "لاند سات"، في البداية كانت وكالة ناسا هي المسئولة عن تلك الأقمار، ثم تم تسليم مسئوليتها إلى منظمة "NOAA" و ذلك عام ١٩٨٣، و تم تحويل البرنامج إلى برنامج تجاري يستخدم في التطبيقات المدنية في عام ١٩٨٥.

وكان نجاح تلك السلسلة نتيجة لعدة عوامل منها: مجموعة من المستشعرات ذات النطاقات الطيفية المصممة خصيصاً لمراقبة سطح الأرض، الدقة المكانية، و التغطية المساحية الجيدة (عرض الرقعة التي يتم تصويرها و زمن إعادة الزيارة) . المدة الطويلة للبرنامج سمحت بتكوين أرشيف ضخم عن موارد الأرض، مما سهل مراقبة سطح الأرض لمدة طويلة ، و كذلك سهل الكثير من «الأبحاث و التسجيلات التاريخية»، كل أقمار "لاند سات" تقع في المدارات القطبية المتزامنة مع الشمس، كانت الأقمار الثلاثة الأولى من السلسلة " لاندسات ١-٣" تقع على ارتفاع حوالي ٩٠٠ كم و زمن إعادة الزيارة الخاص بها ثمانية عشر يوماً، بينما الأقمار التالية كانت على ارتفاع حوالي ٧٠٠ كم و زمن إعادة الزيارة الخاص بها هو ستة عشر يوماً، جميع أقمار "لاندسات" تمر بخط الاستواء أثناء النهار ، و ذلك لضمان ظروف إضاءة جيدة .

يوجد العديد من المستشعرات على متـــن أقمار "لاند ســـات"، منها :

- أنظمـــة التصويـــر "Return Beam Vidicon" (RBV) .
- و المـــاسح الضوئي متعدد الأطيـاف "Multispectral Scanning Systems" (MSS) .
- و «راسم الخرائط الموضوعي» "Thematic Mapper" (TM) .

أكثر الأدوات اسـتخداماً في بداية إطلاق "لاند سـات" كان "الماسح الضوئي متعدد الأطياف" و لاحقاً أصبح "راسـم الخرائط الموضوعي" "Thematic Mapper" هو الأكثر اسـتخداماً، كل من هذه المستشـعرات يسـتطيع جمع البيانات على رقعة عرضها ١٨٥ كم، و تكون مسـاحة المشـهد كاملاً ١٨٥كم × ١٨٥ كم .

«الماسـح الضوئي» متعدد الأطياف منها يقيس الإشـعاع الكهرومغناطيسي من سطح الأرض علـى مـدى أربعـة نطاقـات طيفيـة، كل منها له دقـة مكانيـة : ٦٠×٨٠ مـترا، و دقة القياسـات الإشـعاعية تسـاوي ٦ بت أو ٦٤ رقم، تتم عملية المسح خطياً باستخدام مرآة، و يتم مسح كل ستة خطـوط معاً مع كل حركة للمرآة من الغرب إلى الشـرق، الجدول التالـي يوضح نطاقات الأطوال الموجية للماسحات الضوئية "MSS":

مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	القنـــــــاة	
	لاندسات ٤، ٥	لاندسات ١، ٢، ٣
٠,٥ – ٠,٦ (الأخضر)	MSS 1	MSS 4
٠,٦ ـ ٠,٧ (الأحمر)	MSS 2	MSS 5
٠,٧ – ٠,٨ (أشعة تحت حمراء قريبة)	MSS 3	MSS 6
٠,٨ – ١,١ (أشعة تحت حمراء قريبة)	MSS 4	MSS 7

و توقف جمع البيانات بواسـطة الماسـحات الضوئية المتعددة الأطياف "MSS" عام ١٩٩٢، و ذلك لبدء استخدام راسم الخرائط الموضوعي "TM" بداية من "لاند سات ـ ٤".

حيث إن المستشعر الخاص بماسحات الخرائط «TM» يتفوق على المستشعر الخاص بالماسحات الضوئية «MSS» من حيث :

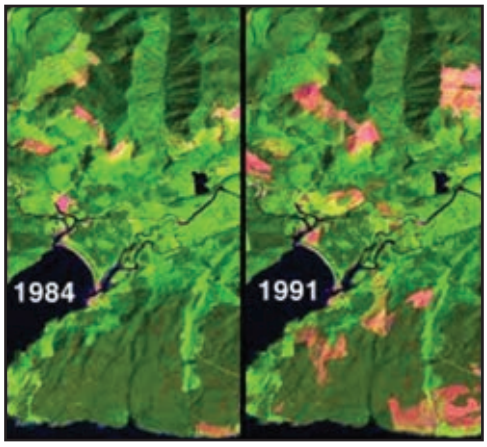
- زيادة الدقة المكانية ودقة القياسات الإشعاعية .
- نطاقات طيفية أدق حيث إن له سبعة نطاقات طيفية على عكس الماسحات الضوئية التي لها أربعة نطاقات فقط .
- زيـادة عـدد أجهزة الرصـد الخاصة بكل نطـاق (حيث أصبـح عددها ١٢ راصـداً للنطاق غير الحراري مقابل ٦ فقط للماسحات الضوئية) ، وبالتالي أصبح يمكن مسح ستة عشر خطا معا لكل نطاق غير حراري (وأربعة خطوط للنطاق الحراري) .
- استخدام مرآة متحركة تقوم بالمسح أثناء حركتها من الغرب للشرق، وأثناء عودتها من الشرق للغرب .

أدت تلك الاختلافات إلى زيادة زمن السكون و تحسن البيانات هندسياً و إشعاعياً، الدقة المكانية لماسح الخرائط الموضوعي هي ٣٠ م، و ذلك لكل النطاقات ماعدا نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية فتكون ١٢٠ متراً، و يتم تسجيل جميع النطاقات باستخدام ٨ بت أي ٢٥٦ رقم.

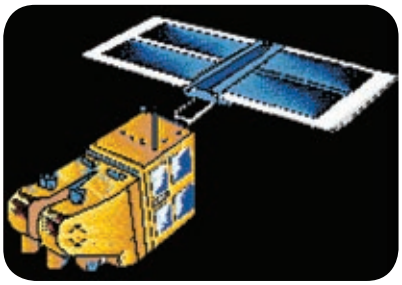
الجدول التالي يوضح النطاقات المختلفة لماسح الخرائط "TM" و بعض تطبيقاتها.

القناة	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)	التطبيقات
TM 1	٠,٤٥ – ٠,٥٢ (الأزرق)	تمييز التربة / المزروعات، رسم الخرائط الساحلية / خرائط قياس الأعماق، تحديد المناطق الحضارية والعمرانية.
TM 2	٠,٥٢ – ٠,٦٠ (الأخضر)	رسم خرائط النباتات، تحديد المناطق الحضارية و العمرانية.
TM 3	٠,٦٣ – ٠,٦٩ (الأحمر)	تحديد المناطق المزروعة و الغير مزروعة، تحديد أنواع المزروعات المختلفة (عن طريق درجة امتصاص الكلوروفيل الخاص بكل نبات)، تحديد الخصائص الحضارية والعمرانية.
TM 4	٠,٧٦ – ٠,٩ (الأشعة تحت الحمراء القريبة)	تحديد أنواع النباتات و المزروعات، و صحتها و كتلتها الحيوية، ورطوبة التربة.
TM 5	١,٥٥ – ١,٧٥ (الأشعة تحت الحمراء القصيرة)	تحديد الرطوبة في النباتات و التربة، و تمييز المناطق التي يغطيها الثلج أو السحب.
TM 6	10.4 – 12.5 (أشعة تحت حمراء حرارية)	تحديد رطوبة التربة حسب الإشعاع الحراري، ورسم الخرائط الحرارية.
TM 7	٢,٠٨ – ٢,٣٥ (أشعة تحت حمراء قصيرة)	تمييز أنواع المعادن و الصخور، كذلك تحديد محتوى الرطوبة في النباتات.

البيانات التي يتم الحصول عليها، بواسطة الماسحات متعددة الأطياف و ماسح الخرائط الموضوعي، تستخدم في الكثير من التطبيقات، مثل إدارة الموارد الطبيعية، رسم الخرائط، ورصد التغيرات (مثل مراقبة قطع الغابات).



«سبوت» "SPOT":



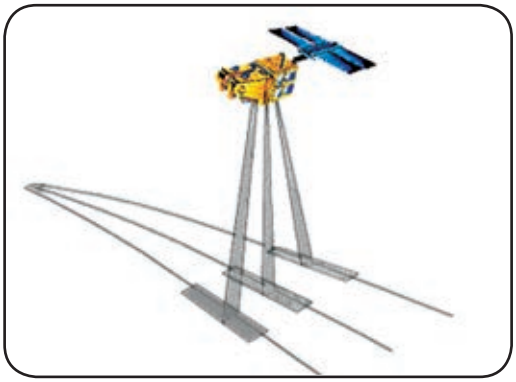
"سبوت" هي سلسلة أقمار "فرنسية" (Pour l'Observation de la Terre (Système SPOT)، تم تصميمها و إطلاقها بواسطة «المركز الوطني للدراسات الفضائية» (Centre National d'Études Spatiales CNES) بفرنسا، وبدعم من كل من «السويد» و «بلجيكا».

تم إطلاق أول قمر من السلسلة "سبوت ـ ١" "SPOT ـ 1" عام ١٩٨٦، و تتابع إطلاق باقي أقمار السلسلة كل ثلاث أو أربع سنوات. كل أقمار السلسلة تقع في مدارات قطبية متزامنة مع الشمس، على ارتفاع حوالي ٨٣٠ كم فوق الأرض، مما ينتج عنه أن كل منها يتم دورته كل ستة و عشرين يوما، و تمر تلك الأقمار بخط الاستواء حوالي الساعة العاشرة و النصف صباحاً حسب التوقيت الشمسي المحلي، تم تصميم «سبوت» بحيث يكون مصدراً تجارياً للمعلومات عن سطح الأرض، و كان أول قمر صناعي يستخدم تقنية المسح الضوئي على طول المسار (along_track or push_broom scanning).

كل أقمار "سبوت" لها اثنان من أنظمة التصوير عالية الدقة (HRV) (high resolution visible) و يمكن تشغيلهما معاً أو كل منهما على حدة، و كل منها يستطيع الاستشعار إما في وضع بانوكروماتي عالي الدقة على قناة واحدة (PLA mode)، أو في وضع متعدد الأطياف منخفض الدقة على ثلاث قنوات (MLA mode)، و تتكون مستشعرات "HRV" من أربع مصفوفات خطية من أجهزة الرصد، المصفوفة التي تتكون من ستة آلاف عنصر الخاصة بالوضع البانوكروماتي، دقتها المكانية تصل إلى ١٠م، أما المصفوفة التي تتكون من ثلاثة آلاف عنصر الخاصة بالوضع متعدد الأطياف، فلها دقة مكانية ٢٠م، أما عرض الرقعة التي يتم تصويرها لكل من الوضعين وهو ٦٠ كم عند نقطة النظير. الجدول التالي يوضح الخصائص الطيفية لكل من الوضعين الخاصين بنظام "HRV".

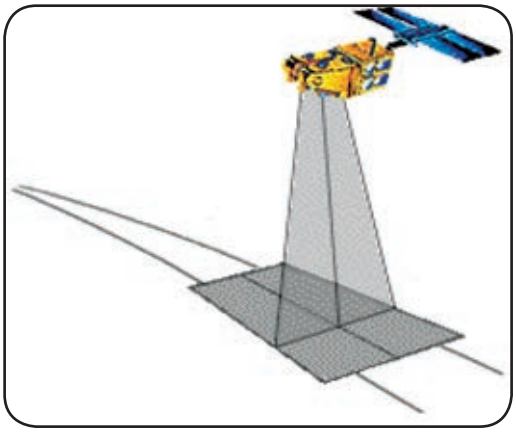
الوضع / النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)
الوضع البانوكروماتي	0.51 – 0.73 (أزرق-أخضر-أحمر)
الوضع متعدد الأطياف	
النطاق ١	0.50 – 0.59 (أخضر)
النطاق ٢	0.61 – 0.68 (أحمر)
النطاق ٣	0.79 – 0.89 (الأشعة تحت الحمراء القريبة)

زاوية الرؤية الخاصة بالمستشعر يمكن تعديلها بحيث ترى كلاً من جانبي القمر، وذلك يسمح بالرؤية أبعد من نقطة النظير، مما يحسن زمن إعادة الزيارة.



هذه القدرة على توجيه المستشعرات حتى ٢٧° من نقطة النظير ، تمكن القمر "سبوت" من رؤية ٩٥٠ كم من الأرض، كما تمكنه من زيارة أي مكان عدة مرات في الأسبوع، و كلما ابتعدت المستشعرات عن نقطة النظير، تغير عرض الرقعة من ٦٠ إلى ٨٠ كم . ذلك لايؤدي فقط إلى تحسن مراقبة مناطق معينة و زيادة فرصة التقاط صور خالية من السحب، و لكنه أيضاً يسمح بالحصول على تغطية مجسمة، و ذلك عن طريق تصوير نفس المنطقة من زاويتين مختلفتين ، و بالتالي يمكن عرض الصورة كنموذج مجسم ، و تعتبر تلك الطريقة ذات أهمية كبيرة جداً في دراسة تضاريس سطح الأرض .

هذه القدرة على التصوير بشكل مائل تزيد من فرصة إعادة الزيارة للمناطق الاستوائية إلى ثلاثة أيام (سبع مرات خلال ستة و عشرين يوما هي الفترة المدارية للقمر). المناطق التي عند خط عرض ٤٥، يمكن تصويرها بكمية أكبر (إحدى عشرة مرة خلال ستة و عشرين يوماً)، و ذلك نتيجة التقاء مسارات الأقمار الصناعية عند القطبين. عند توجيه المستشعرين "HRV" لتغطية المناطق المتجاورة من سطح الأرض عند نقطة النظير ، يتمكن القمر من رصد رقعة باتساع ١١٧ كم (توجد منطقة تداخل يقوم المستشعران برصدها معاً، وتصل إلى ٣ كم). عند استخدام ذلك الوضع للرصد، فإنه يكون بإمكاننا التصوير في الوضع البانوكروماتي أو الوضع متعدد الأطياف و ليس كليهما .



يتميز قمر "سبوت" بعدة مميزات عن الأقمار الأخرى، وهي: دقته المكانية العالية ومستشعراته التي يمكن توجيهها، كما أن المعلومات التي يجمعها في الوضع متعدد الأطياف مناسبة لعرضها كصور "باللون الزائف" "false - color"، ويمكن استخدام الصور بالوضع البانوكروماتي لتحسين الصور الملتقطة في الوضع متعدد الأطياف وزيادة وضوحها، كما يسمح "سبوت" للتطبيقات التي تحتاج دقة مكانية عالية (مثل التخطيط العمراني) أن تستفيد من المعلومات التي يزودها القمر مع الحفاظ على التكلفة، والوقت المناسب للاستفادة من تلك البيانات، كما أنه يوجد الكثير من التطبيقات التي يستخدم فيها القمر "سبوت"، مثل التطبيقات التي تحتاج مراقبة بصفة دورية (الزراعة، ومراقبة الغابات)، كذلك فإن الحصول على صور مجسمة يستخدم في مجال رسم الخرائط، والحصول على معلومات طبوغرافية عن سطح الأرض (Digital Elevation Models - DEMS).

سلسلة أقمار IRS:

سلسلة أقمار الاستشعار عن بعد «الهندية» (Indian Remote Sensing (IRS"، تجمع صفات مستشعرات القمر "لاند سات" وكذلك مستشعرات القمر "سبوت"، تم إطلاق ثالث أقمار المجموعة "IRS-1C" في ديسمبر عام ١٩٩٥، وكان لذلك القمر ثلاثة أجهزة استشعار وهي: وحدة تصوير في الوضع البانوكروماتي (PAN) ذات دقة عالية، ومستشعر ذو دقة متوسطة يقوم بالمسح الضوئي الخطي وله أربع قنوات "LISS-III"، ومستشعر منخفض الدقة ذو نطاق رؤية كبير "WiFS".

الجدول التالي يوضح المستشعرات الخاصة بتلك السلسلة:

المستشعر	الطول الموجي (ميكرومتر)	الدقة المكانية (م)	عرض الرقعة المصورة (كم)	زمن إعادة الزيارة (عند خط الاستواء) (بالأيام)
الوضع البانوكروماتي	0.75 – 0.5	5.8	70	24
LISS-III				
الأخضر	0.59 – 0.52	23	142	24
الأحمر	0.68 – 0.62	23	142	24
أشعة تحت حمراء قريبة	0.86 – 0.77	23	142	24
أشعة تحت حمراء قصيرة	1.70 – 1.55	70	148	24
WiFS				
الأحمر	0.68 – 0.62	188	774	5
أشعة تحت حمراء قريبة	0.86 – 0.77	188	774	5

بالإضافة إلى دقته المكانية العالية ، فإن المستشعر الخاص بالوضع البانوكروماتي يمكن توجيهه حتى ٢٦° خلال المسار ، مما يسمح بالتصوير المجسم و يحسن زمن إعادة الزيارة (يصبح خمسة أيام)، مثل القمر "سبوت"، و تستخدم تلك البيانات ذات الدقة العالية في تطبيقات التخطيط العمراني و رسم الخرائط، النطاقات الأربعة للمستشعر متعدد الأطياف "LISS ـ III" تشبه تلك الخاصة براسم الخرائط الموضوعي "TM" للقمر "لاند سات"، و هي مناسبة لتمييز النباتات و رسم الخرائط و إدارة الموارد الطبيعية، أما المستشعر "WiFS" ، فهو يشبه المستشعر "AVHRR" الخاص بأقمار "نوا" "NOAA" ، و هو مناسب لمتابعة النباتات على نطاقات محلية .

١٣ـ٢ أقمار المراقبة البحرية:

تغطي المحيطات أكثر من ثلثي مساحة سطح الأرض ، و تلعب دوراً هاماً في المناخ العالمي ، كما أنها تحتوي على كم هائل من الكائنات الحية ، و الموارد الطبيعية، و هي معرضة للتلوث والمخاطر الأخرى التي يتسبب فيها «الإنسان» . أقمار الأرصاد الجوية ، و أقمار المراقبة الأرضية التي ذكرناها سابقاً يمكنها مراقبة المحيطات، و لكن هناك أجهزة استشعار و أقمار أخرى تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض .

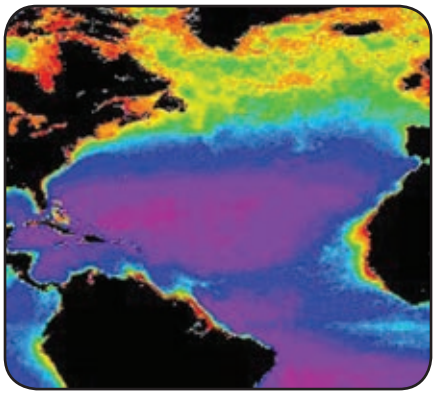
قمر "Nimbus ـ 7":

قمر "Nimbus ـ 7" تم إطلاقه عام ١٩٧٨ ، و كان على متنه أول جهاز استشعار خاص بالمحيطات "الماسح الضوئي الخاص بالمناطق الساحلية" (CZCS) (Coastal zone Colour Scanner) الهدف الأساسي لذلك المستشعر هو مراقبة درجة حرارة و لون سطح المحيط في المناطق الساحلية بشكل خاص، و ذلك بدقة مكانية و طيفية مناسبة لتحديد وجود ملوثات في المستويات العليا من المحيط، و تحديد نوع المواد العالقة بالماء .

وتم وضع ذلك القمر في مدار قطبي متزامن مع الشمس على ارتفاع ٩٥٥ كم. يمر القمر بخط الاستواء في فترة الظهيرة حسب التوقيت المحلي ، و ذلك أثناء مروره صعوداً ، و في منتصف الليل أثناء نزوله، و يستطيع القمر تغطية الأرض بالكامل كل ستة أيام، أو كل ٨٣ دورة مدارية .

و يمتلك المستشعر "CZCS" ستة نطاقات في مجال الضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء القريبة، والأشعة تحت الحمراء الحرارية، كل منها له دقة مكانية تصل إلى ٨٢٥ م عند نقطة النظير، و يكون اتساع الرقعة التي يتم رصدها حوالي ١٥٦٦ كم. الجدول التالي يوضح النطاقات الطيفية وما يتم استخدامها لرصده :

القناة	نطاق الأطوال الموجية	العنصر الذي يتم رصده
1	0.45 – 0.43	درجة امتصاص الكلوروفيل
2	0.53 – 0.51	درجة امتصاص الكلوروفيل
3	0.56 – 0.54	تحديد وجود مادة "Gelbstoffe"
4	0.68 – 0.66	درجة تركيز الكلوروفيل
5	0.80 – 0.70	النباتات
6	12.50 – 10.50	درجة حرارة سطح الأرض



كما نرى من الجدول أن النطاقات الأربعة الأولى للمستشعر ضيقة جداً، فقد تم اختيارها بحيث تستطيع التمييز بين الاختلافات في انعكاسات سطح الماء نتيجة العوالق النباتية، وكذلك الجزيئات الأخرى العالقة في الماء، بالإضافة إلى رصد النباتات الموجودة على سطح الماء، فإن النطاق الخامس يستخدم لتمييز الماء عن الأرض قبل معالجة المعلومات الخاصة بالنطاقات الأخرى، و توقف استخدام ذلك النوع من المستشعرات عام ١٩٨٦.

قمر "MOS":

أطلقت «اليابان» أول أقمار تلك السلسلة (Marine Observation Satellite) "MOS-1" في فبراير عام ١٩٨٧، ثم تبعه القمر "MOS-1b" في فبراير عام ١٩٩٠. يحمل كل من تلك الأقمار ثلاثة أجهزة استشعار مختلفة :

١- مستشعر إلكتروني له أربعة نطاقات طيفية (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) "MESSR"

٢- مستشعر لمجال الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء الحرارية له أربعة نطاقات "VTIR" (Visible and Thermal Infrared Radiometer)

٣- مستشعر لنطاق أشعة الميكروويف له نطاقان طيفيان فقط ..

"MSR" (Microwave Scanning Radiometer)

وفيما يلي جدول يوضح خصائص المستشعرين في نطاق الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء:

المستشعر	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية (م)	اتساع الرقعة المرصودة (كم)
	0.59 – 0.51	50	100
	0.69 – 0.61	50	100
	0.80 – 0.72	50	100
	1.10 – 0.80	50	100
VTIR	0.70 – 0.50	900	1500
	7.0 – 6.0	2700	1500
	11.5 – 10.5	2700	1500
	12.5 – 11.5	2700	1500

النطاقات الخاصة بالمستشعر "MESSR" تشبه نطاقات المستشعر "MSS" الخاصة بالقمر "لاند سات"، و هي مفيدة لمراقبة سطح الأرض إلى جانب المراقبة البحرية. يدور القمر "MOS" على ارتفاع ٩٠٠ كم ، و زمن إعادة الزيارة الخاص به هو ١٧ يوما .

جهاز الاستشعار "SeaWiFS":

سمي بذلك اختصاراً لـ (Sea ـ viewing Wide ـ Field Sensor)، و يوجد على متن مركبة الفضاء "SeaStar" ، و هو جهاز استشعار متقدم تم تصميمه لمراقبة المحيطات، يتكون من ٨ نطاقات طيفية كل منها تغطي مدى صغيراً من الأطوال الموجية، مصممة خصيصاً لمراقبة و رصد الظواهر الخاصة بالمحيطات مثل : العوالق النباتية بالمحيطات، و تأثير المحيطات على العمليات المناخية (مثل الاحتفاظ بالحرارة، و تكون الضباب)، و مراقبة جزيئات الكربون، و الكبريت، و النيتروجين .

ارتفاع المدار الخاص به ٧٠٥ كم، و التوقيت المحلي لمروره بخط الاستواء عند منتصف اليوم، ويوجد دقتان مكانيتان يستطيع أن يرصد بهما المستشعر ، كما أن عرض الرقعة التي يتم تصويرها له قيمتان أيضاً :

دقة مكانية عالية تصل إلى ١,١ كم (عند نقطة النظير) على رقعة اتساعها ٢٨٠٠ كم، ودقة مكانية أقل تصل إلى ٤,٥ كم (عند نقطة النظير) على رقعة اتساعها ١٥٠٠ كم .

وفي الجدول التالي نستعرض النطاقات الطيفية للمستشعر "SeaWiFS":

القناة	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)
1	0.422 – 0.402
2	0.453 – 0.433
3	0.500 – 0.480
4	0.520 – 0.500
5	0.565 – 0.545
6	0.680 – 0.660
7	0.785 – 0.745
8	0.885 – 0.845

وتعتبر أقمار مراقبة المحيطات مهمة لمراقبة أماكن التلوث على النطاق الإقليمي أو العالمي، مما يسهل مهمة العلماء في دراسة تأثير المحيطات على المناخ العالمي.

١٤-٢ أجهزة استشعار أخرى:

في الأجزاء الثلاثة السابقة تعرضنا لأنظمة استشعار عن بعد معينة، و لكن يوجد العديد من أجهزة الاستشعار الأخرى الأقل شيوعاً.. وفيما يلي نتعرض باختصار لتلك الأجهزة.

نظام التصوير بالفيديو "Video":

رغم أن دقته المكانية أقل من التصوير العادي أو الرقمي، إلا أنه يوفر صوراً جيدة و غير مكلفة، حيث توجد تطبيقات تحتاج صوراً بهذه المواصفات، مثل مكافحة الكوارث الطبيعية (الحرائق، و الفيضانات)، و تقييم المحاصيل واكتشاف إصابتها بالأمراض، و المراقبة الشُرطية، آلات التصوير المستخدمة في تصوير الفيديو تقيس الإشعاع في نطاقين من الطيف الكهرومغناطيسي، الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة، وتسجل على شريط و يمكن عرضها مباشرة.

FLIR

هو نظام يعمل في نطاق الأشعة تحت الحمراء، سمي بذلك اختصاراً لـ Forward Looking Infr Red) و هو يعمل بطريقة تشبه المسح الضوئي خلال المسار، و لكن زاوية التصوير تكون مائلة وليست رأسية، و يتم تثبيته على متن طائرة مروحية أو طائرة عادية، لتلك الأنظمة دقة مكانية عالية مما يجعلها صالحة للاستخدام في التطبيقات العسكرية، و عمليات البحث و الإنقاذ، و تطبيق القانون، و مراقبة حرائق الغابات.

جهاز استشعار بواسطة الليزر "Laser Fluorosensor":

توجد بعض الأهداف التي تضيء أو تبعث طاقة عند سقوط قدر من الطاقة عليها. والعملية التي تحدث هنا ليست مجرد انعكاس أو إعادة إشعاع للطاقة الساقطة ، ولكن سقوط تلك الطاقة على الهدف يؤدي إلى امتصاصها، ثم إثارة المكونات الجزيئية لمادة الهدف، و بالتالي يتم إشعاع الأطوال الموجية الكبيرة و يقوم المستشعر برصدها. أجهزة الاستشعار تلك تقوم بإشعاع أطوال موجية معينة و لكنها ترصد العديد من الأطوال الموجية التي تشعها الأهداف فيما بعد، و قد أثبتت تلك التقنية ملاءمتها لتطبيقات مراقبة المحيطات أيضاً، مثل تحديد الكلوروفيل، و وجود الملوثات ، و كذلك «البقع النفطية» التي تتكون طبيعياً أو بشكل عارض .

Lidar :

هذا الاسم هو اختصار (Light Detection And Ranging)، و هو نظام تصوير قريب من نظام الرادار "RADAR". يتم إرسال نبضات من أشعة الليزر بواسطة المستشعر، ثم يقوم برصد الطاقة المنعكسة عن الأهداف. يتم تحديد المسافة بين الهدف و جهاز الاستشعار عن طريق الوقت الذي تستغرقه الأشعة لتصل إلى الهدف ثم تعود ثانية إلى الجهاز. و عادة ما يستخدم هذا الجهاز في تحديد الارتفاعات لبعض الأهداف، مثل ارتفاع أشجار الغابات عن سطح الأرض، و عمق المياه، كذلك يتم استخدامه لدراسة الغلاف الجوي، حيث يمكنه معرفة الجزيئات الموجودة بالغلاف الجوي، و كثافة الغلاف الجوي .

الرادار "RADAR":

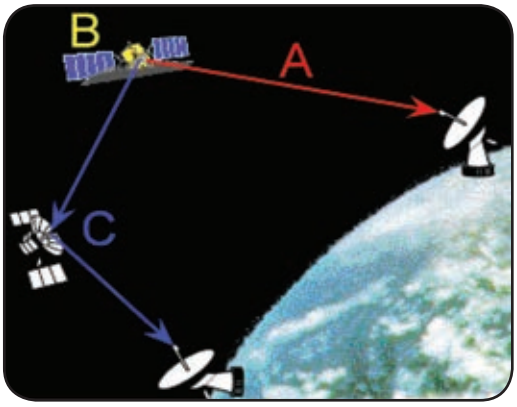
تشير تلك الكلمة للأحرف الأولى من جملة (Radio Detection And Ranging). ويمكن اعتباره مستشعراً إيجابياً، حيث إنه يمتلك مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية الخاص به، ويمكن أن يستخدم على متن طائرة أو قمر صناعي. يقوم الرادار بإرسال سلسلة نبضات من أشعة الميكروويف، باتجاه مائل على السطح، و لكنه عمودي على اتجاه الحركة. عندما تصل الأشعة إلى الهدف ، ينعكس بعضها عائداً إلى الجهاز، حيث يقوم بقياس قيمتها و الوقت الذي استغرقته لتصل إلى الهدف ثم تعود للجهاز، و بذلك يمكن تحديد المسافة بين الجهاز والهدف، و بعد تحديد قيم الطاقة المنعكسة- عن كل الأهداف التي مر بها الجهاز- و الوقت الذي استغرقته، يتم رسم صورة ثنائية الأبعاد لسطح المكان .

حيث إن الرادار يمتلك مصدر طاقة خاصاً به، فهو يستطيع العمل ليلاً أو نهاراً، كما أن أشعة الميكروويف يمكنها اختراق السحب و معظم الأمطار، فبالتالي يمكن استخدامه في كل فصول السنة .

نظراً لأهمية «أشعة الميكروويف» في مجال الاستشعار عن بعد ، فإن الفصل الثالث سيتعرض لها بالتفصيل ، مع التركيز على الاستشعار عن بعد بواسطة الرادار .

١٥-٢ إرسال واستقبال ومعالجة البيانات:

البيانات التي يتم الحصول عليها من التصوير الجوي، يتم التعامل معها فور هبوط الطائرة، ثم تتم معالجتها و توصيلها للمستخدم النهائي، أما المعلومات التي تأتي من الأقمار الصناعية، فيجب إرسالها للأرض إلكترونياً، حيث إن القمر يستمر في مداره طوال فترة حياته. التقنيات المستخدمة في تلك العملية، يمكن تطبيقها على التصوير الجوي أيضاً إذا كانت هناك حاجة عاجلة لتلك البيانات.



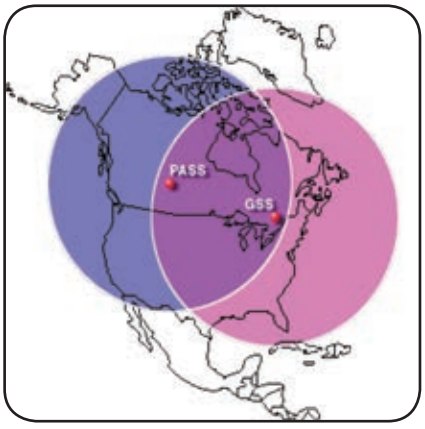
يوجد ثلاث طرق أساسية لإرسال البيانات من القمر إلى الأرض:

١- يمكن إرسالها مباشرة إلى الأرض، إذا كانت هناك محطة استقبال أرضية (GRS) على نفس خط رؤية القمر (A) .

٢- إذا لم تتوافر محطة الاستقبال ، فيتم تسجيل البيانات على متن القمر و يتم إرسالها في وقت لاحق عند وجود محطة استقبال متاحة (B) .

٣- كذلك يمكن إرسال البيانات إلى محطة الاستقبال، عن طريق أقمار تتبع و إرسال البيانات (TDRSS)، و هي عبارة عن سلسلة أقمار موجودة في مدار جغرافي متزامن، و ترسل البيانات من قمر إلى آخر حتى تصل إلى محطة الاستقبال (C) .

تصل البيانات إلى محطة الاستقبال بصيغة رقمية أولية، و تحتاج إلى تصحيح بعض التشوهات الهندسية و الجوية، ثم تحويلها إلى صيغ معتمدة ليتم استخدامها. يتم تخزين البيانات على شرائط أو أقراص مدمجة "CD"، و يتم التعامل مع تلك البيانات بواسطة الحكومات و بعض الشركات التجارية .



في بعض أجهزة الاستشعار يمكن إرسال البيانات سريعاً للمستخدمين فور التقاطها، حيث يمكن إنتاج صور منخفضة الدقة خلال ساعات من الحصول على البيانات، و يمكن إرسال تلك الصور رقمياً أو بواسطة الفاكس للمستخدمين النهائيين. أحد تطبيقات تلك الأنظمة، هو إرسال صور للسفن في المناطق القطبية، لتقييم أحوال الجليد بالمنطقة و ذلك لاتخاذ قرارات ملاحية باختيار أكثر الطرق سهولة و أماناً عبر الجليد.

كما تستخدم أيضاً لإرسال صور فورية لفرق مكافحة حرائق الغابات ليتمكنوا من تحديد الموقف .