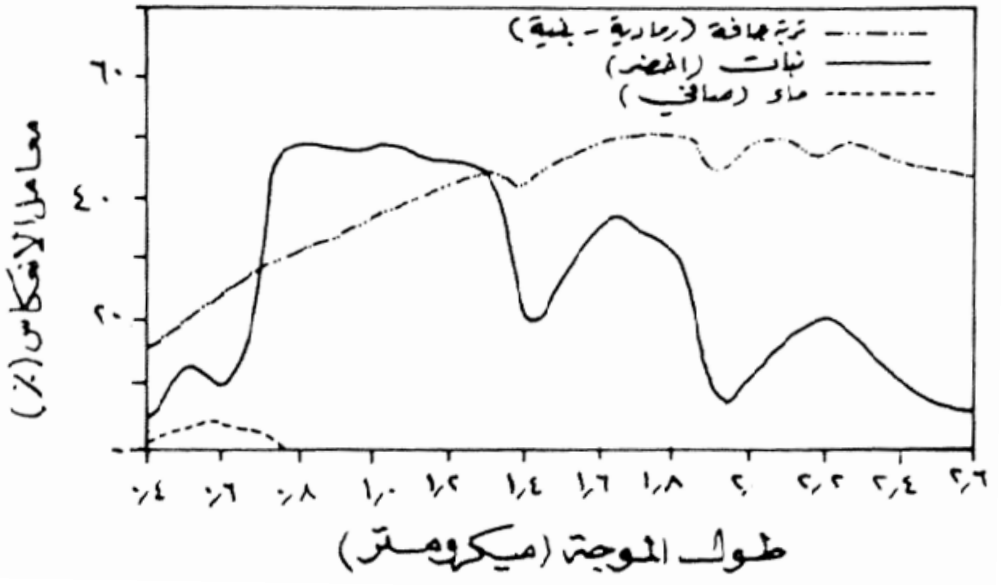
3) تأثير مواد سطح الأرض على الأشعة الكهرومغناطيسية

- يحدث تغيير في طبيعة الأشعة الكهرومغناطيسية بعد ما تصل إلى سطح الأرض حيث أن مواد السطح تعكس جزءا من الأشعة وتمتص جزءا، والباقي ينفذ من خلالها.
- تعتمد نسبة الأشعة المنعكسة أو أشعة الرادار المرتدة (العائدة) واتجاهاتها بالدرجة الرئيسية على عاملين هما:

1) خصائص الظواهر الأرضية وطبيعة موادها.
2) طول موجة الأشعة.

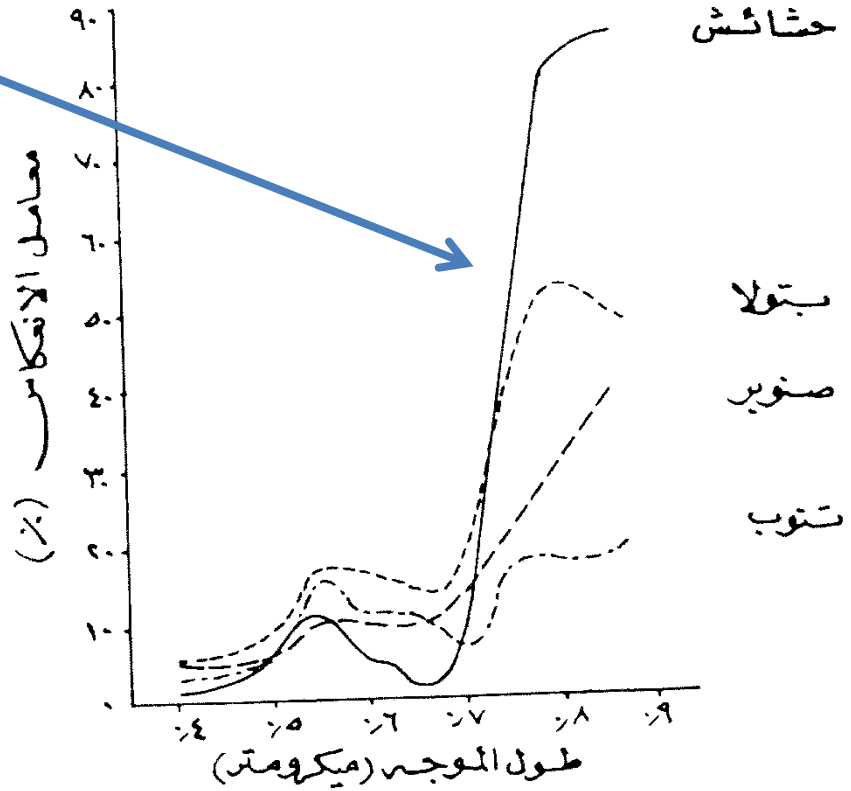
- بسبب اختلاف خصائص الظواهر تختلف كمية الأشعة المنعكسة* منها في الموجات المرئية وتحت الحمراء وتختلف أيضا الأشعة تحت الحمراء الحرارية المنبعثة وأشعة الرادار العائدة.
- ومن ناحية أخرى، تختلف كمية الأشعة المنعكسة في الموجات المرئية وتحت الحمراء للظاهرة نفسها باختلاف طول الموجة.
- اختلاف كميات الأشعة التي يسجلها جهاز الاستشعار عن بُعد للأجسام والمعالم والمناطق الأرضية يجعلها تظهر على الصور بدرجات مختلفة من اللون الرمادي الأمر الذي يمكن من التمييز بين الظواهر المختلفة.
- فكلما انخفضت كمية الأشعة المسجلة للظاهرة كلما كان لونها على الصورة داكنا (قاتما) dark والعكس صحيح.



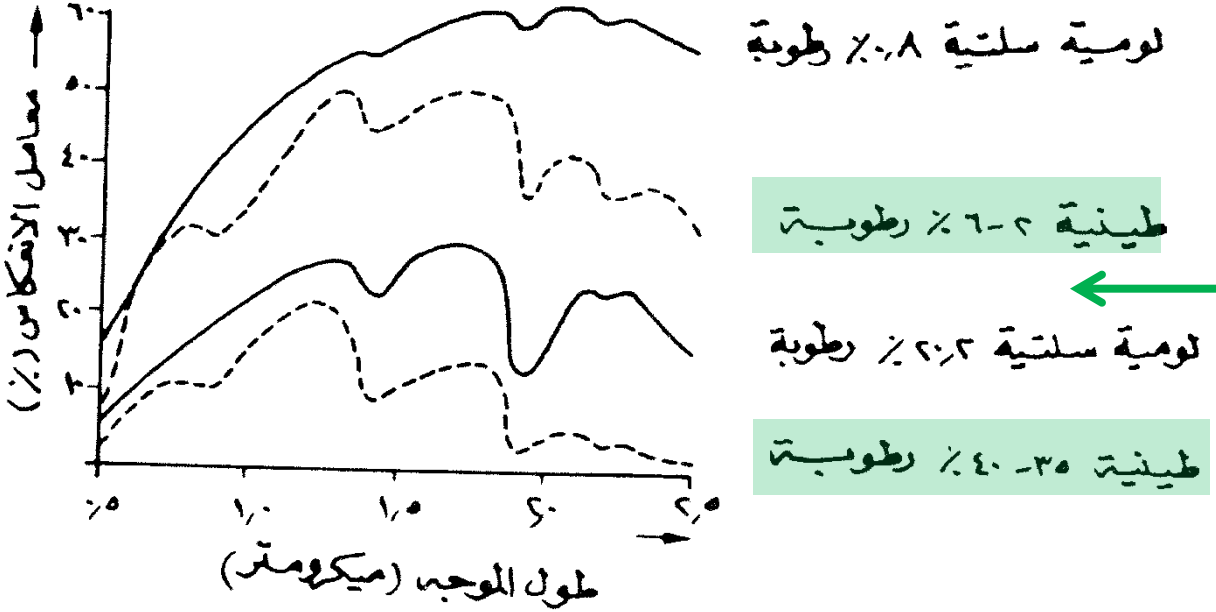
* تسمى نسبة الأشعة المنعكسة من على السطح معامل الانعكاس ويعبر عنها رياضيا كنسبة مئوية (%) بالمعادلة التالية :

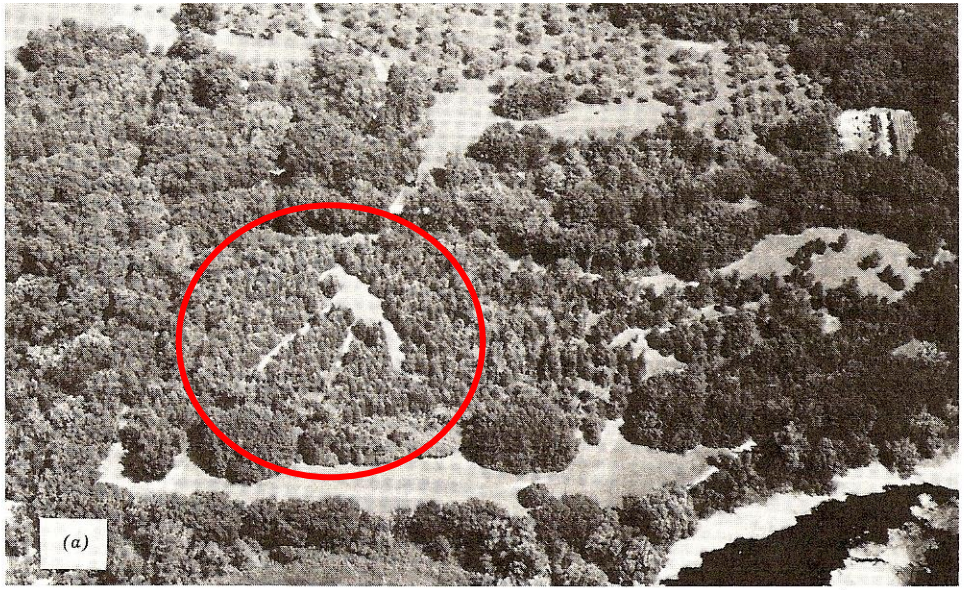
$$\frac{\text{كمية الأشعة المنعكسة لموجة معينة}}{\text{كمية الأشعة الساقطة للموجة نفسها}} \times 100$$

الاختلاف الكبير لمعامل الانعكاس من النباتات في موجات الأشعة تحت الحمراء القريبة يمكن من تمييز الأنواع المختلفة للنباتات على صور الاستشعار عن بعد.



رطوبة التربة تؤثر في كميات الأشعة المنعكسة منها خاصة في موجات الأشعة تحت الحمراء فتوفر المياه في التربة يقلل من انعكاس الاشعاع منها.





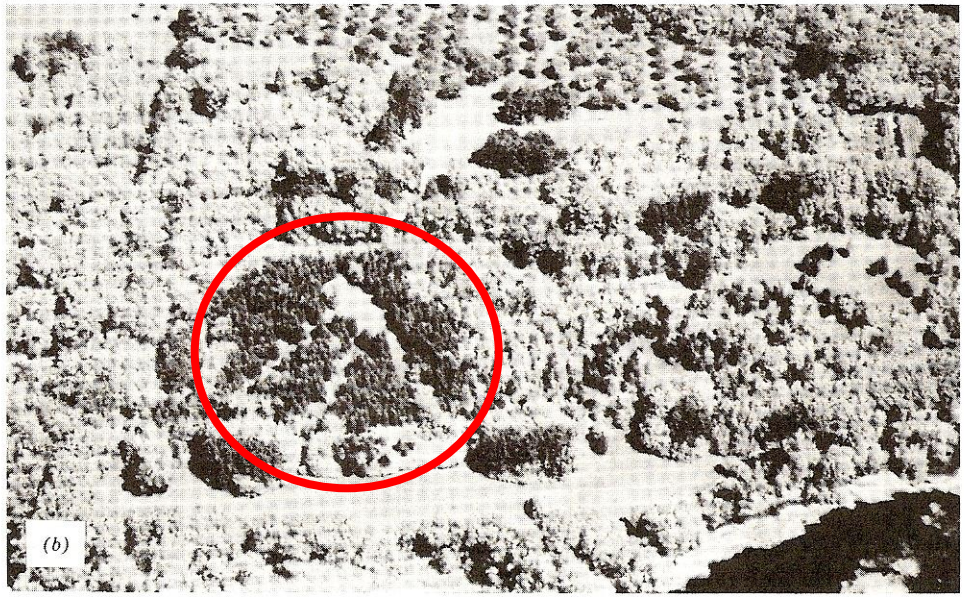


Figure 1.9 Low-altitude oblique aerial photographs illustrating deciduous versus coniferous trees, June 29, 1970. *(a)* Panchromatic photograph recording reflected sunlight over 0.4 to 0.7 μm wavelength band. *(b)* Black and white infrared photograph recording reflected sunlight over 0.7 to 0.9 μm wavelength band.

+ الصورة (a) و الصورة (b) تغطي منطقة واحدة يوجد فيها نوعين من الأشجار هما الأشجار النفضية deciduous مثل القيقب maple والأشجار دائمة الخضرة coniferous مثل الصنوبر pine.

+ وقد استخدم في تصوير الصورة (a) فيلم باللون الأبيض والأسود حساس للأشعة المرئية 0.4 - 0.7 ميكرومتر). أما الصورة (b) فقد استخدم في تصويرها فيلم باللون الأبيض والأسود حساس للأشعة تحت الحمراء القريبة (0.7- 0.9 ميكرومتر).

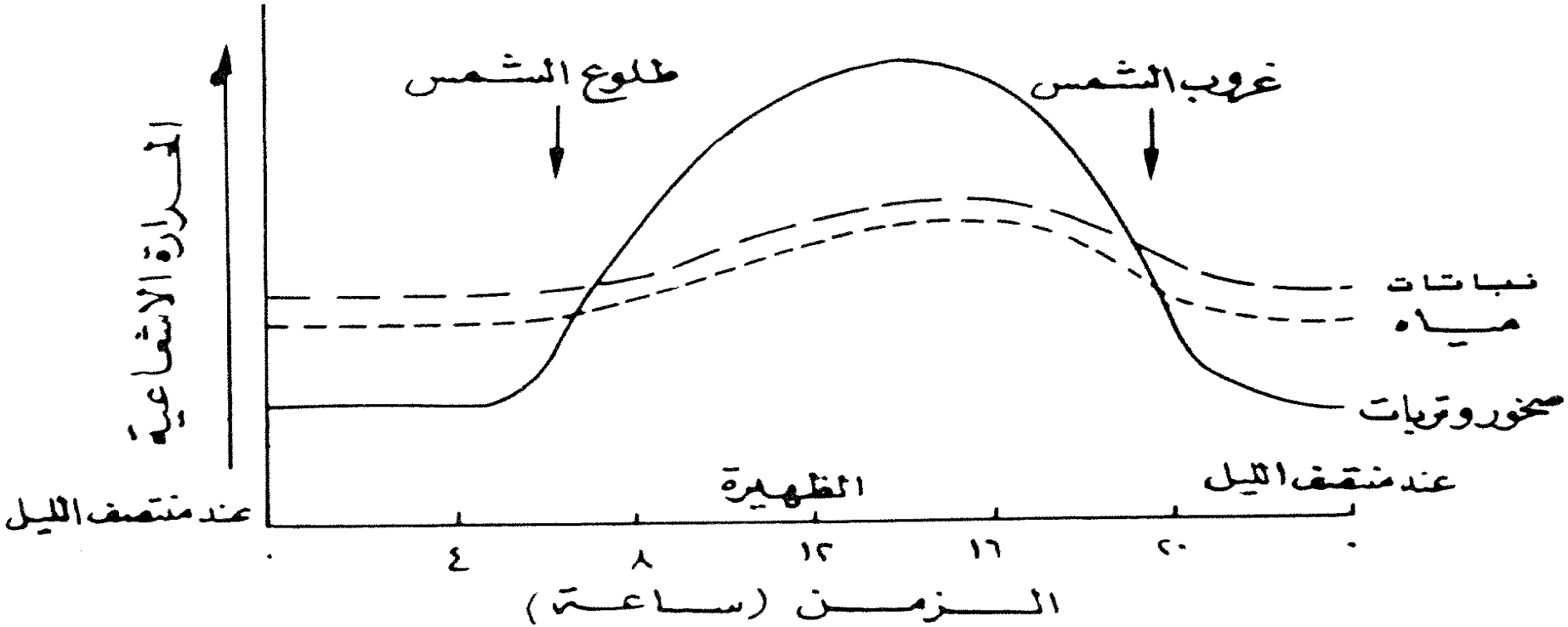
+ بالنظر إلى المنطقة المحددة بدائرة في الصورتين يلاحظ تشابه لون الأشجار في صورة الأشعة المرئية (a) مع لون الأشجار الأخرى المحيطة بها، بينما في صورة الأشعة تحت الحمراء (b) يلاحظ اختلاف لون الأشجار فيها عن لون الأشجار المحيطة بها.

+ السبب في ذلك هو أن معامل الانعكاس للأشعة المرئية يتشابه لجميع النباتات لأن جميع النباتات تمتص الأشعة الزرقاء والأشعة الحمراء وتعكس الأشعة الخضراء. في حين أن معامل الانعكاس في موجات الأشعة تحت الحمراء يختلف من نبات إلى آخر الأمر الذي يمكن من التمييز بين النباتات المختلفة.

انبعاث الاشعاع الكهرومغناطيسي من مواد سطح الارض في موجات الأشعة تحت الحمراء الحرارية

- جميع مواد السطح تشع طاقة في موجات تحت الحمراء الحرارية سواء في النهار أو الليل. وهذا يمكن من جمع المعلومات عن الظواهر في جميع الأوقات (النهار والليل).
- الحرارة الفعلية للأجسام (التي تقاس بالترمومتر) تسمى بالحرارة الحركية Kinetic Temperature أما الحرارة الخارجة من الأجسام فتسمى الحرارة الاشعاعية Radiant Temperature، وهي التي يمكن قياسها بأجهزة الاستشعار عن بعد.
- دائما تكون الحرارة الاشعاعية للمواد على سطح الأرض أقل من حرارتها الحركية؛ وذلك بسبب قدرة الانبعاث Emissivity للمواد.

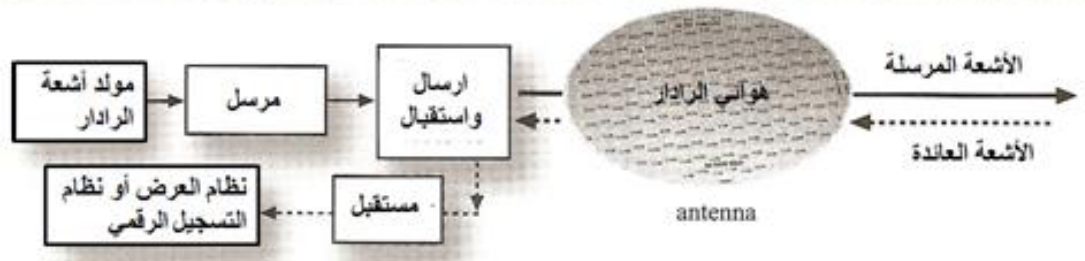
- تختلف كمية الحرارة الاشعاعية لمواد سطح الأرض خلال اليوم الواحد حيث ترتفع بشكل عام مع طلوع الشمس، وتبلغ ذروتها بين الساعة الواحدة والثالثة ظهرا، ثم تبدأ في الانخفاض الى أن تصل الى معدل ثابت بعد منتصف الليل.



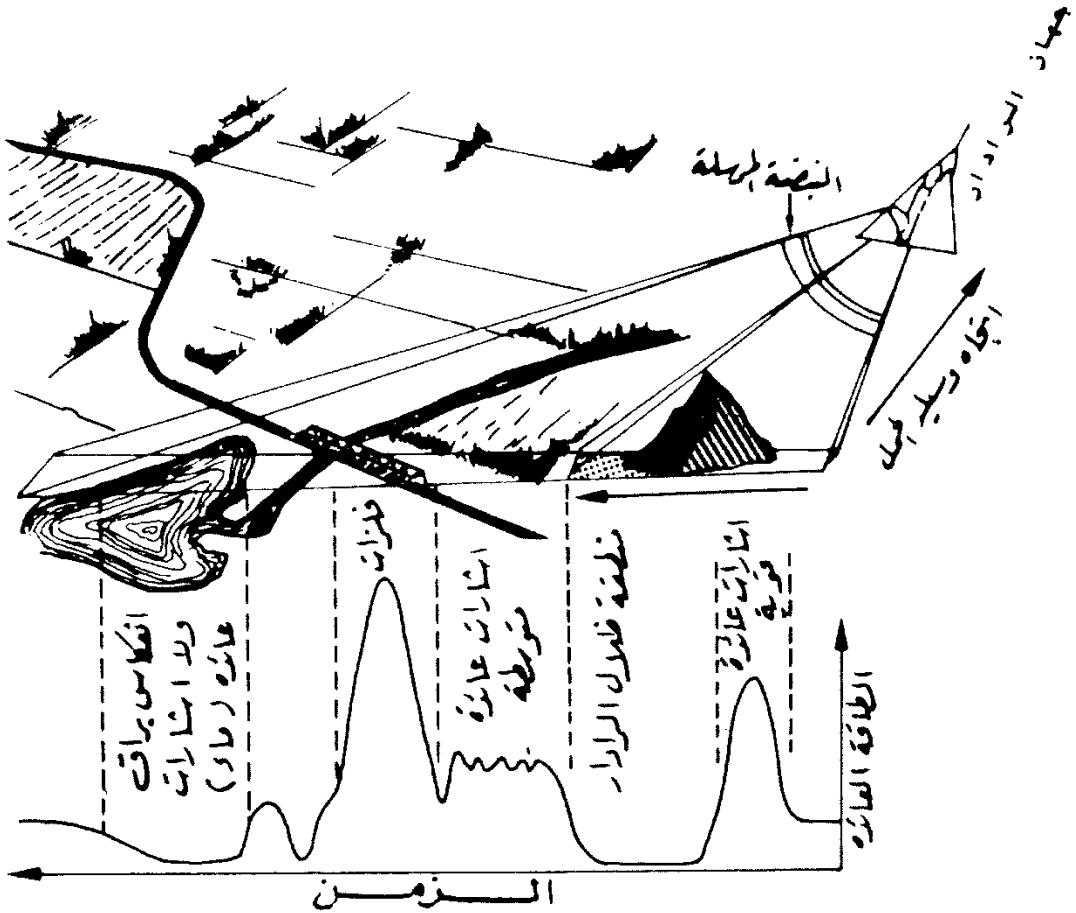
أشعة الرادار

- يعد الرادار أهم أجهزة الاستشعار عن بعد التي تستخدم نطاق موجات الميكروويف، فهو يستخدم لجمع المعلومات عن الظواهر الأرضية في مختلف الأوقات (الليل والنهار). كما أن أشعة الرادار قادرة على اختراق الغيوم وفي بعض الأحيان تخترق سطح الأرض بعمق يصل لعدة أمتار.

- يصدر الرادار نبضات من الأشعة الكهرومغناطيسية Pulses of Electromagnetic Energy في موجات الميكروويف باتجاه الأرض، ثم يسجل الزمن الذي تستغرقه للوصول الى الهدف Target وكمية الطاقة العائدة اليه.



- تتأثر كمية الأشعة العائدة الى جهاز الرادار من السطح بعدة عوامل بعضها مرتبط بخصائص سطح الأرض وفي مقدمتها الخصائص الكهربائية للسطح Electrical Properties Of The Surface وخشونة سطح الأرض Surface Roughness وطبوغرافية السطح. في حين أن بعض العوامل مرتبط بخصائص جهاز الرادار مثل طول الموجة المستخدمة في التصوير وزاوية الانخفاض والاستقطاب polarization.

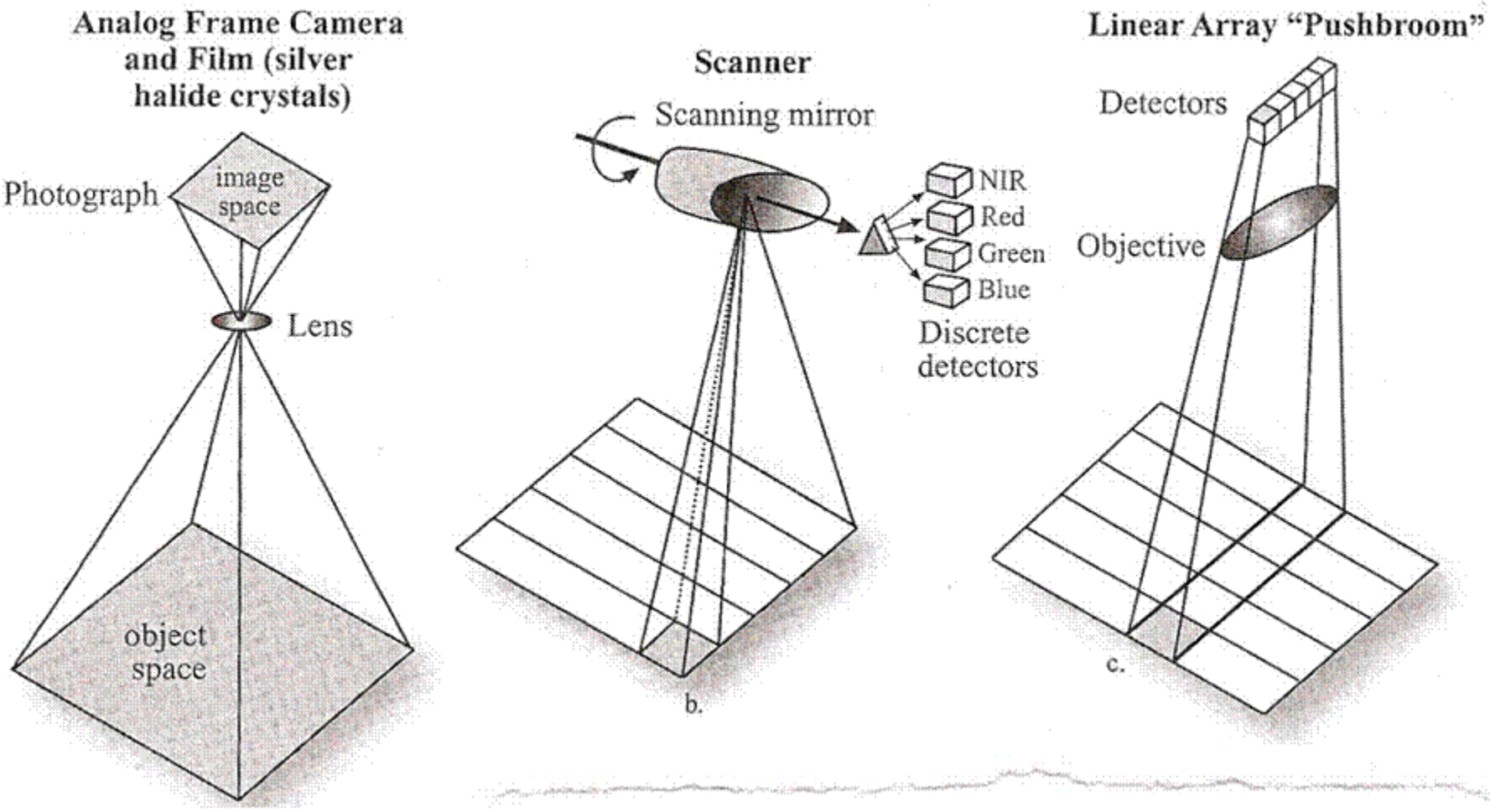


4) أنواع أجهزة الاستشعار عن بُعد

- تتنوع أجهزة الاستشعار عن بُعد ولكل نوع خصائصه وميزاته.
- تعمل أكثر أجهزة الاستشعار عن بُعد شيوعا لتصوير الأجسام والظواهر الأرضية بأحد النظم الأربعة التالية:

1) نظام التصوير الفوتوغرافي photographic system يصور في موجات الأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة وتكون مخرجاته صورا فوتوغرافية.
2) نظام المسح الخطي line-scanning system (across-track or whiskbroom) يصور في موجات الأشعة المرئية وتحت الحمراء المنعكسة وتحت الحمراء الحرارية (المنبعثة) وتكون مخرجاته صورا رقمية.
3) نظام الصف الخطي linear array system (along-track or pushbroom) يصور في موجات الأشعة المرئية وتحت الحمراء المنعكسة وتكون مخرجاته صورا رقمية.
4) نظام الرادار radar system يصور بأشعة الرادار الصناعية وتكون مخرجاته صورا رقمية.

Remote Sensing Systems Used to Collect Multispectral and Hyperspectral Imagery

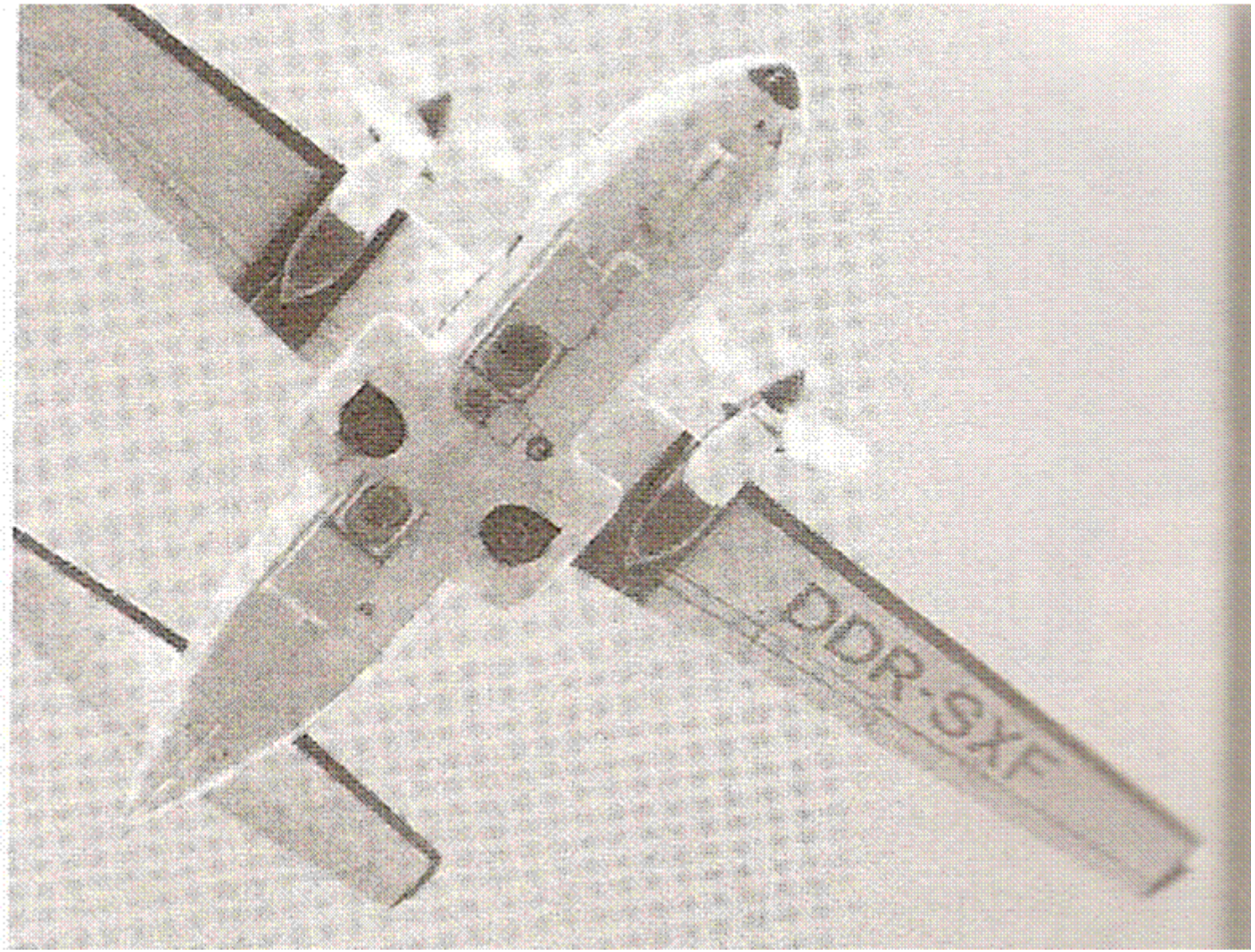


نظام التصوير الفوتوغرافي نظام المسح الخطي نظام الصف الخطي

الأجهزة التي تعمل بنظام التصوير الفوتوغرافي

- تعد آلات التصوير الفوتوغرافي (الكمرات cameras) أقدم أجهزة الاستشعار عن بعد والتي لا تزال تلعب دورا مهما في جمع المعلومات عن الظواهر على سطح الأرض.
- وتستخدم آلات التصوير الفوتوغرافي لتسجيل الأشعة الكهرومغناطيسية في نطاق الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة (٠,٤-٠,٩ ميكرومتر) أو أجزاء منه على أفلام حساسة لهذه الطاقة.
- وفي هذا النظام تسجل جميع بيانات الصورة في آن واحد على الفيلم المخصص لها.
- والأفلام المستخدمة في آلات التصوير الفوتوغرافي اما أن تكون باللون الأسود والأبيض أو أن تكون ملونة.
- فالأفلام الملونة الحساسة لإشعاع الطيف المرئي تعطي صورا ملونة بألوان حقيقية، أما الأفلام الملونة الحساسة لإشعاع الموجات تحت الحمراء فتعطي صورا بألوان زائفة (خاطئة) أي أنها تعطي ألوانا غير حقيقية.
- وتكون مخرجات هذا النظام صورا فوتوغرافية مطبوعة على أفلام (إيجابية أو سلبية) أو مطبوعة على الورق المصقول.

طائرة تصوير فوتوغرافي

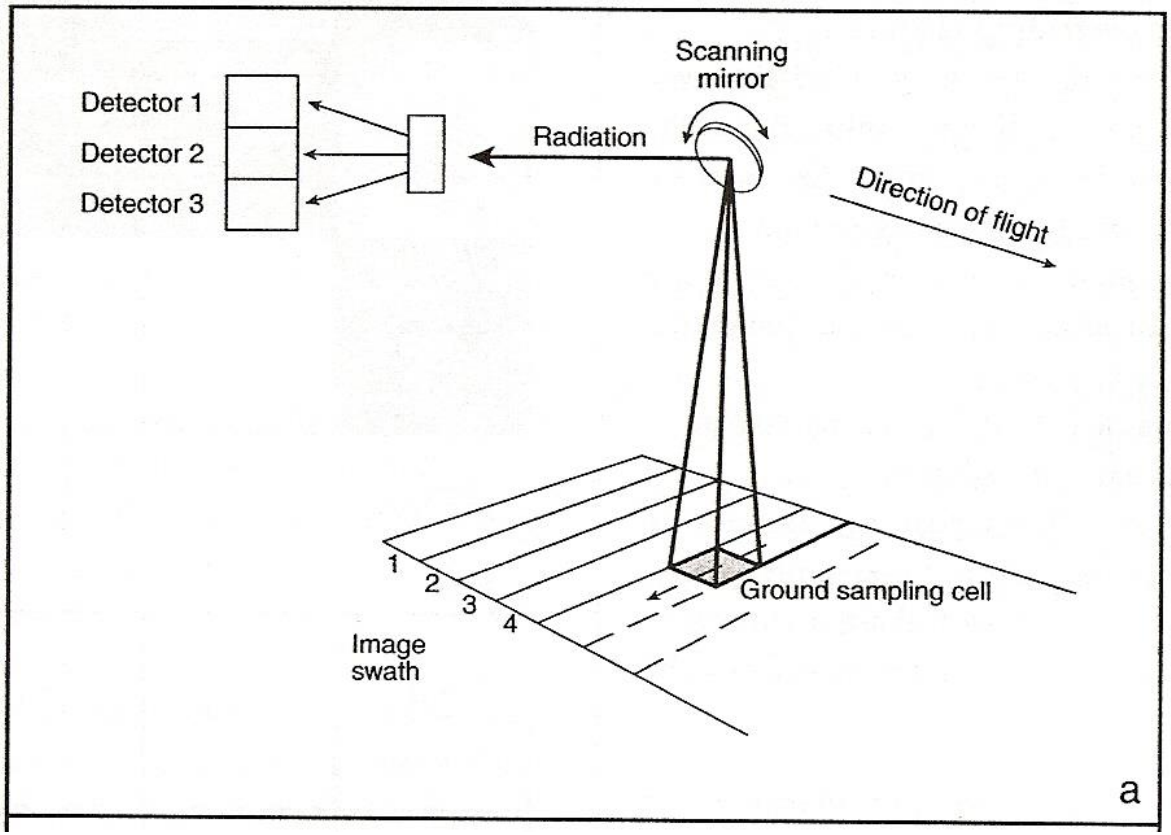


الأجهزة التي تعمل بنظام المسح الخطي

- تتميز أجهزة الاستشعار عن بعد التي تصمم وفقا لهذا النظام (الماسحات الخطية line scanners) بأنها قادرة على التصوير في جزء واسع من الطيف الكهرومغناطيسي يمتد من ٠,٤ ميكرومتر إلى ١مم.
- مما يعني أنه يمكن استخدامها لتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية في نطاقات الأشعة المرئية ونطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة والمتوسطة (المنعكسة) ونطاقات الأشعة تحت الحمراء الحرارية (المنبعثة).
- تعطي الماسحات الخطية صورا رقمية digital images،

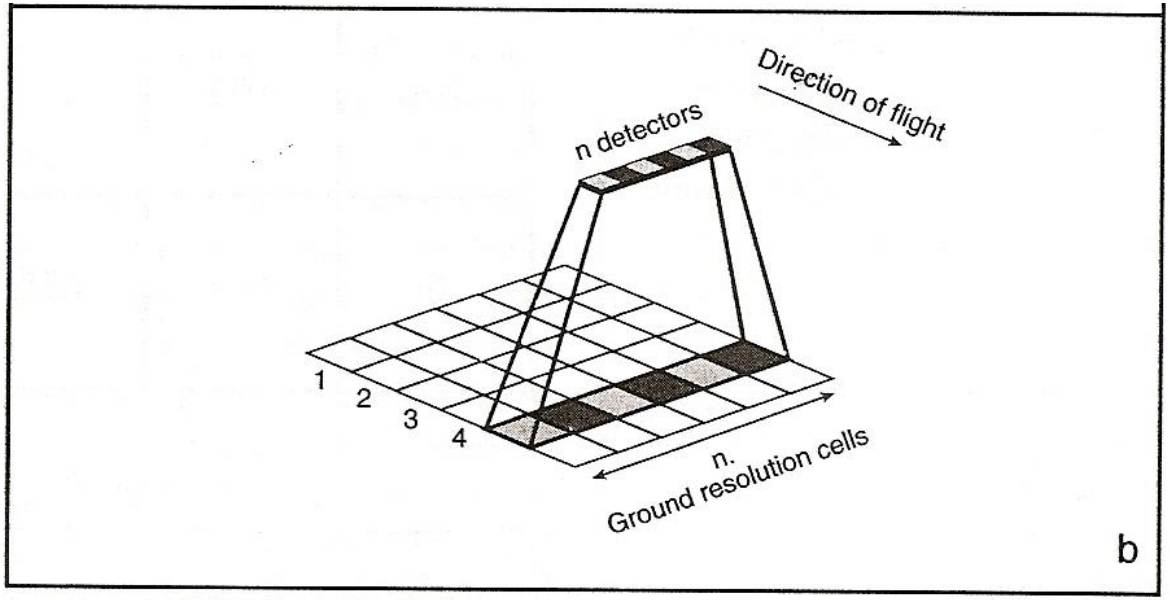
- يتم تصوير الصورة بهذا النظام على شكل سلسلة من خطوط المسح scan lines الأرضية المتعامدة مع اتجاه وسيلة الحمل (الطائرة أو القمر الصناعي).
- وتكون المنطقة الجغرافية التي يغطيها خط المسح الواحد بعرض معين يحدده غالبا مقدار الوضوح المكاني في الصورة.
- ويقسم كل خط من خطوط المسح الأرضية إلى عدد من المناطق الجغرافية الصغيرة نسبيا التي تسمى خلايا الوضوح الأرضية ground resolution cells.
- ويحدد حقل الرؤية اللحظي حجم خلايا الوضوح الأرضية التي تكون متساوية الأبعاد والمساحة؛ وفي الغالب تكون هذه المناطق مربعة الشكل ويساوي طول ضلعها عرض خط المسح الأرضي.
- ويناظر خلايا الوضوح الأرضية في خط المسح عدد مماثل من خلايا (عناصر) الصورة؛ وتتكون كل خلية من خلايا الصورة من قيمة رقمية تمثل الطاقة المسجلة لمنطقتها الجغرافية (لنظيرتها من خلايا الوضوح الأرضية).

- تجمع الماسحات الخطية المعلومات بواسطة مرآة تدور Rotatedأو تتارجح Oscillatedإلى الأمام والخلف على محور مواز لاتجاه وسيلة حمل الجهاز.
- وتعكس المرآة الاشعاع الذي يصل إليها من الأجسام والظواهر الأرضية في المنطقة الجغرافية التي يغطيها حقل الرؤية اللحظي إلى المكشاف Detector؛
- ويرسل المكشاف الأشعة على شكل اشارات Signalsإلى المسجل Recorder لتسجل القيمة الرقمية لعنصر الصورة الممثل للمنطقة الجغرافية التي يغطيها حقل الرؤية اللحظي.
- وتستمر هذه العمليات حتى يتم جمع البيانات لجميع أجزاء خط المسح الأرضي وذلك باكتمال دوران أو تأرجح المرآة على طول خط المسح.
- وبتقدم وسيلة الحمل إلى الأمام يتم تسجيل بيانات خط المسح الأرضي التالي بنفس الطريقة وهكذا؛ وذلك لأن تكرار دوران المرآة في جهاز الاستشعار عن بعد أو تأرجحها يتوافق مع سرعة وسيلة الحمل.


Detector 1
Detector 2
Detector 3
Scanning mirror
Radiation
Direction of flight
1
2
3
4
Image swath
Ground sampling cell
a

الأجهزة التي تعمل بنظام الصف الخطي

- تكون أجهزة الاستشعار عن بعد المصممة وفقا لنظام الصف الخطي قادرة على التصوير في نطاقات الأشعة المرئية وتحت الحمراء المنعكسة الأقل طولا من ٢,٤ ميكرومتر؛
- وحتى الآن لا يمكن استخدام هذه التقنية للتصوير في نطاقات الأشعة تحت الحمراء الحرارية المنبعثة.
- تعطي أجهزة الاستشعار عن بعد التي تعمل بنظام الصف الخطي صور رقمية.
- كما أن نظام الصف الخطي يشبه نظام المسح الخطي من حيث أنه يتم تصوير الصورة على شكل سلسلة من خطوط المسح الأرضية المتعامدة مع اتجاه وسيلة الحمل.

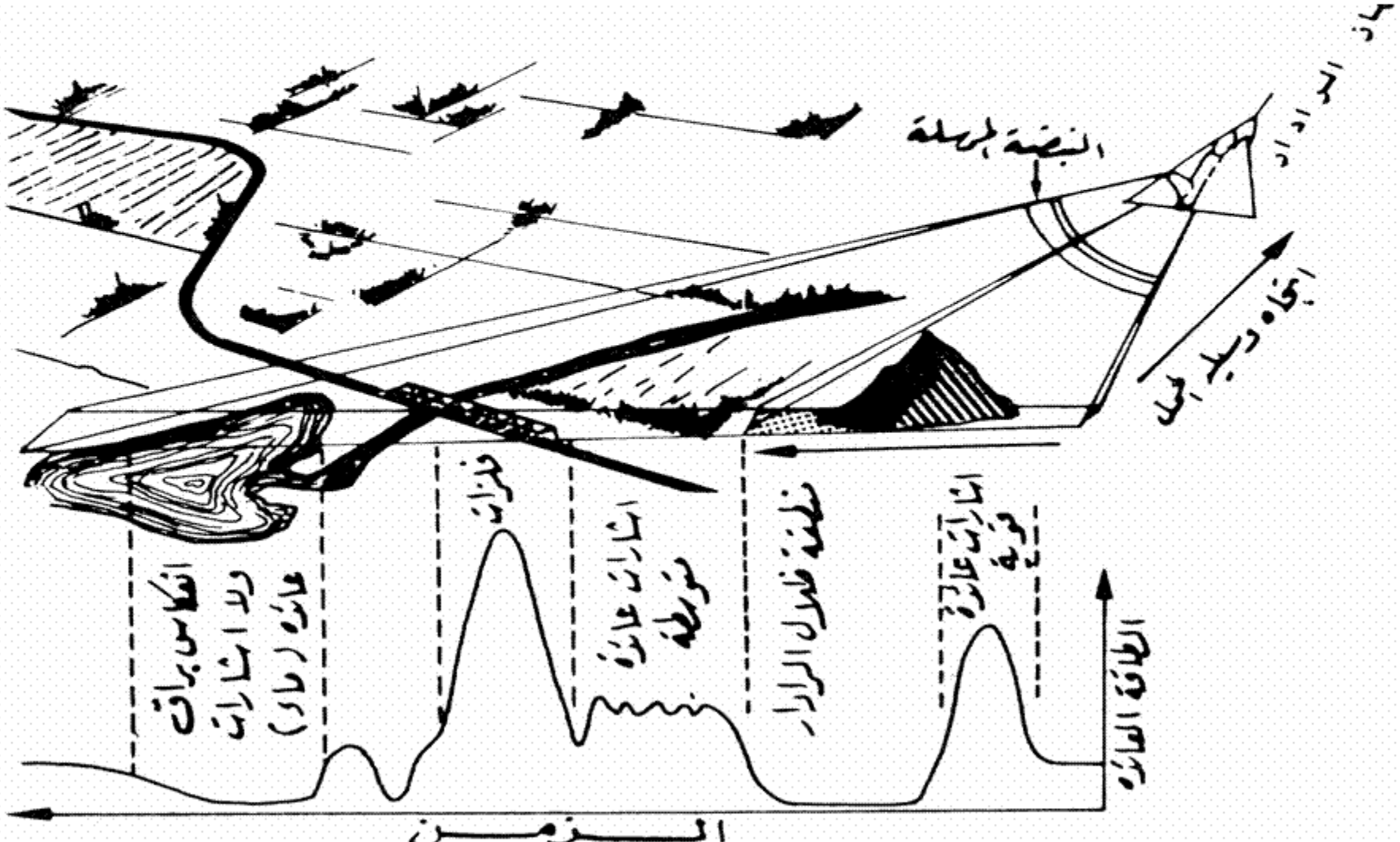

Direction of flight
n detectors
1
2
3
4
n.
Ground resolution cells
b

- ولكن على خلاف نظام المسح الخطي، الجهاز الذي يعمل بنظام الصف الخطي يسجل جميع بيانات خط المسح الأرضي في آن واحد بواسطة عدد كبير من المكشافات Detectors صغيرة الحجم دون أن يتحرك أي جزء من اجزائه.
- وحيث أن خط المسح الأرضي يقسم إلى عدد من خلايا الوضوح الأرضية ground resolution cells، لذا يجب أن يكون عدد المكشافات في جهاز الاستشعار عن بعد المخصصة للتصوير في نطاق معين مساويا لعدد خلايا الوضوح الأرضية التي يتكون منها خط المسح.
- فكل مكشاف في الجهاز مصمم ليقيس متوسط الاشعة المنعكسة من خلية معينة من خلايا الوضوح الأرضية على طول خط المسح ثم يرسلها على شكل اشارات لتسجل كقيمة رقمية لعنصر الصورة الممثل للمنطقة الجغرافية التي يغطيها.
- وهكذا يتم استشعار بقية خطوط المسح المتلاحقة في الصورة أثناء تقدم وسيلة الحمل الى الأمام.

الأجهزة التي تعمل بنظام الرادار

- أجهزة الاستشعار عن بعد الرادارية تصمم لتكون قادرة على ارسال أشعة كهرومغناطيسية صناعية في موجات الميكروويف إلى الأرض وتكون قادرة أيضا على تسجيل الأشعة العائدة من الأجسام والظواهر الأرضية.
- وعليه يستخدم الرادار لجمع المعلومات عن الظواهر الأرضية في مختلف الأوقات حتى في الظروف الغائمة.
- تحمل أجهزة الاستشعار عن بعد الرادارية، في الغالب، على الطائرات وعلى الأقمار الصناعية والتي توجه إلى أسفل بنظرة جانبية sideways looking.
- وهذا يعني أن الرادار لا يصور المنطقة الجغرافية الواقعة مباشرة تحت وسيلة الحمل بل يكون مائلا،

تكون المسافة بين الرادار وأجزاء المنطقة التي تغطيها الصورة غير متساوية مما يؤدي إلى اختلاف الوضوح المكاني للمدى في الصورة range resolution.



- ويتم تصوير صورة الرادار على شكل سلسلة من الخطوط أو الشرائح strips الأرضية الضيقة التي تكون متعامدة مع اتجاه وسيلة الحمل؛
- فبهذه الطريقة يرسل هوائي الرادار المثبت على وسيلة الحمل نبضة pulse من الأشعة إلى منطقة جغرافية طويلة وضيقة ثم يسجل كمية الأشعة العائدة (المرتدة) إليه من الأجسام والظواهر فيها والمدة الزمنية التي استغرقتها من انطلاقها إلى عودتها.
- وحيث أن سرعة أشعة الرادار ثابتة لذا فإن المدة الزمنية التي تستغرقها الأشعة العائدة من الأجسام تختلف باختلاف المسافة من الرادار.
- فالأجسام والظواهر القريبة من هوائي الرادار (المدى القريب near range) تصلها الأشعة وبالتالي ترتد منها لتعود إلى جهاز الرادار في وقت أقصر من الأجسام والظواهر البعيدة عنه (المدى البعيد far range).

- واختلاف المدة الزمنية لوصول الأشعة إلى الأجسام والظواهر وعودتها منها هو الذي يحدد مواقعها الصحيحة في صورة الرادار.
- وبعد أن تسجل الأشعة العائدة من الخط الأرضي الأول وبتقدم وسيلة الحمل إلى الأمام يرسل هوائي الرادار نبضة أخرى من الأشعة إلى الخط الأرضي الثاني ثم يسجل الأشعة المرتدة منه؛
- وهكذا تتم عملية التصوير حتى تكتمل الصورة الأولى ثم يبدأ في الصورة الثانية حتى تكتمل وهكذا.
- وتعتمد المدة الزمنية الفاصلة بين نبضات الرادار على المدى الأرضي **ground range** للصورة (طول المنطقة الجغرافية التي يتم تصويرها بنبضة واحدة من الأشعة) وعلى سرعة وسيلة الحمل.
- فالعلاقة عكسية بين تكرار النبضات والمدى الأرضي لأنه كلما يكون المدى بعيدا كلما تستغرق الأشعة المرتدة وقتا أطول لتصل إلى هوائي الرادار.

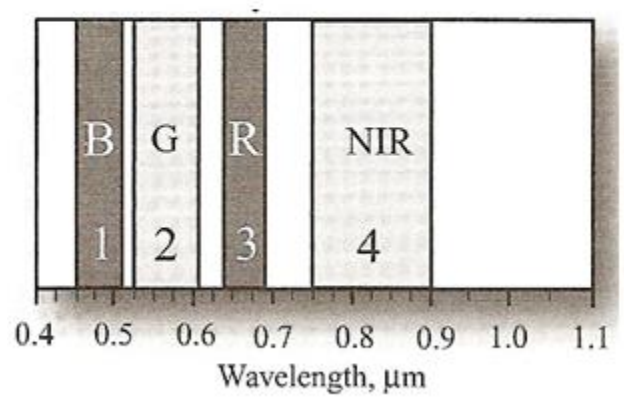
الخصائص الرئيسية لأجهزة الاستشعار عن بعد

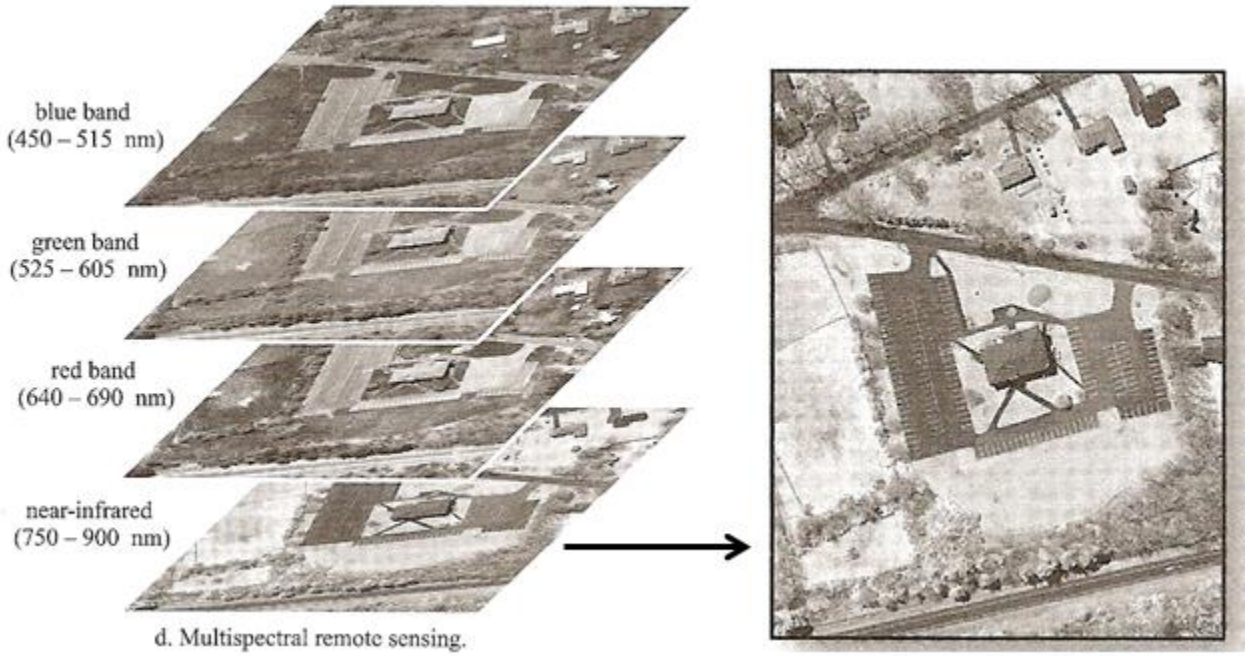
- تصمم أجهزة الاستشعار عن بُعد لتكون قادرة على تسجيل قيم رقمية للأشعة المنعكسة أو المنبعثة أو المرتدة (العائدة) لتكون كل قيمة منها تمثل منطقة جغرافية معينة قد تكون صغيرة (أبعادها 1م×1م) كما في صور القمر الصناعي الأمريكي إكونوس IKONOS أو كبيرة (أبعادها 1كم×1كم) كما في الأقمار الصناعية لمراقبة الطقس.
- تختلف أجهزة الاستشعار عن بُعد في طريقة تسجيلها لهذه القيم ولذا تبرز ثلاثة أسئلة هامة هي: ما هو نطاق أو نطاقات الأشعة التي يسجلها جهاز الاستشعار عن بُعد؟ وكم عدد درجات المقياس الرمادي* التي صمم الجهاز ليسجل فيها؟ وما هي أبعاد (حجم) المنطقة الجغرافية التي تمثلها قيمة رقمية واحدة على الصورة؟ وللإجابة على هذه الأسئلة فإن الأمر يتطلب التعرف على ثلاثة مفاهيم أساسية هي الوضوح الطيفي spectral resolution والوضوح الراديومتري radiometric resolution والوضوح المكاني spatial resolution.

* المقياس الرمادي يتدرج بين اللونين الأسود والأبيض حيث يكون الأسود في المقياس عند الصفر والأبيض عند أعلى درجة فيه وما بينهما درجات اللون الرمادي.

الوضوح الطيفي

- يرتبط الوضوح الطيفي في جهاز الاستشعار عن بُعد باتساع وبعدد النطاقات الطيفية التي صمم الجهاز ليسجل الأشعة فيها.
- تعد النطاقات الطيفية الضيقة أفضل في التمييز بين الظواهر التي تكون الفروق في أطيافها قليلة لأن هذه الفروق البسيطة قد تختفي بأخذ متوسط الأشعة في النطاق الواسع.
- كما أن استخدام الصور متعددة النطاقات أفضل للتمييز بين الظواهر من استخدام صورة مكونة من نطاق واحد.

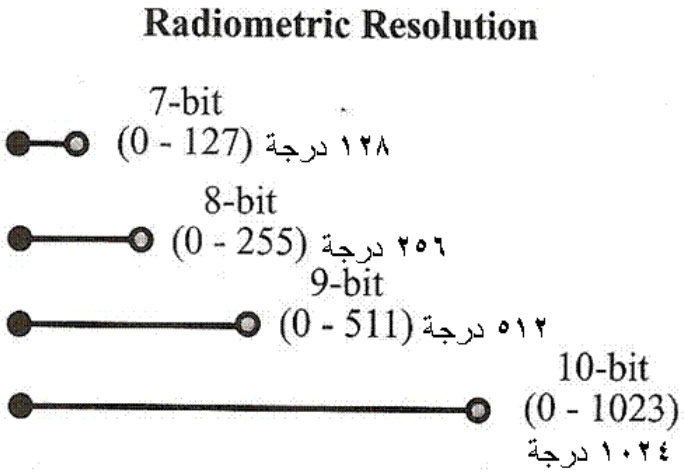


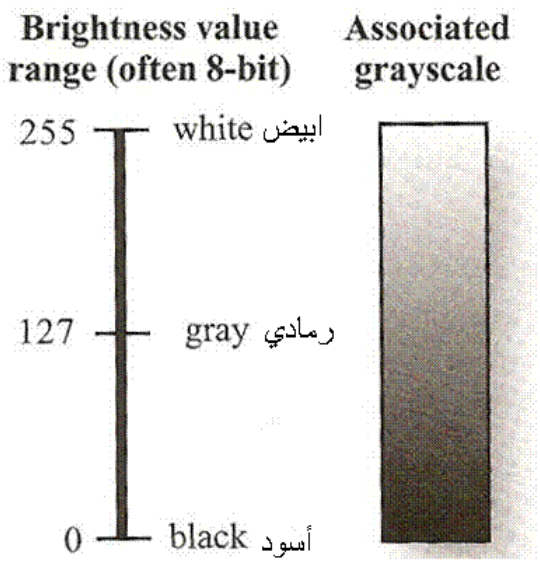


d. Multispectral remote sensing.

الوضوح الراديومتري

- يرتبط الوضوح الراديومتري في جهاز الاستشعار عن بُعد بعدد درجات المقياس الرمادي التي صمم ليسجل فيها الأشعة التي تصل إليه من الأجسام الأرضية حسب كثافتها (شدتها).
- يعبر عن الوضوح الراديومتري بما يسمى بالأرقام الثنائية binary digits (bits).
- على سبيل المثال إذا يكون الوضوح الراديومتري 8-bit فإن المقياس الرمادي يتكون من 256 درجة (2^8=256) تكون قيمة الأسود فيه صفر والأبيض 255 وما بينهما درجات مختلفة من اللون الرمادي تزداد دكانة باتجاه الصفر.



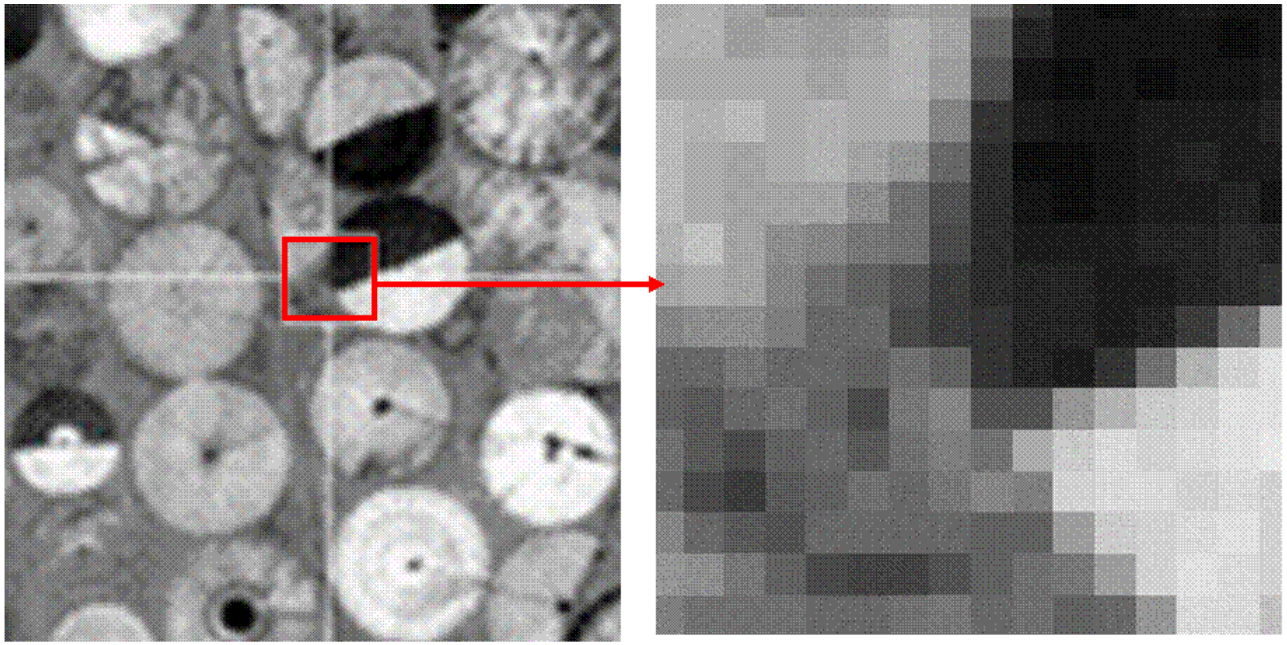


- معظم صور الاستشعار عن بعد تكون بوضوح راديومتري قدره 8-bit أي المقياس الرمادي فيها مكون من 256درجة.

الوضوح المكاني

- يرتبط الوضوح المكاني بقدرة جهاز الاستشعار عن بُعد على تسجيل تفاصيل الأجسام والظواهر ليمكن رؤيتها وتمييزها على الصورة.
- يستخدم في الغالب حقل الرؤية اللحظي instantaneous field of view (IFOV) لتحديد الوضوح المكاني في الصورة الرقمية.
- يعرف حقل الرؤية اللحظي بأنه منطقة جغرافية –في الغالب مربعة الشكل- يسجل جهاز الاستشعار عن بُعد في آن واحد متوسط الأشعة التي تصل إليه من الأجسام فيها؛ ويمثل هذه المنطقة الجغرافية في الصورة خلية pixel واحدة لها قيمة رقمية معينة ترتبط بإحدى درجات المقياس الرمادي، وتحدد قيمتها كمية الأشعة التي يسجلها جهاز الاستشعار عن بُعد.

- أبعاد حقل الرؤية اللحظي instantaneous field of view (IFOV) هي التي تحدد مقدار الوضوح المكاني؛ فمثلا إذا يكون طول ضلع المنطقة الجغرافية لحقل الرؤية اللحظي 30م فإن الوضوح المكاني في الصورة يساوي 30م، وإذا يكون 1م فالوضوح المكاني 1م وهكذا.
- هذا يعني أنه كلما تكون قيمة الوضوح المكاني صغيرة كلما يكون الوضوح المكاني عالي وكلما تزداد القدرة على تمييز الظواهر الصغيرة والعكس صحيح.



هذه الصورة جزء من صورة نطاق٤ للماسح الموضوعي اللتي يكون الوضوح المكاني فيها ٣٠م. وبتكبير جزء منها ظهرت مناطق مربعة تعرف بخلايا (عناصر) الصورة pixels وكل واحدة منها تمثل منطقة جغرافية مربعة أبعادها ٣٠م×٣٠م تقريبا. ولكل خلية من خلايا الصورة قيمة رقمية معينة ترتبط بإحدى درجات المقياس الرمادي وفقا لمتوسط كمية الأشعة التي سجلها جهاز الاستشعار عن بعد من المنطقة الجغرافية التي تقابلها.

الوضوح المكاني ١٠م

الوضوح المكاني ٣٠م

الصورتان تغطيان جزء من مدين جازان إحداهما بوضوح مكاني قدره ١٠م والأخرى بوضوح مكاني قدره ٣٠م.