مقرر الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية

المحاضرة الثانية

#

2

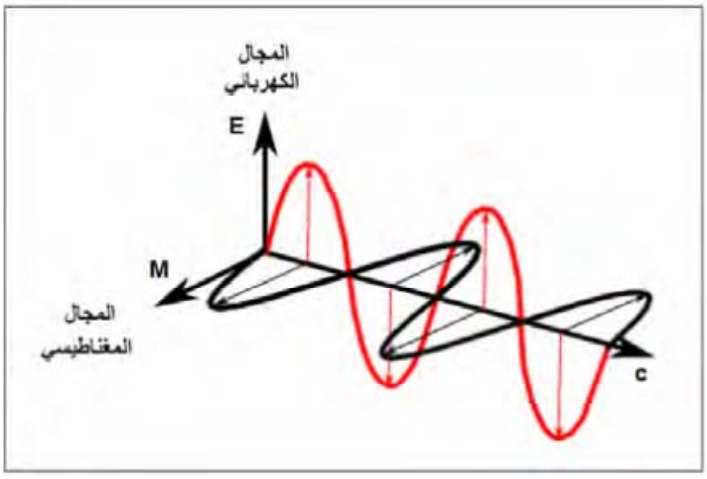
مقدمة :

إن تقنية الاستشعار عن بعد تتضمن **مرحلتين أساسيتين هما مرحلة جمع البيانات و هي عملية تكوين الصور الرقمية و مرحلة تحليل البيانات و تشمل المعالجة و التصنيف** . تقتضي مرحلة جمع البيانات وجود مصدر للطاقة ، و كما ذكرنا من قبل فإن مصدر الطاقة الأساس المستخدم في هذه التقنية هو الشمس التي ترسل الطاقة الكهرومغناطيسية في اتجاه الأرض في شكل أشعة . ثم تنتشر هذه الأشعة عبر الغلاف الجوي حتى تصل إلى الأرض ، و تسمى حينئذ الأشعة الواردة (incident radiation) ثم تتفاعل هذه الأشعة مع الهدف على الأرض فمنها ما يمتصه الهدف فيتحول إلى طاقة أخرى و هي في الغالب تكون طاقة حرارية و تسمى الأشعة الممتصة (absorbed radiation) ، و ينتج منها طاقة تنبعث من الجسم تسمى الأشعة المنبعثة (emitted radiation) و منها ما يخترق الهدف و يسمى الطاقة النافذة (transmitted radiation) ، و منها ما ينعكس من الهدف بزاوية انعكاس مساوية لزاوية السقوط و تسمى (reflected radiation) و هي التي تصل إلى جهاز الاستشعار بعد مرورها بالغلاف الجوي فيحولها إلى أعداد رقمية (digital numbers, DN) تكون الصورة الرقمية ، و إذا كان انعكاس الأشعة متشتتاً تسمى الأشعة المبعثرة (scattered radiation) ، و تشير الحقائق الفيزيائية إلى أن كلا من الأشعة الممتصة و المنقولة و المنعكسة تتغير شدتها حسب طول الموجة و حسب خصائص الهدف الذي تسقط عليه الطاقة الواردة .

إن هذه الأشعة المنعكسة من الهدف تمر من خلال طبقات الغلاف الجوي حتى تصل إلى جهاز الاستشعار المحمول جوا على الطائرة أو فضاء على القمر الاصطناعي . ثم يقوم جهاز الاستشعار بدوره بتقوية الأشعة (amplification) المنعكسة و التي غالبا ما تصل إليه في حالة ضعيفة خاصة مع بعد المسافة بين الهدف و الجهاز .ثم يقوم بتحسس هذه الأشعة بعد تقويتها و يحولها إلى تيار كهربائي تتناسب شدته مع شدة الأشعة الواصلة و أخيرا يسجل هذا التيار الكهربائي تسجيلا عدديا . و عليه فإن الأشعة المنعكسة من الهدف تكون قد تحولت بواسطة جهاز الاستشعار إلى مجموعة من الأعداد الرقمية (digital numbers, DN) تتناسب قيمها مع شدة الأشعة . و بما أن الأشعة المنعكسة تختلف شدتها حسب الهدف الذي انعكست منه كما ذكرنا آنفا فإن الأرقام التي يتم تسجيلها بواسطة الجهاز تعبر عن شدة الأشعة المنعكسة و بالتالي عن الهدف الذي انعكست منه .

الاشعاع الكهرومغناطيسي :

كما أشرنا في المحاضرة الأولى فإن أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد هو وجود مصدر طاقة يضئ الأهداف (في حالة أن الطاقة لا تنبعث من الأهداف ذاتها). وتكون هذه الطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وللإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص أساسية و يتصرف بطريقة محددة طبقا **لقوانين نظرية الموجات** ، يتكون الاشعاع الكهرومغناطيسي من مجال كهربائي Electrical Field (E) والذي يتغير في القيمة في اتجاه عمودي علي اتجاه سريان الاشعاع و مجال مغناطيسي Magnetic Field (M) يتعامد علي المجال الكهربائي (ومن هنا جاء مصطلح الكهرومغناطيسي). و كلا المجالين الكهربائي و المغناطيسي يسيران بسرعة الضوء speed of light وتأخذ الرمز c .



الاشعاع الكهرومغناطيسي

وهناك خاصيتين أساسيتين للإشعاع الكهرومغناطيسي لهما أهمية خاصة في فهم عملية الاستشعار عن بعد ، وهما خاصيتي: طول الموجة و التردد.

طول الموجة wavelength هو طول دورة كاملة ، ويمكن قياسها كمسافة بين قمتين متتاليتين، وعادة ما يرمز لها بالحرف اللاتيني (λ لامدا). ويقاس طول الموجة بوحدات المتر (m) أو أجزاء منه ، مثل النانو متر(nm) الذي يساوي جزء من بليون

التـردد frequency فهـو عـدد موجـات الموجـة فـي فتـرة زمنيـة محـددة. ويقـاس التـردد بوحـدات الهرتز hertz (Hz) وهو موجـة واحـدة فـي الثانيـة ، ومضـاعفات الهرتـز . والعلاقـة بـين طـول الموجة و التردد تعبر عنها المعادلة التالية:

$$c = \lambda v$$

حيث :

c : سرعة الضوء = $3 * 10^8$ م /ثا .

λ : طول الموجة بالمتر .

v : التردد بالهرتز أي عدد الموجات /ثا .

ومن هذه المعادلة يمكننا أن نقول أن طول الموجة و التردد لهما علاقة عكسية ، فكلما قصر طول الموجة أرتفع التردد وكلما زاد طول الموجة انخفض التردد. وتجدر الاشارة الي أن فهم خصائص الاشعاع المغناطيسي هام للغاية لفهم المعلومات التي يمكن الحصول عليها من عملية الاستشعار عن بعد.

أما النظرية الجزيئية فتفترض أن الإشعاع الكهرومغناطيسي عبارة عن جزيئات أو وحدات طاقة تعرف باسم فوتون لها كتلة تساوي صفر . و الطاقة التي ينتجها كل فوتون يعتمد على مصدر الاشعاع الكهرومغناطيسي .

<u>طاقة الفوتون Q</u> تساوي :

$$Q = h.v$$

Q : طاقة الفوتون أو طاقة الإشعاع بالجول .

$$Q = h.v$$
$$Q = h.C/\lambda$$

حيث :

h : ثابت بلانك ويساوي 6.63×10^{-34} Js

<u>قوانين الاشعاع</u>

الاشعاع هو احد الانماط الرئيسة لانتقال الطاقة حيث أن كل الأجسام عند درجة حرارة فوق الصفر المطلق (0 K أو 273 C° –) تشع طاقة كطيف كهرومغناطيسي Electromagnetic radiation (EMR) ، و تتبع الطاقة الكلية المنبعثة من جسم مشع **قانون ستيفان بولتزمان** ، و تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة T لسطح الجسم المشع و هو يصف الطاقة الكلية المنبعثة من وحدة المساحة بوحدة $w.m^{-2}$. و هذا ما يعطى بالعلاقة التالية :

$$\mathbf{M = \sigma T^4}$$

حيث σ : ثابت يساوي 5.67×10^{-8} $w.m^{-2}.k^{-4}$ ، T هي درجة الحرارة المطلقة .

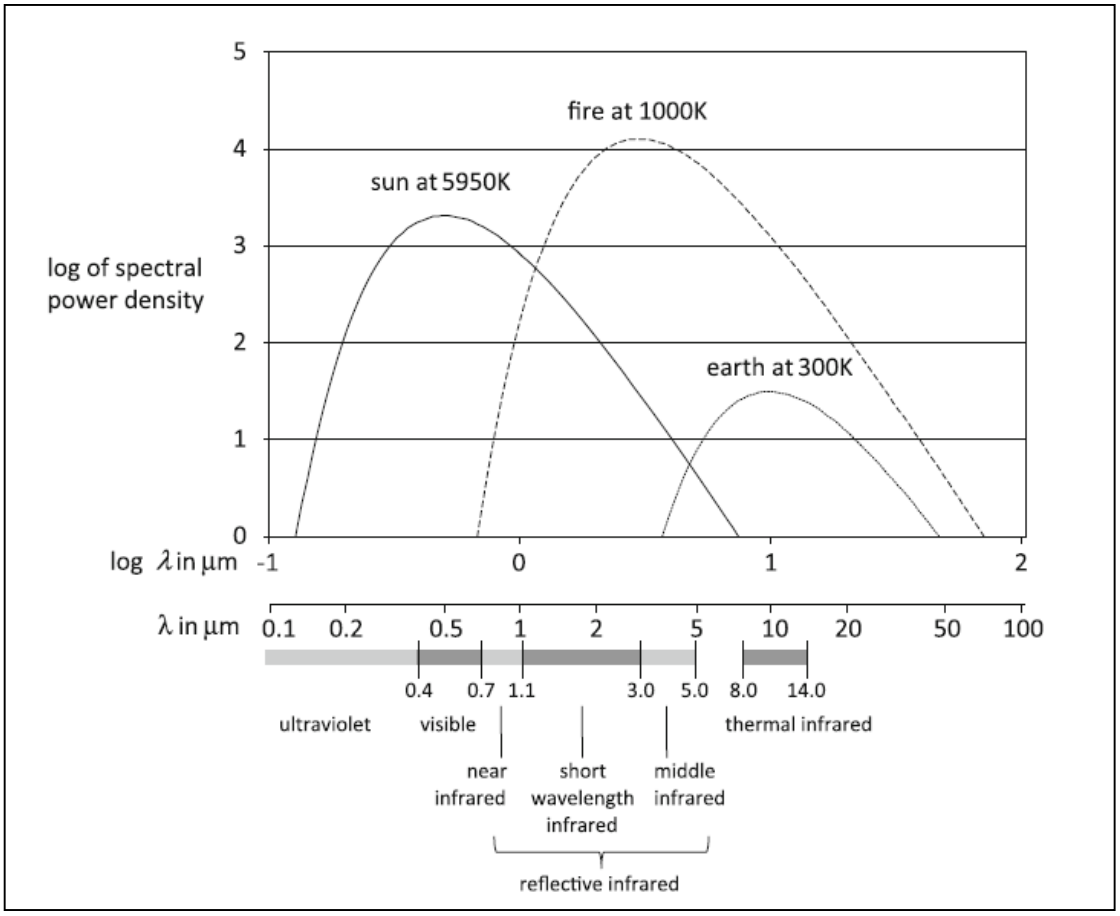
وتحدد درجة الحرارة المطلقة T توزع الطول الموجي للطاقة المنبعثة إذ يتناسب الطول الموجي ذو شدة الإشعاع القصوى λ_{max} عكسا مع درجة الحرارة المطلقة تبعا لقانون فين **Vien** :

$$\mathbf{\lambda_{max} = 2898/T}$$

حيث : T هي درجة الحرارة المطلقة بالكالفن و λ_{max} هو طول الموجة بالميكرومتر .

كما يعطي **قانون بلانك** التوزع الفعلي لشدة الإشعاع كتابع للطول الموجي و درجة الحرارة المطلقة .

الشكل التالي يصف العلاقة بين طاقة الإشعاع و طول الموجة لكل من إشعاع الشمس و الأرض و الحرائق ، كما يصف الحدود بين مجالات الطيف الكهرومغناطيسي المختلفة المستخدمة في الاستشعار عن بعد .



العلاقة بين الطاقة النسبية للإشعاع و طول الموجة ، الحدود بين مجالات الإشعاع المختلفة المستخدمة في الاستشعار عن بعد

نجد أن طول موجة الإشعاع الذي يحمل أكبر قدر من الطاقة ينقص كلما زادت درجة حرارة الجسم المشع ، كما هو الحال في **الإشعاع الشمسي "درجة حرارة سطح الشمس 5950k"** حيث يبلغ الطول الموجي الذي يحمل القدر الأعظم من الطاقة حوالي 0.5 ميكرومتر **" يقع تقريبا في منتصف الطيف المرئي"** ، أما الطول الموجي **للإشعاع الأرضي "درجة حرارة سطح الأرض 300k"** الذي يحمل القدر الأعظم من الطاقة فيبلغ حوالي 9.8 ميكرومتر **"يقع تقريبا ضمن مجال الأشعة تحت الحمراء الحرارية"** .

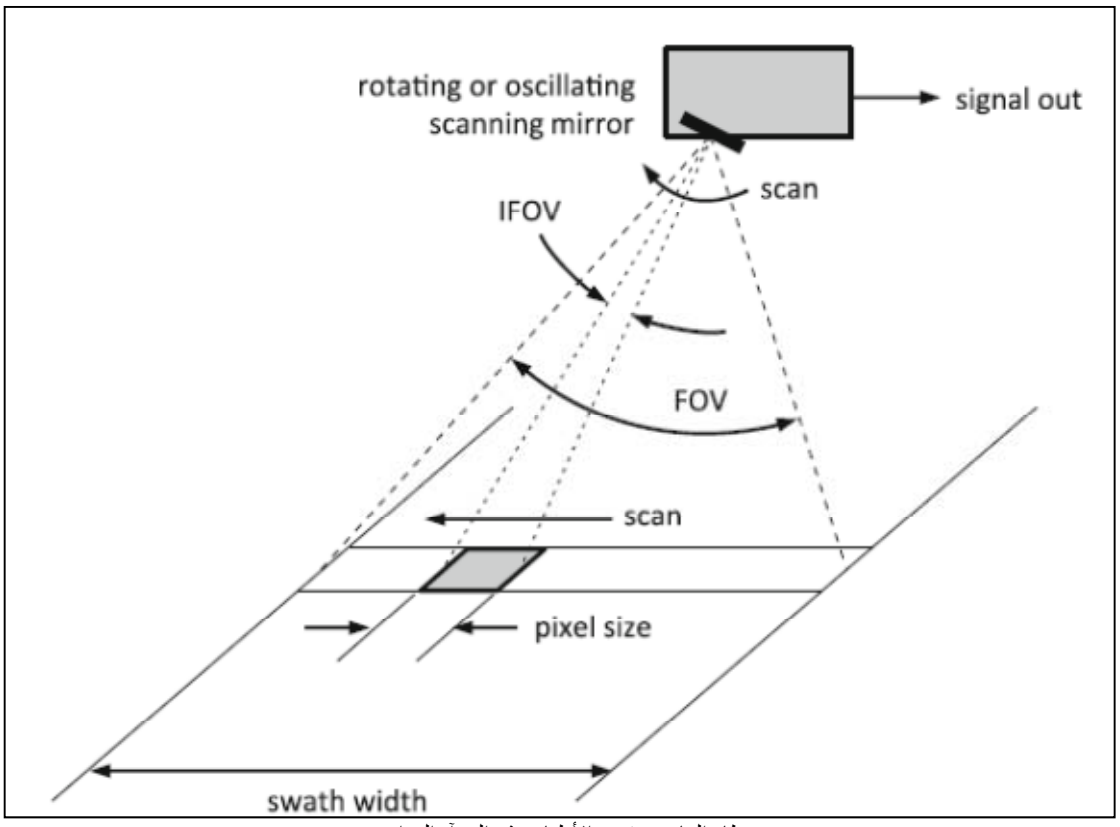
أجهزة الاستشعار

هنالك نوعان أساسيان من الأجهزة التي تستشعر الأشعة الكهرومغناطيسية و تقوم بتسجيلها : أولها آلات التصوير الضوئي الفوتوغرافي التي تسجل الأشعة المنعكسة من الهدف على فيلم بعد مرورها من خلال عدسة التصوير . هذه الأجهزة تستطيع فقط أن تسجل حزمة الطيف المرئي و القريب من المرئي (الأشعة تحت الحمراء) . و هنالك أجهزة التصوير الرقمية أو الإلكترونية التي تتميز بحساسيتها الطيفية العريضة و التي تحَّول الأشعة التي تصلها إلى إشارات كهربائية ثم إلى أعداد رقمية تسجل على شريط ممغنط و تسمى الصورة الرقمية و التي يمكن أيضا أن تحول إلى صورة مرئية . إن النوع الأخير من أجهزة الاستشعار هو الذي ينتج لنا الصور الرقمية التي نحن بصدد دراستها و لذلك سنتحدث عنه بتفصيل أكثر . هنالك العديد من أنواع اجهزة الاستشعار الإلكتروني أو التصوير الرقمي نقدم فيما يلي نبذة قصيرة عن نوعين من أكثرها استعمالا .

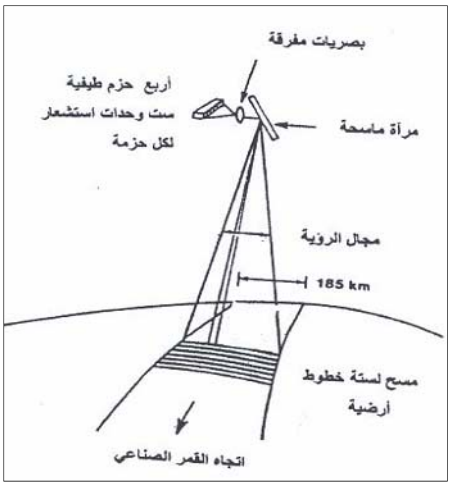
1- نظام الماسح متعدد الأطياف ذو المرآة الدوارة

يتكون هذا النظام من وحدات استشعار ، تستطيع كل منها أن تتحسس عددا من الحزم الطيفية ، و مرآة دوارة تدور حول محور لها يصنع زاوية نصف قائمة مع الهدف ، و عندما تدور هذه المرآة تمسح سطح الأرض في اتجاه متعامد مع اتجاه حركة الحامل (طائرة أو قمر صناعي) ، فتستقبل المرآة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض و تعكسها بدورها إلى وحدات الاستشعار .

إن مثل هذه النظم هي التي تستخدم على الأقمار الصناعية الأمريكية المعروفة باسم لاندسات (Landsat) و من هذه النظم جهاز الماسح متعدد الأطياف (MSS, Scanner Spectral Multi) و هو الذي يكون فيه عدد الحزم الطيفية التي يتحسسها كل جهاز استشعار أربعة حزم ، و جهاز ماسح الخرائط الموضوعي (TM, Mapper Thematic) و هو الذي يكون عدد الحزم المستشعرة بواسطة كل جهاز استشعار سبعة حزم . إن هذه التقنية سهلة الاستيعاب و مباشرة في أسلوب عملها و حملها للبيانات و لكن من سلبياتها أن المرآة الدوارة تتحرك باستمرار أثناء جمع البيانات مما يجعلها عرضة للتلف و العطب كما تؤثر الحركة نفسها على هندسة الصورة الناتجة .



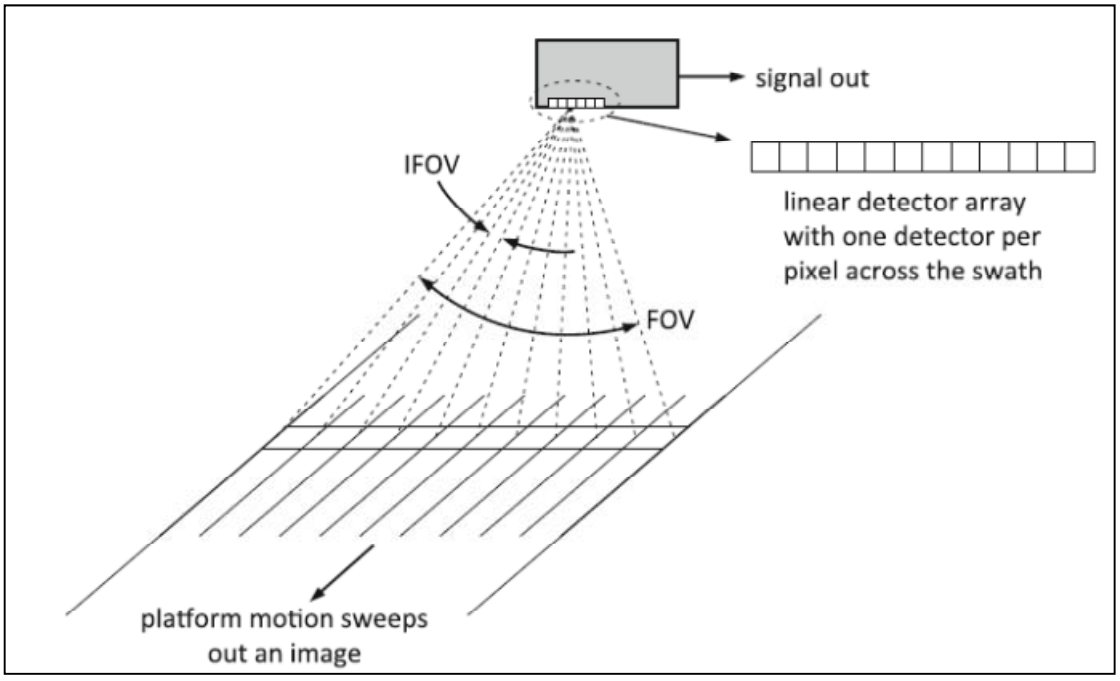
نظام الماسح متعدد الأطياف ذو المرآة الدوارة



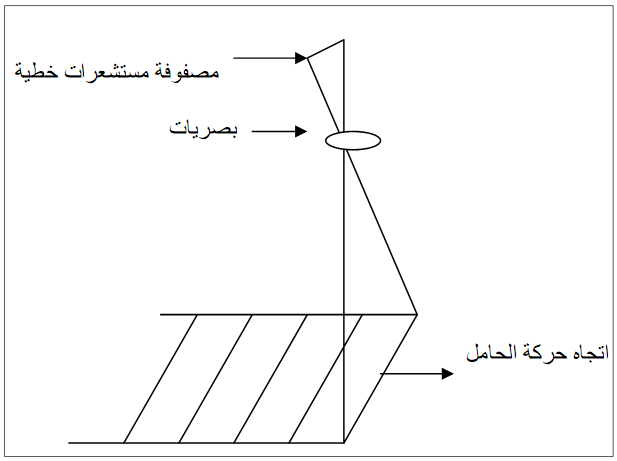
نمط مسح الأرض بنظام الماسح متعدد الأطياف

2- نظام الماسح لتمشيطي Push Broom Scanner

و من نظم الاستشعار الإلكتروني ما يقوم بمسح سطح الأرض بطريقة التمشيط (broom push) و يستعمل أجهزة التقاط و تحسس خاصة تسمى أجهزة التخزين المقترنة الشحن . (devices coupled charge CCD) , فهذه النظم تعمل من حيث المبدأ مثل آلة التصوير الضوئية العادية ، لكن يستبدل فيها الفيلم الحساس بصف من أجهزة الاستشعار الصغيرة جدا و المرصوصة على خط مستقيم ، و يبلغ عددها أحيانا ستة آلاف متحسس مرصوصة في خط لا يزيد طوله على عشرة سنتمترات . إن هذه المتحسسات الصغيرة تقوم مقام الحبيبات الكيمائية الموجودة في الفيلم بتحسس الأشعة الكهرومغناطيسية و تحويلها إلى تيار كهربائي ثم يتم تسجيلها رقميا كما في نظام المرآة الدوارة . و كل خط من خطوط الصورة الرقمية يتكون بقياس الإشعاع الذي يصل إلى المستشعرات الخطية من الهدف عن طريق العدسة . و يسمى مثل هذا الجهاز ماسح المصفوفة الخطية متعددة الأطياف (Linear Array Multi Spectral Scanner) ، ذلك لأن أي من هذه الخطوط من المستشعرات يمكن أن تتحسس شريحة طيفية معينة ، و ذلك يعني أننا نحصل على عدد من الصور الرقمية بقدر عدد الحزم الطيفية التي يتم تحسسها . و من الواضح أن هذا النظام يختلف من سابقه من حيث أنه لا يحمل أي جزء متحرك كمرآة المسح الدوارة . يستخدم مثل هذا النظام في القمر الصناعي الفرنسي سبوت (SPOT) ، و يحتاج تصنيعه إلى تقنية متطورة و معقدة .



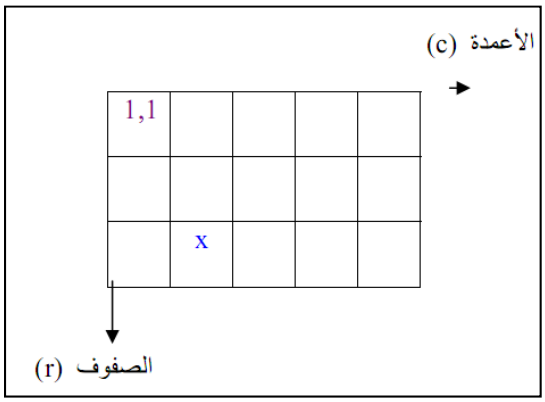
نظام الماسح لتمشيطي



نمط مسح الأرض بنظام الماسح التمشيطي Structure of digital image

بنية الصورة الرقمية

تتكون الصورة الرقمية من عدد من المربعات الصغيرة المتراصة إلى جانب بعضها البعض مشكلة مصفوفة مكونة من أعمدة (c) و صفوف (r) و كل مربع من هذه المربعات يمثل ما يعرف بعنصر أو وحدة الصورة (pixel) هذه الوحدات الصغيرة المرصوصة بهذا النمط تمثل مكانياً مساحات أرضية صغيرة لأهداف على سطح الأرض ، يطلق عليها خليات أو عناصر أو وحدات أرضية (ground pixels) . و بالتالي فإن الصورة الرقمية تتكون من عدد r من الصفوف العرضية بدءا من يسار الصورة إلى يمينها ، و عدد من الأعمدة c بدءا من أعلى الصورة إلى أسفلها . و بناءا على هذا الترتيب تكون نقطة الأصل لنظام الإحداثيات في الصورة الرقمية هي وحدة (عنصر) الصورة التي تقع في أقصى يسار الصورة و في الصف الأعلى و تكون احداثياتها (1,1) و احداثيات الوحدة x في الشكل التالي هي (2,3) أو وحدة الصورة الثانية في الصف الثالث .



بنية الصورة الرقمية

و بما أن الصورة الرقمية لحزمة طيفية واحدة يمكن أن تحتوي على آلاف الصفوف و آلاف الأعمدة فإن عدد وحدات الصورة يمكن أن يصل إلى الملايين . كل مربع صغير من المصفوفة التي تشكل الصورة الرقمية يحتوي على معلومة مهمة تشكل البعد الثالث للصورة الرقمية ، هذه المعلومة هي العدد الرقمي (DN, number digital) الذي يمثل كمية الأشعة التي استقبلها جهاز التحسس من خلية الهدف الأرضي المقابل . و إذا كان جهاز الاستشعار يستخدم مستشعرات لحزم طيف متعددة فإن كل وحدة صورة (c,r) تحمل عددًا من الأعداد الرقمية (DNs) يساوي عدد الحزم الطيفية (b) و يمكن أن نعبر عن ذلك رياضياً بالمعادلة التالية :

$$DN = E (b, r, c)$$

حيث E هي الدالة التي تعبر عن العدد الرقمي لوحدة الصورة ذات الإحداثيات r و c في الحزمة b .

الأعداد الرقمية Digital Numbers (DN)

يمثل العدد الرقمي في الصورة الرقمية شدة الأشعة المنعكسة من الهدف الأرضي . و عادة ما تبدأ هذه الأعداد الرقمية بالرقم 0 الذي يمثل عدم وصول أشعة إلى جهاز الاستشعار و بالتالي لوناً أسوداً في الصورة إذا حولت إلى صورة مرئية ، و تتدرج الأعداد بعد ذلك بزيادة الأشعة الواصلة للمتحسس ، فكلما زادت شدة الأشعة الواصلة للجهاز كلما زاد العدد الرقمي و أصبحت وحدة الصورة أو عنصر الصورة أكثر نصاعة حتى نصل إلى العدد الرقمي 255 (في الصور ذات التمييز الراديو متري 8 بيت) الذي يمثل وحدة صورة بيضاء .

الدقة التمييزية المكانية Spatial Resolution

إن العدد الرقمي الذي يسجله جهاز التحسس نتيجة استقباله للأشعة المنعكسة من عنصر أو خلية أرضية هو محصلة كامل الأشعة التي انعكست من ذلك العنصر الأرضي ، **و المساحة الأرضية التي تمثل هذا العنصر الأرضي و التي تظهر في الصورة الرقمية كوحدة صغيرة (pixel) يطلق عليها الوضوح المكاني للصورة ، و كلما كانت مساحة العنصر الأرضي الذي تمثله وحدة الصورة صغيرًا فإن ذلك يشير إلى زيادة الوضوح المكاني للصورة .** ذلك يعني أن الصورة الرقمية التي وضوحها المكاني 79 (وهو ضلع العنصر الأرضي الذي مساحته 79 x 79 م) كما هو بالنسبة للمستشعر الماسح متعدد الطيف MSS تعتبر أقل وضوحا من الصورة التي وضوحها المكاني 30 م (مساحة أرضية 30 x 30 م) كما هو بالنسبة لصورة الماسح الموضوعي TM و كلاهما أقل وضوحا من صورة اللاقط الضوئي على القمر الفرنسي سبوت spot التي وضوحها المكاني 10 x 10 م كما ظهرت مستشعرات على أقمارصناعية تعطي وضوح مكاني أعلى من 2 x 2 م كما هو الحال بالنسبة للقمر الصناعي إيكونوس IKONOS . و القمر الصناعي (الطائر السريع) Quick Bird .

صورة من القمر الصناعي الطائر السريع Quick Bird للملعب الأولمبي بأثينا (الدقة التمييزية المكانية للصورة 0.6 متر).

صورة القمر الصناعي سبوت SPOT لمدينة بغداد (الدقة التمييزية المكانية 10 متر) .

الدقة التمييزية الطيفية Spectral Resolution

تعبر الدقة التمييزية الطيفية عن **عرض الحزمة الطيفية** الذي يمكن أن يسجله المستشعر ، فإذا كان المدى كبير أو الحزمة عريضة فيقال عليه التمييز الطيفي الخشن (coarse spectral resolution) أما إذا كانت الحزمة التي يمكن تحسسها ضيقة فيوصف التمييز بأنه تمييز طيفي ناعم (fine) .

كما تعبر دقة التمييز الطيفية عن **عدد النطاقات الطيفية** التي يمكن للمستشعر ان يسجلها ، المستشعرات التي تسجل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الهدف في عدة نطاقات طيفية يطلق عليها مستشعرات متعددة الوضوح الطيفي "multi-spectral sensors". أما المستشعرات التي تستطيع تحسس مئات من النطاقات الطيفية الضيقة أو الدقيقة في الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة فيطلق عليها اسم المستشعرات عالية الوضوح الطيفي "hyperspectral sensors" ومن ثم فأن درجة وضوحها الطيفية العالية تسهل من التمييز بين الأهداف المختلفة اعتمادا علي الاستجابة الطيفية لكل هدف في كل نطاق طيفي ضيق .

الدقة التمييزية الإشعاعية Radiometric Resolution

تعني الدقة التمييزية الإشعاعية عدد ملفات البيانات الرقمية في كل حزمة طيفية ، و يشار إليها بعدد البت (number of bits) التي تقسم إليها الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة بواسطة جهاز التحسس. تعد الدقة التمييزية الإشعاعية (أو الدقة الراديومترية) مقياسا لحساسية المستشعر لكشف الاختلافات التي تحدث في قوة الإشارة الكهرومغناطيسية أثناء تسجيلها للأشعة المنعكسة من سطح الأرض ، و كمثال لذلك فإن في بيانات البت 8 (8- bit data) تتراوح قيم بيانات الملف من 0 إلى 255 لكل وحدة صورة ، و في بيانات البت 7(7- bit data) فإن قيم بيانات الملف لكل وحدة صورة تتدرج من 0 إلى 127 . و كلما زادت قيم بيانات ملف الصورة كلما كانت أكثر وضوحا . و يوضح الجدول التالي بيانات البت 6 و 7 و 8 و مدى الأعداد الرقمية لكل منها .

قيم بيانات الملفات الرقمية

مقياس البت (bit scale)	مدى الأعداد الرقمية (DN)	عدد قيم شدة الأشعة
6 (2^6)	0 - 63	64
7 (2^7)	0 - 127	128
8 (2^8)	0 - 255	256

مفهوم الدقة التمييزية الإشعاعية للمرئيات الفضائية

الدقة التمييزية الزمانية Temporal Resolution

الدقة الزمانية هي عدد المرات التي يستطيع المستشعر تصوير ذات المنطقة في فترة زمنية محددة . على سبيل المثال فإن المستشعر الذي يحمله القمر الصناعي الأمريكي لاندسات يستطيع أن يصور منطقة معينة على سطح الأرض كل 16 يوم ، في حين أن القمر الصناعي الفرنسي سبوت يزور نفس المنطقة كل 26 يوم . و هذا

المؤشر له أهميته في عمليات دراسة مراقبة التغير الذي يحدث على سطح الأرض . و عليه كلما قلت الفترة الزمنية التي تفصل بين كل زيارة يقوم بها القمر الصناعي لمنطقة معينة على سطح الأرض و الزيارة التي تليها كلما زاد عدد المرات التي يصور فيها المستشعر المحمول على هذا القمر خلال الفترة الزمنية المحددة ، و تكون بالتالي دقته التمييزية الزمانية أعلى من ذلك الذي يزور المنطقة نفسها عدد مرات أقل في نفس الفترة الزمنية المحددة .

الاستشعار من علي الأرض و من الجو و من الفضاء

لكي يمكن للمستشعر أن يجمع و يسجل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الهدف أو السطح المطلوب فيجب أن يكون موضوعا في منصة platform لا تلامس هذا الهدف أو هذا السطح . وتتعدد المنصات المستخدمة في الاستشعار عن بعد بحيث يمكن أن تكون موضوعة علي الأرض أو في الجو أي داخل الغلاف الجوي (طائرة أو بالون) أو في الفضاء أي خارج الغلاف الجوي (قمر صناعي أو مكوك الفضاء) .

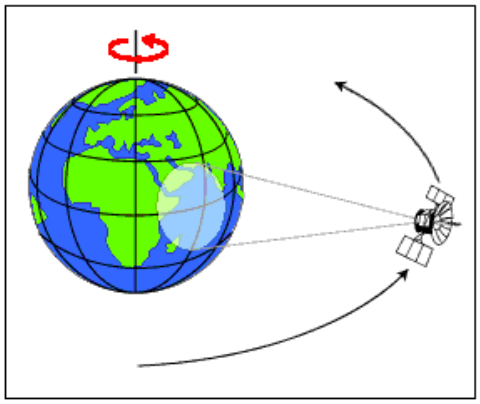
تستخدم المستشعرات الأرضية ground-based sensors في تسجيل معلومات تفصيلية عن السطح بالمقارنة بالمستشعرات الجوية أو الفضائية . وفي بعض الأحيان فأن **هذا يستخدم بغرض التعرف التفصيلي علي خصائص الأهداف التي تم تحسسها بمستشعرات أخرى حتى نستطيع أن نفهم و نحلل جيدا معلومات المرئيات .**

أما المستشعرات الجوية فغالبا ما تكون موضوعة في طائرات ذات أجنحة متزنة مع أن طائرات الهليكوبتر تستخدم أحيانا . **ويتم استخدام الطائرات في تجميع و تسجيل معلومات تفصيلية .**

عادة فأن الاستشعار عن بعد من الفضاء يتم باستخدام المستشعرات المحمولة على الأقمار الصناعية وأيضا في مكوك الفضاء وتتعدد أنواع الأقمار الصناعية بصفة عامة لتشمل /أقمار الملاحة ، أقمار الاتصالات ، أقمار دراسة الأرض وهي المجموعة التي تشمل أقمار الاستشعار عن بعد . وبسبب مدارها حول الأرض فأن الاقمار الصناعية تتيح لنا تغطية متكررة للأرض وبصورة مستمرة .

خصائص الاقمار الصناعية

لكل قمر صناعي مدار orbit يناسب الهدف من المستشعر الذي يحمله القمر الصناعي ، وتختلف المدارات طبقا للارتفاع altitude (ارتفاع المدار عن سطح الارض) و التوجيه orientation و الدوران rotation بالنسبة للأرض . **فالأقمار الصناعية الموضوعة علي ارتفاعات عالية جدا بحيث انها ترى نفس المنطقة من الارض في كل الاوقات يكون لها ما يسمي بالمدارات الثابتة مع الارض geostationary orbits . وهذه الاقمار الثابتة مع الارض تكون علي ارتفاعات تقريبا ٣٦٠٠٠ كيلومتر و تدور بنفس سرعة الارض بحيث انها تكون كما لو كانت " ثابتة " بالنسبة لسطح الارض .** ومن ثم فان هذه المدارات تسمح للأقمار الصناعية بتجميع معلومات مستمرة عن منطقة محددة من الارض ، وتعد اقمار الاتصالات و اقمار المناخ من نوعية الاقمار الصناعية التي لها مدارات ثابتة.

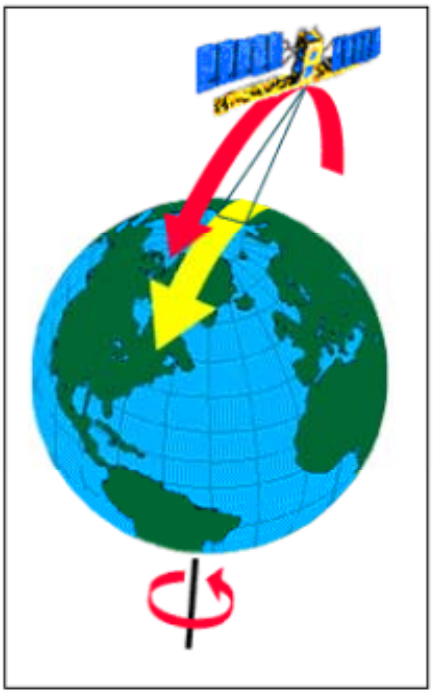


المدارات الثابتة للأقمار الصناعية

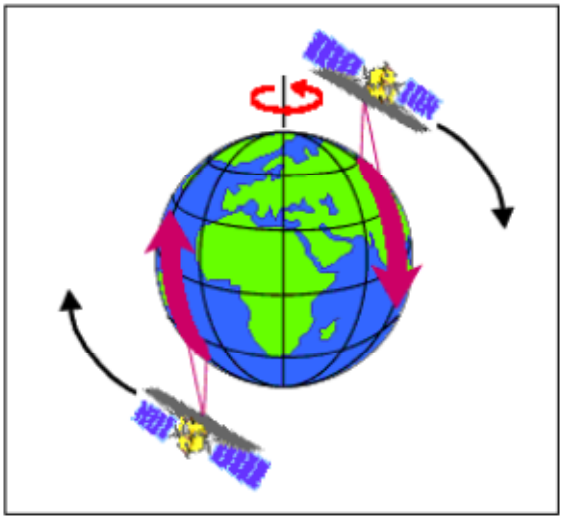
توجد عدة منصات للاستشعار عن بعد مصممة لتدور في مدار(غالبا من الشمال الي الجنوب) بحيث أنها ومع دوران الأرض تتيح تغطية معظم سطح الأرض في فترة زمنية معينة . وهذه المدارات تسمي بالمدارات شبه القطبية near-polar orbits وجاء هذا المصطلح بسبب ان المدار يميل علي الخط الواصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي للأرض . **كما ان كثير من هذه المدارات تكون ايضا متزامنة مع الشمس sun-synchronous بحيث انها تغطي كل منطقة من العالم في وقت محلي ثابت constant local time وهو ما يطلق عليه اسم الوقت الشمسي المحلي . ففي اي دائرة**

عرض latitude فان موقع الشمس في السماء عندما يمر القمر الصناعي فوقه سيكون واحدا في نفس الفصل المناخي . وهذا يضمن ظروف اضاءة متناسقة عند الحصول علي المرئيات في فصل مناخي محدد علي سنوات متتالية . وهذا الأمر هام جدا لمتابعة التغيرات change detection بين مرئيات متعاقبة زمنيا وأيضا لدمج (عمل موزاييك) لعدة مرئيات معا حيث أنهم في هذه الحالة لن يحتاجوا لتصحيح ظروف اضاءة مختلفة .

ان معظم الاقمار الصناعية للاستشعار عن بعد اليوم تكون من ذات المدارات شبه القطبية ، اي ان القمر يسير باتجاه القطب الشمالي في احد اوجه الارض ثم يسير باتجاه القطب الجنوبي في النصف من مداره ، وهذا ما يسمي بالمسار الصاعد ascending pass و المسار الهابط descending pass . فإذا كان المدار متزامن مع الشمس ايضا فعادة ما يكون المسار الصاعد في الجانب ذو الظل من الارض بينما يكون المسار الهابط في الجانب المضاء (المواجه للشمس) من الارض . ومن ثم فان المستشعرات التي تقوم بتحسس و تسجيل الطاقة الشمسية الانعكاسية فستسجل الطاقة في المسار الهابط فقط .اما المستشعرات الموجبة التي لها مصدر اضاءة خاص بها او المستشعرات السالبة التي تسجل الاشعاع المنبعث (الحراري) فيمكنها ايضا التحسس في المسار الصاعد.

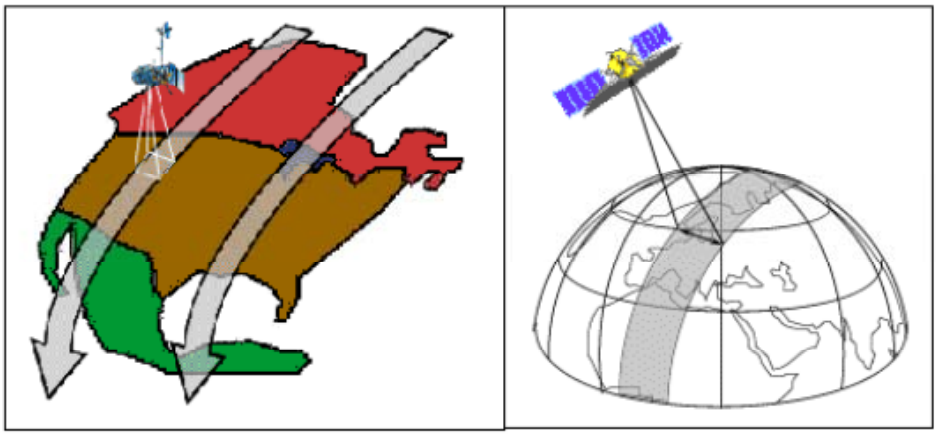


المدارات شبه القطبية للأقمار الصناعية



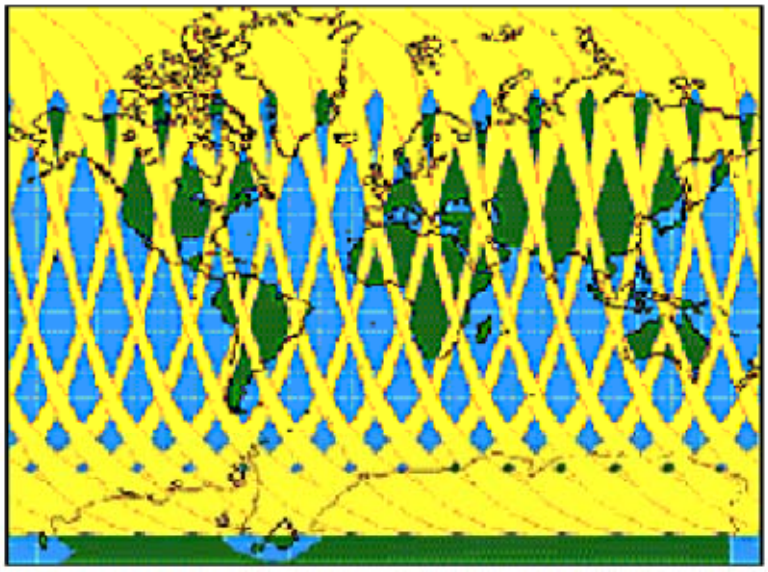
المسار الصاعد و المسار الهابط للأقمار الصناعية للأقمار الصناعية

كلما يدور القمر الصناعي حول الأرض فأن المستشعر" يري " جزءا من سطح الأرض ، وهذه المنطقة هي ما يطلق عليه اسم "صف التحسس swath". وتختلف صفوف التحسس التي يمكن استشعارها من مستشعر الي اخر بحيث يتراوح عرضها ما بين عشرات و مئات من الكيلومترات. وبالطبع فأن حركة دوران الأرض حول نفسها (من الغرب الي الشرق) فأن صف التحسس سيتحرك ناحية الغرب ، مما يجعل القمر الصناعي يمر فوق صف تحسس اخر عند تتابع المسارات . ومن ثم فأن مدار القمر الصناعي و حركة الأرض معا يتيحان التغطية الكاملة لتحسس و استشعار لسطح الأرض من بعد .



صفوف تحسس الأقمار الصناعية

تكتمل دورة كاملة من المدارات orbital cycle عندما يعود القمر الصناعي للمرور مرة ثانية فوق نفس النقطة علي سطح الأرض (تسمي نقطة النديرnadir point). وتختلف الفترة الزمنية لدورة المدارات من قمر صناعي الي اخر، ويطلق علي هذه الدورة اسم "فترة اعادة الزيارة revisit period". أما في حالة استخدام مستشعرات متحركة steerable sensors فأن المستشعر يستطيع رؤية بقعة أرضية خارج نقطة النديرoff-nadir قبل و بعد مسارات المدار ، مما يجعل فترة اعادة الزيارة أقل زمنيا من زمن دورة المدارات . وتعد فترة اعادة الزيارة هامة للغاية في عديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد خاصة عند الحاجة لمرئيات متتالية ، ومنها علي سبيل المثال مراقبة انتشار تسرب بقعة من الزيت أو مراقبة اثار الفيضانات . وفي حالة المدارات شبه القطبية near-polar orbits فأن المناطق مرتفعة دوائر العرض high latitude سيتم تحسسها بتكرار أكبر من المناطق الاستوائية نتيجة التداخل بين المسارات المتجاورة للقمر الصناعي حيث أن المسارات يتكون متقاربة عند القطبين .



دورة مدارات الأقمار الصناعية

أقمار و مستشعرات الأرض

1- أقمار لاندسات:

أطلقت ناسا أول قمر صناعي للاستشعار عن بعد مصمم ومخصص لدراسة و مراقبة سطح الأرض في 23 تموز ١٩٧٢ وهو القمر الصناعي لاندسات Landsat-1 (كان اسمها الأولي هو قمر تقنية موارد الأرض Earth Resources Technology Satellite أو اختصارا ERTS) كقمر تجريبي لدراسة امكانية تجميع بيانات متعددة النطاقات لسطح الأرض من خلال الأقمار الصناعية . ومنذ ذلك الحين فقد تمكن هذا البرنامج الناجح في تجميع كم هائل من البيانات حول العالم باستخدام عدة أقمار صناعية . وفي عام ١٩٨٥ تحول البرنامج الي برنامج تجاري يسمح بتقديم البيانات للمستخدمين المدنيين . وكل أقمار لاندسات موضوعة في مدارات شبه قطبية متزامنة مع الشمس near-polar sun-synchronous orbits وكانت الأقمار الثلاثة الاولي علي ارتفاع ٩٠٠ كيلومتر بينما باقي الأقمار التالية علي ارتفاع ٧٠٠ كيلومتر مما يسمح بفترة اعادة زيارة تبلغ ١٦ يوم .

توجد عدة مستشعرات علي متن أقمار لاندسات وتشمل نظم كاميرات تسمي BRV و نظم ماسحات متعددة الأطياف MSS والماسح الموضوعي Thematic Mapper أو TM و يمسح القمر لاندسات الأرض من الشمال الى الجنوب بسرعة 6.46 كم/ثا . يبلغ عرض صف التحسس Swath 185 كم . كما يبلغ طول الصورة ايضا 185 كم في أقمار لاندسات من 1 الى 5 بينما يبلغ طولها 170 كم في لاندسات 7 . مقدار التداخل الجانبي بين الصور يتراوح بين 14 % عند خط الاستواء ليصل الى 85 % عند خط عرض 81 شمالا و جنوبا .

الجدول التالي الخواص الرئيسة لمنظومة أقمار لاندسات :

التابع	تاريخ الاطلاق	نطاقات RBV	نطاقات MSS	نطاقات TM	المدار
1	1978-1972	1,2,3	4,5,6,7	-	18 يوم / 900 كم ارتفاع
2	1982-1975	1,2,3	4,5,6,7	-	18 يوم / 900 كم ارتفاع
3	1983-1978	1,2,3	4,5,6,7	-	18 يوم / 900 كم ارتفاع
4	1993-1982	-	1,2,3,4	1 الى 7	16 يوم / 705 كم ارتفاع
5	1984	-	1,2,3,4	1 الى 7	16 يوم / 705 كم ارتفاع
7	1999	-	-	ETM+	16 يوم / 705 كم ارتفاع

ملاحظة : تم اطلاق لاندسات 6 في 1993 وفشل بعد فترة قصيرة من اطلاقه .

يقوم الماسح متعدد الأطياف بتحسس الأهداف في أربعة نطاقات طيفية ولكل منهم درجة وضوح مكانية تقريبا 79 متر ودرجة وضوح راديومترية 6 بت (أي 64 رقم) . وبدءا من عام 1992 تم ايقاف العامل بالماسح المتعدد MSS وإحلاله بالماسح الموضوعي TM بدءا من القمر لاندسات ٤ . وقد زاد عدد المتحسسات لكل نطاق فأصبح ١٦ متحسسا (بدلا من ٦ متحسسات فقط في مستشعرات MSS) وباستخدام المرآة المتأرجحة فقد أصبح هناك ١٦ خط تحسس يمكن تجميعهم بالتبادل للنطاقات غير الحرارية (٤ خطوط للنطاق الحراري) . وتحسن الوضوح الهندسي و الراديو متري للبيانات تبلغ درجة الوضوح المكانية للماسح الموضوعي ٣٠ متر (١٢٠ متر لنطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية) ، وتبلغ درجة الوضوح الراديو مترية لكل النطاقات ٨ بت (أي ٢٥٦ رقم) وتستخدم بيانات كلا المستشعرين MSS و TM في عدد كبير من تطبيقات الاستشعار عن بعد والتي تشمل ادارة الموارد و الخرائط و مراقبة البيئة و اكتشاف التغيرات.

نطاقات المستشعر MSS في أقمار لاندسات

القناة		طول الموجة (مايكرومتر)
لاندسات ١، ٢، ٣	لاندسات ٤، ٥	
MSS 4	MSS 1	٠.٥ - ٠.٦ (أخضر)
MSS 5	MSS 2	٠.٦ - ٠.٧ (أحمر)
MSS 6	MSS 3	٠.٧ - ٠.٨ (تحت الحمراء القريبة)
MSS 7	MSS 4	٠.٨ - ١.١ (تحت الحمراء القريبة)

نطاقات المستشعر TM في أقمار لاندسات

القناة	طول الموجة (مايكرومتر)	الاستخدام
TM 1	٠.٤٥ - ٠.٥٢ أزرق	التمييز بين التربة و النباتات، رسم خطوط الشواطئ، تحديد الأهداف العمرانية
TM 2	٠.٥٢ - ٠.٦٠ أخضر	خرائط النبات الأخضر(قمة الانعكاس)، تحديد الأهداف العمرانية
TM 3	٠.٦٣ - ٠.٦٩ أحمر	التمييز بين النباتات و غير النباتات حتي وان كانت خضراء اللون، تحديد الأهداف العمرانية
TM 4	٠.٧٦ - ٠.٩٠ تحت حمراء قريبة	تحديد أنواع و صحة و محتوي النباتات، رطوبة التربة
TM 5	١.٥٥ - ١.٧٥ تحت حمراء قصيرة	رطوبة التربة ورطوبة النبات، التمييز بين المناطق المغطاة بالسحب و المغطاة بالثلوج
TM 6	١٠.٤ - ١٢.٥ تحت حمراء حرارية	رطوبة التربة وعمل الخرائط الحرارية
TM 7	٢.٠٨ - ٢.٣٥ تحت حمراء قصيرة	التمييز بين أنواع الصخور والمعادن، محتوي الرطوبة في التربة

القمر لاندسات 7 يحمل المستشعر +ETM الذي يتحسس الأهداف بثمان نطاقات طيفية حيث يختلف عن المستشعر TM بوجود النطاق البانكروماتي "0.52 – 0.9 ماكرومتر" ، و بقدرة تمييز مكانية 60 متر في النطاق الطيفي الحراري بينما تبلغ في المستشعر TM 120 متر .

يعد لاندسات ـ٨ أحدث أقمار سلسلة لاندسات وتم اطلاقه في ١١ فبراير ٢٠١٣ ، وهو يمسح الأرض كاملة كل ١٦ يوم ، كما تم اضافة مستشعرات جديدة في لاندسات ـ٨ منهم مستشعر مصور الأرض الفعال Operational Land Imager اختصارا (OLI) . و مستشعر الاشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal Infrared Sensor اختصارا (TIRS) :

نطاقات المستشعرات الجديدة في قمر لاندسات ـ٨

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)	الدقة المكانية (متر)
Band 1 ضباب الشواطئ	٠.٤٣ - ٠.٤٥	٣٠
Band 2 الأزرق	٠.٤٥ - ٠.٥١	٣٠
Band 3 الأخضر	٠.٥٣ - ٠.٥٩	٣٠
Band 4 الأحمر	٠.٦٤ - ٠.٦٧	٣٠
Band 5 تحت الحمراء القريبة	٠.٨٥ - ٠.٨٨	٣٠
Band 6 تحت الحمراء القصيرة ١	١.٥٧ - ١.٦٥	٣٠
Band 7 تحت الحمراء القصيرة ٢	٢.١١ - ٢.٢٩	٣٠
Band 8 البانكروماتي	٠.٥٠ - ٠.٦٨	١٥
Band 9 السحاب الرقيق	١.٣٦ - ١.٣٨	٣٠
Band 10 تحت الحمراء الحرارية ١	١٠.٦٠ - ١١.١٩	١٠٠ ثم يعاد معالجتها لتصبح ٣٠
Band 11 تحت الحمراء الحرارية ٢	١١.٥٠ - ١٢.٥١	١٠٠ ثم يعاد معالجتها لتصبح ٣٠

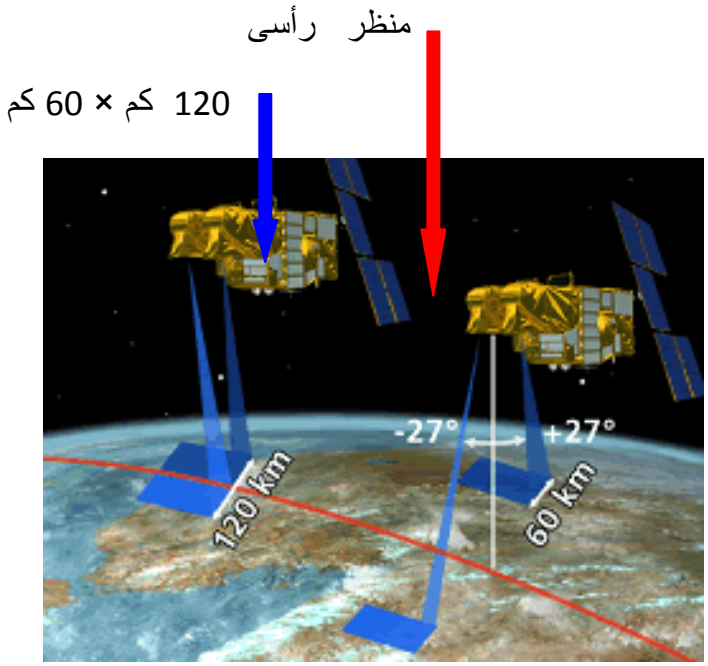
2- أقمار سبوت:

تعد سلسلة أقمار سبوت SPOT (اختصار الاسم الفرنسي (Systeme Pour l'Observation del la Terre من نظم الأقمار الصناعية المخصصة للاستشعار عن بعد والمصممة والمطلقة بواسطة المركز الوطني لنظم الأرض بفرنسا وبدعم من كلا من السويد و بلجيكا . تم اطلاق سبوت - ١ في عام ١٩٨٦ مع احلاله باستمرار بقمر اخر كل ٣ الى ٤ سنوات . وجميع الأقمار في مدارات شبه - قطبية ومتزامنة مع الشمس علي ارتفاع ٨٣٠ كيلومتر من سطح الأرض ، مما يسمح بفترة اعادة الزيارة كل ٢٦ يوم .

لأقمار سبوت 1,2,3 نظامين من نوع النظام المرئي عالي الدقة High Resolution Visible (أو اختصارا HRV) للحصول على المرئيات ، وكلا منهما قادر علي التحسس بطريقة القناة الأحادية (البانكروماتية) وطريقة متعددة النطاقات في ثلاثة قنوات (G,R, NIR). تبلغ دقة النطاق البانكروماتي 10 أمتار ، وتتميز النطاقات الثلاثة متعددة الأطياف (G ، R، NIR) بدقة 20 مترًا . ويبلغ عرض المسار ٦٠ كيلومتر. الجدول التالي يوضح الخصائص الرئيسة للقمر Spot :

التابع	تاريخ الاطلاق	نطاقات HRV	النطاق البانكروماتي	نطاقات اضافية	المدار
1	1990-1986	G, R, NIR	0.51-0.73 µm	-	26 يوم / 832 كم ارتفاع
2	2009-1990	G, R, NIR	0.51-0.73 µm	-	26 يوم / 832 كم ارتفاع
3	1997-1993	G, R, NIR	0.51-0.73 µm	-	26 يوم / 832 كم ارتفاع
4	2013-1998	G, R, NIR-SWIR	0.61-0.68 µm	Vegetation+HRS	26 يوم / 830 كم ارتفاع
5	2015-2002	G, R, NIR	0.51-0.73 µm	Vegetation+HRS	26 يوم / 832 كم ارتفاع
6	2012	B, G, R, NIR	0.45-0.74 µm		26 يوم / 694 كم ارتفاع
7	2014	B, G, R, NIR	0.45-0.74 µm		26 يوم / 694 كم ارتفاع

يوضح الشكل التالي مستشعر النظام المرئي عالي الدقة HRV :



مشهد المستشعر HRV

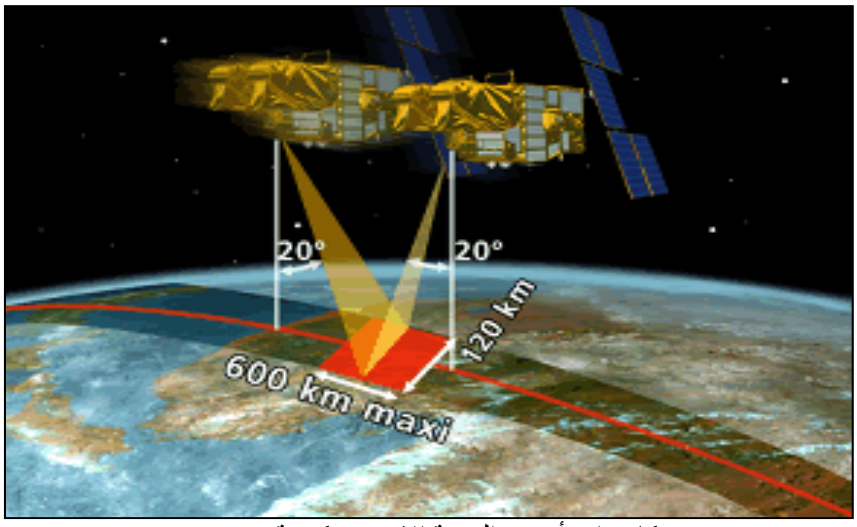
نطاقات المستشعر HRV في أقمار سبوت

النطاق/الطريقة	طول الموجة (مايكرومتر)
الطريقة البانكروماتية PLA	٠.٥١ - ٠.٧٣ (أزرق-أخضر-أحمر)
الطريقة متعددة النطاقات MLA	
Band 1	٠.٥٠ - ٠.٥٩ (أخضر)
Band 2	٠.٦١ - ٠.٦٨ (أحمر)
Band 3	٠.٧٩ - ٠.٨٩ (تحت الحمراء القريبة)

يتميز سبوت 4 عن سبوت 1,2,3 بأن النطاق الأحمر " 0.61- 0.68 ميكرومتر" يستخدم في المستشعر متعدد النطاقات و في النطاق البانكروماتي . بالإضافة لذلك فإن سبوت 4 يقدم خريطة للغطاء النباتي بدقة وضوح مكاني 1 كم و بتغطية كل 24 ساعة . منتج الخريطة النباتية متوفر على شكلين بيانات خام و القرينة النباتية NDVI "قيم يومية وقيم مركب من محصلة 10 أيام" .

يتميز سبوت 5 بعودة النطاق البانكروماتي كما في سبوت 1,2,3 ضمن المجال "0.51-0.73 ميكرومتر" . كما ستتحسن دقة التمييز المكاني في سبوت 5 حيث تصبح 2.5 و 5 متر للنطاق البانكروماتي و 10 متر للمستشعر متعدد النطاقات "أخضر – أحمر – تحت حمراء قريبة" .

كما يتميز سبوت 5 بوجود كاميرات أجهزة الرؤية الاستروسكوبية عالية الايضاح High resolution stereoscopic كاميرا لها مجال رؤية مقداره 8 درجات على مركز مسار القمر وبذا تغطى عرض الصورة 120 كم ، بينما تميل الكاميرا الامامية للخلف بزاوية 20 على منتصف الصورة ، وتميل الكاميرا الخلفية للأمام بزاوية 20 للامام على نفس منتصف الصورة ، وأقصى طول للمنظر الاستروسكوبي هو 600 كم . كما يوضح الشكل التالي :



كاميرات أجهزة الرؤية الاستروسكوبية HRS

تتميز مرئيات سبوت بدرجة الوضوح المكانية الدقيقة ، واستخدام النطاقات الثلاثة في الحصول على المرئيات زائفة الألوان false-color images . كما تستخدم المرئية البانكروماتية في زيادة وضوح sharpness المرئية الملونة . وتستخدم مرئيات سبوت في التطبيقات التي تحتاج لوضوح تفصيلي مثل خرائط النمو العمراني ، وأيضا لتطبيقات التي تحتاج مراقبة متكررة (مثل التطبيقات الزراعية). كما أن مرئيات سبوت الاستريسكوبية تلعب دورا هاما في تطبيقات الخرائط الطبوغرافية وعمل نماذج ارتفاعات رقمية Digital Elevation Model اختصار (DEM) .

حديثا تم اطلاق القمر سبوت -٧ في ٣٠ يونيه ٢٠١٤ ليبعد ١٨٠ درجة في نفس المدار مع القمر سبوت -٦ (الذي تم اطلاقه في ٢٠١٢) ليغطيان معا منطقة تبلغ ستة ملايين كيلومتر مربعا في اليوم بحيث تكون فترة إعادة الزيارة الي يوم واحد .وتبلغ قدرة الوضوح المكانية لكلاهما ٥.١ متر للنطاق البانكروماتي (مناسبة لإنتاج الخرائط بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠) و ٦ أمتار للنطاقات الأربعة المتعددة (الأزرق و الأخضر و الأحمر وتحت الحمراء القريبة) ، و يبلغ عرض المسار ٦٠ كيلومتر عند النديد .

أقمار و مستشعرات الطقس

تعد أقمار مراقبة الطقس واحدة من أوليات الأقمار الصناعية المدنية في الاستشعار عن بعد حيث تم اطلاق أول قمر للطقس (TIROS-1) في عام ١٩٦٠ بواسطة الولايات المتحدة الامريكية . وفي خلال الخمس سنوات التالية تم اطلاق عدد من هذه الأقمار في مدارات شبه قطبية near- polar orbits تقدم تغطية عالمية كاملة لنماذج الطقس . وقدمت وكالة الفضاء الأمريكية (المعروفة اختصارا باسم ناسا NASA) في عام ١٩٦٦ أول مرئية تغطي نصف الكرة الأرضية تبين توزيع السحب كل نصف ساعة . والآن توجد عدة دول تدير نظم أقمار صناعية لمراقبة و متابعة الظروف المناخية حول العالم .**وبصفة عامة فأن هذه الأقمار تستخدم مستشعرات لها دقة وضوح مكانية قليلة أو خشنة (بالمقارنة بأقمار رصد الأرض) وتقدم تغطية مكانية كبيرة .أما درجة وضوحها الزمنية/المؤقتة فتكون عالية حتى يمكنها تقديم أرصاد متكررة لسطح الأرض والرطوبة و غطاء السحب مما يسمح بمراقبة شبة مستمرة للظروف المناخية العالمية ومن ثم امكانية التنبؤ.**

أقمار NOAA - AVHRR

تتبني وكالة الفضاء الأمريكية عدة نظم أخري من الأقمار الصناعية المخصصة للتطبيقات المناخية تسمح بالحصول علي تغطية كاملة للأرض وفي فترات مستمرة لا تتجاوز ٦ ساعات لأي بقعة في العالم .والمستشعر الرئيسي الموجود في هذه الأقمار يسمي الراديومتر المتقدم عالي الدقة جدا
Advanced Very High Resolution Radiometer أو اختصارAVHRR. ويستشعر هذا المستشعر الاشعاع في النطاق المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة والحرارية من خلال مسار يبلغ عرضه ٣٠٠٠ كيلومتر كما في الجدول التالي :

خصائص مرئيات أقمار الطقس NOAA AVHRR

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)	الوضوح المكاني (كم)	الاستخدام
١	٠.٥٨ - ٠.٦٨	١.١	السحب، الغيوم، الثلوج
٢	0.725 - ١.١ الاشعة تحت الحمراء القريبة	١.١	المياه، النباتات، المسح الزراعي
٣	٣.٥٥ - ٣.٩٣ الأشعة تحت الحمراء المتوسطة	١.١	حرارة سطح البحر، البراكين، حرائق الغابات
٤	١٠.٣ - ١١.٣ الاشعة تحت الحمراء الحرارية	١.١	حرارة سطح البحر، رطوبة التربة
٥	١١.٥ - ١٢.٥ الاشعة تحت الحمراء الحرارية	١.١	حرارة سطح البحر، رطوبة التربة

سلسلة أقمار NOAA ابتدأت عام 1970 . NOAA 1,2,3,4,5 تقيس الأشعة المنعكسة بنطاق طيفي واحد عريض "0.4-1.1 ميكرومتر" . NOAA 6 ابتدأ في 1979 بتحسس نطاقات متعددة كما في الجدول التالي . NOAA 15 يتحسس نطاق اضافي في مجال الأشعة تحت الحمراء القصيرة "1.58- 1.64 ميكرومتر" .

ومع أن بيانات AVHRR مستخدمة علي نطاق واسع في نظم التنبؤ و التحليل للطقس ، إلا أنها أيضا مناسبة لتطبيقات أخري تشمل درجات حرارة سطح البحر ومراقبة النبات الطبيعي وظروف نمو المحاصيل . فعملية انشاء موزاييك mosaic من مرئيات هذا القمر الصناعي لتغطي مساحات كبيرة من الأرض تسمح بعمل خرائط و اجراء التحليل صغير المقياس للغطاء النباتي .

المراجع :

- Dawod, Gomaa M., 2015, Fundamentals and applications of remote sensing (in Arabic), Cairo, Egypt.
- Richards, A. J., Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer Heidelberg . New York . 2013.