جامعة مولاي إسماعيل
UNIVERSITÉ MOULAY ISMAÏL

كلية الآداب والعلوم الإنسانية
FACULTÉ DES LETTRES ET DES SCIENCES HUMAINES

مبادئ الاستشعار عن بعد

ذ الشاذلي خالد

المحتويات

- **تعريف الاستشعار عن بعد**
- **المكونات الأساسية لعملية الاستشعار**
- **مميزات تقنية الاستشعار عن بعد**
- **تطبيقات الاستشعار عن بعد**
- **أنظمة الاستشعار عن بعد**
- **الأشعة الكهرومغناطيسية ودورها في الاستشعار عن بعد**
- **تأثير مواد الغلاف الجوي على الإشعاع الكهرومغناطيسي**
- **تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع مظاهر سطح الأرض**
- **الصورة الرقمية**
- **خصائص المرئيات الفضائية**
- **أنظمة التصوير في مجسات الاستشعار عن بعد**

تعريف الاستشعار عن بعد

الاستشعار عن بعد: هو علم دراسة الأهداف والظواهر على سطح الأرض دون الاحتكاك المباشر أو التماس الفيزيائي مع الأهداف المدروسة ويتم عن طريق استشعار وتسجيل الأشعة المنعكسة أو المنبعثة من الأهداف المدروسة بواسطة متحسسات محمولة على الأقمار الصناعية ومن ثم معالجة وتحليل الأشعة المنعكسة بهدف الحصول على خصائص الأهداف المدروسة.

المكونات الأساسية لعملية الاستشعار

يمكن تقسيم المكونات الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد (الشكل 1) إلى ست مكونات أساسية هي:

1) مصدر الطاقة : المطلب الأول لعملية الاستشعار عن بعد هو أن يكون لدينا مصدر طاقة يوفر الطاقة الكهرومغناطيسية للهدف الأرضي المراد دراسته. الشمس هي مثال على مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية.

2) المسار عبر الغلاف الجوي : تسمى هذه المرحلة تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع الجسيمات في الغلاف الجوي. ينتقل الإشعاع القادم من الشمس في البداية عبر الغلاف الجوي ويضرب الهدف الأرضي ويمر عبر الغلاف الجوي مرة ثانية قبل أن يصل إلى جهاز استشعار. عندما يمر الإشعاع عبر الغلاف الجوي ، يتأثر بشكل كبير بجزيئات الغلاف الجوي التي يصادفها. يعرف هذا التأثير باسم التشتت والامتصاص ويؤدي إلى تغيرات في شدة واتجاه والطول الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية القادمة من الشمس. التغيير الذي يتعرض له الإشعاع الكهرومغناطيسي أثناء مروره بالغلاف الجوي الأرضي يعتمد على الظروف الجوية للغلاف الجوي، وطول المسار الذي يقطعه الإشعاع داخل الغلاف الجوي، و كمية الجزيئات أو الغازات في الغلاف الجوي و الطول الموجي للإشعاع الذي يخترق الغلاف.

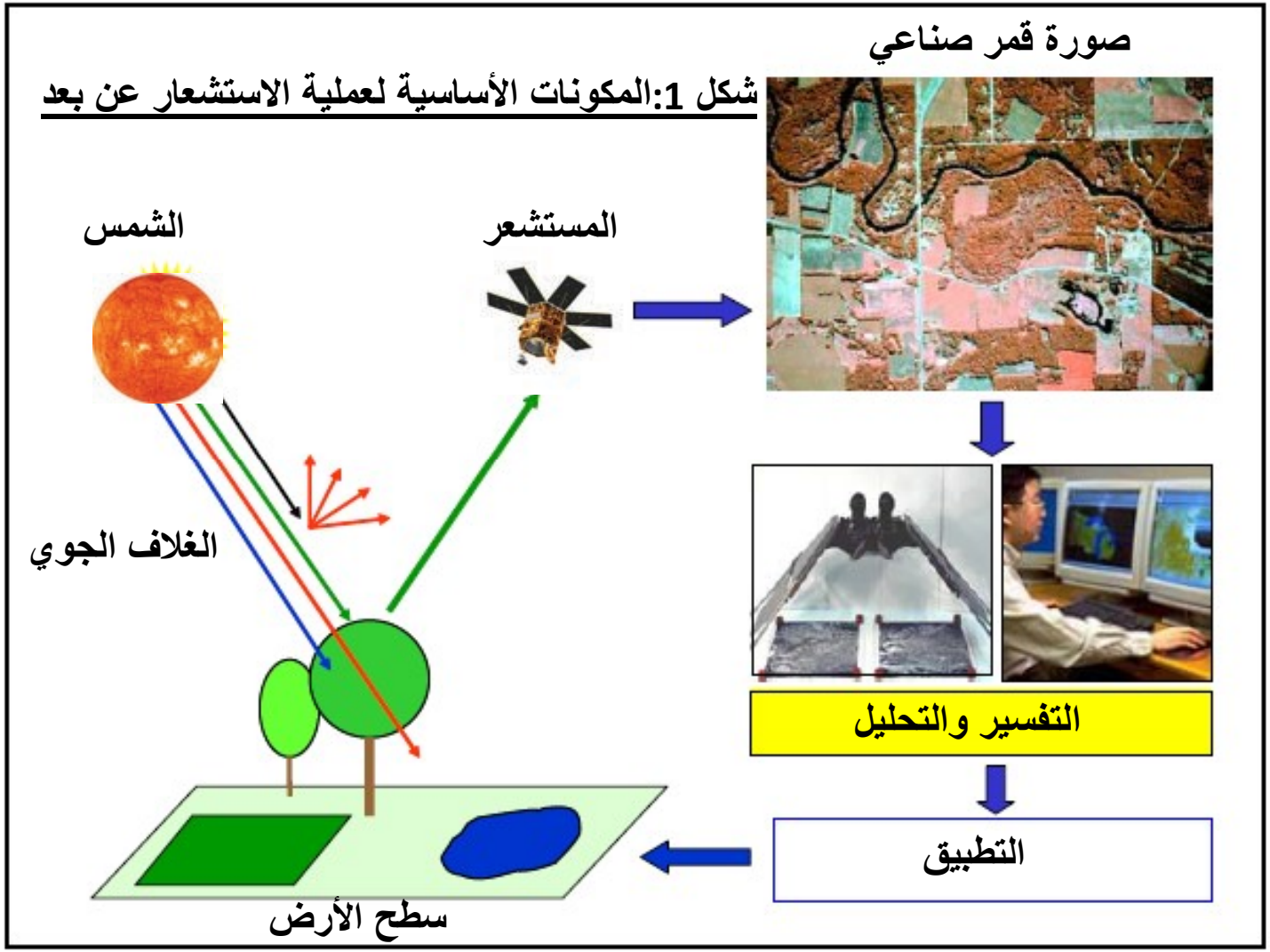
3) تفاعل الطاقة مع سطح الأرض أو الهدف : يمكن للإشعاع الذي لا يمتص أو يتشتت في الغلاف الجوي الأرضي أن يصل إلى سطح الأرض ويتفاعل معه. هناك ثلاثة أشكال من التفاعل يمكن أن تحدث عندما تصطدم الطاقة الساقطة بسطح الهدف. هذه التفاعلات الثلاثة هي : الامتصاص ، الانتقال أو النفاذ و الانعكاس. سوف تتفاعل الطاقة الساقطة الكلية مع سطح الهدف بطريقة أو أكثر من هذه الطرق الثلاث. تعتمد نسب كل منها على الطول الموجي للطاقة الساقطة و طبيعة المادة و حالة الهدف.

4) تسجيل الطاقة بواسطة المستشعر : بعد انعكاس الطاقة أو انبعاثها من الهدف الأرضي، نحتاج إلى مستشعر أو متحسس و يكون محمولا على قمر صناعي يدور في الفضاء لتجميع وتسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس. طبعا الطاقة المنعكسة من الهدف الأرضي والمسجلة في المستشعر تكون بهيئة صورة رقمية و تسمى صورة قمر صناعي.

5) التفسير والتحليل : في هذه المرحلة يتم تفسير وتحليل الصورة المعالجة ، بصرا ورقميا ، لاستخراج معلومات حول الهدف. يتم استخدام أدوات متخصصة (أجهزة وبرمجيات معروفة باسم أدوات معالجة الصور) لغرض تفسير و تحليل صور الأقمار الصناعية.

6) التطبيق : يتحقق العنصر الأخير في عملية الاستشعار عن بعد عندما نطبق المعلومات المستخرجة من الصورة الفضائية في حل مشكلة معينة. يستطيع المتخصصون العاملون في كل مجال علمي تنفيذ هذه المهمة. حيث تستعمل المعلومات المستخرجة من الصورة الفضائية في الكثير من المجالات مثل رسم الخرائط الأرضية، الزراعة، مراقبة الكوارث الطبيعية، الجيولوجيا، مراقبة الموارد المياه، مجال الأرصاد الجوية والمناخ وغيرها من التطبيقات الكثيرة.

شكل 1:المكونات الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد



مميزات تقنية الاستشعار عن بعد

- يتم تحليل البيانات التي يتم جمعها من خلال تقنية الاستشعار عن بعد في المختبر مما يقلل من العمل الذي يجب القيام به في الميدان .
- يوفر تحليل وتفسير سريع لمساحات كبيرة من سطح الأرض من خلال صور فضائية واحدة .
- يوفر تحديث مستمر للخرائط الأرضية (خرائط المياه والتربة والغطاء النباتي وخراط المناخ) عن طريق مرئيات انية.
- يوفر تغطية وبيانات لمناطق الأرض التي يتعذر الوصول إليها.
- غير مكلف نسبيا عند مقارنته بتوظيف فريق من المساحين.
- إمكانية إجراء المسح السريع للأهداف الأرضية المراد دراستها.
- توفر تكنولوجيا الاستشعار عن بعد القدرة على رصد المناطق الأرضية في جميع الأحوال الجوية وخلال النهار والليل.
- القدرة على التغطية المتكررة (التصوير المتكرر) لظاهرة جغرافية على سطح الأرض في فترات زمنية مختلفة لاكتشاف التغيرات التي حدثت بها.

تطبيقات الاستشعار عن بعد

تستخدم البيانات المأخوذة من أقمار الاستشعار عن بعد لتوفير معلومات مفصلة عن سطح الأرض ، لا سيما فيما يتعلق بإدارة الموارد المتجددة وغير المتجددة. بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد موضحة أدناه :

1) علم الأرصاد الجوية : دراسة درجة حرارة الغلاف الجوي والضغط وبخار الماء وسرعة الرياح.

2) الجيولوجيا: تشمل تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال الجيولوجيا ما يلي : التعرف على أنواع الصخور، رسم خرائط الصخور، التنقيب عن الرمال والحصى ، التنقيب عن المعادن ، ومراقبة الترسبات.

3) التنقيب عن النفط : استكشاف الحقول النفطية ، تحديد مواقع تسربات وبقع النفط الطبيعي.

4) الزراعة: تشمل تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال الزراعة: تصنيف نوع المحاصيل ، فحص صحتها ، تقييم حالة المحاصيل ، تقدير إنتاجية المحاصيل ، ورسم خرائط خصائص التربة الزراعية.

5) تصنيف الغطاء الأرضي : يمثل رسم خرائط الغطاء الأرضي وتصنيفه تحديد الحالة المادية (الحالة الفيزيائية لسطح الأرض) ثم تقسيم مساحة سطح الأرض إلى فئات مختلفة (أصناف مختلفة) مثل : التربة ، الغابات ، والمسطحات المائية ، وما إلى ذلك ، حسب حالتها المادية. يساعد تصنيف الغطاء الأرضي في تحديد موقع الموارد الطبيعية الموجودة على سطح الأرض.

6) كشف التغيرات بالغطاء الأرضي : يشير تغير الغطاء الأرضي إلى التغيرات الموسمية أو الدائمة في أنواع الغطاء الأرضي. التغيرات الموسمية تكون بسبب التغيرات الزراعية أو التغيرات في غطاء الغابات والأشجار، والتغييرات الدائمة قد تكون بسبب إزالة الغابات أو بناء المدن الجديدة ، إلخ. الكشف عن التغيرات في الغطاء الأرضي ضروري لتحديث خرائط الغطاء الأرضي والإدارة الموارد الطبيعية . تكتشف أقمار الاستشعار عن بعد تغيرات الغطاء الأرضي من خلال مقارنة صورة قمر صناعي قديمة وصورة أقمار صناعية محدثة ، مع التقاط هاتين الصورتين خلال نفس الموسم لغرض كشف مقدار التغير بالغطاء الأرضي.
7) علم المياه : الهيدرولوجيا هي دراسة المياه على سطح الأرض. تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال علم المياه تشمل: مراقبة الأراضي الرطبة ، تقدير رطوبة التربة ، كشف تغير الأنهار ، مراقبة الفيضانات، ورصد التغيرات في مساحة المياه السطحية للبحيرات.
8) التنبؤ بالكوارث: الأقمار الصناعية المستخدمة في الاستشعار عن بعد تعطي إنذارا مبكرا للكوارث الطبيعية المختلفة مثل : رصد الفيضانات والانهيارات الأرضية ، تقييم مناطق الضرر من الكوارث الطبيعية ، الزلازل ومراقبة النشاط البركاني ، الأعاصير والعواصف ، وما إلى ذلك ، مما يتيح اتخاذ تدابير فعالة في الوقت المناسب ومنع الخسائر في الأرواح والممتلكات.
9) مراقبة النمو والتطور العمراني: تعتبر صور أقمار الاستشعار عن بعد أداة مهمة لرصد وتخطيط أنشطة التنمية الحضرية. يمكننا استخدام صور الأقمار الصناعية الملتقطة في فترات زمنية مختلفة لرصد التغيرات الناتجة عن تطور المدن الحضرية (المناطق السكنية) وتتبع نمو المدن على مدى عدة سنوات أو حتى عقود.

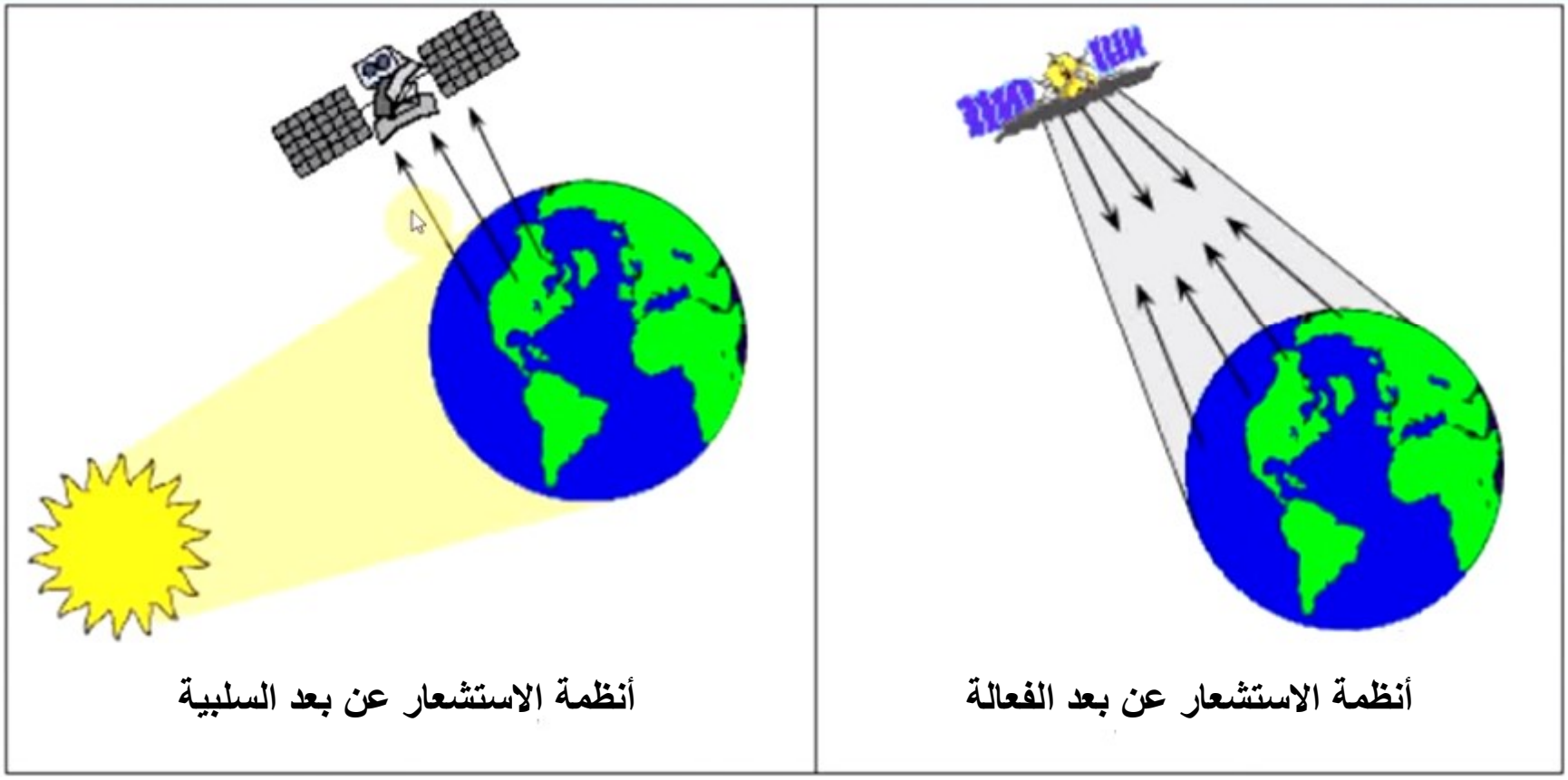
أنظمة الاستشعار عن بعد بناءا على مصدر الطاقة

تنقسم أنظمة الاستشعار عن بعد بالاعتماد على مصدر الطاقة إلى مجموعتين (الشكل 2): أنظمة الاستشعار عن بعد السلبية وأنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة .

❑تعتمد أنظمة الاستشعار عن بعد السلبية على مصدر خارجي للإضاءة (مثل الشمس). يمكن استخدام المستشعرات السلبية فقط لاكتشاف الطاقة المنعكسة من الأهداف عند توفر الطاقة الضوئية التي تحدث بشكل طبيعي. ويمكن أن يحدث هذا فقط خلال الوقت الذي تضيء فيه الشمس الأرض خلال النهار. لكن لا توجد طاقة منعكسة متاحة من الشمس في الليل.

❑توفر أنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة مصدر الطاقة الخاص بها للإضاءة (مثل الرادار). يصدر المستشعر إشعاعا موجها نحو الهدف المراد فحصه. ويتم الكشف عن الإشعاع المنعكس من هذا الهدف وقياسه وتسجيله بواسطة المستشعر المحمول على القمر الصناعي. تشمل مزايا أنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة القدرة على الحصول على قياسات في أي وقت ، بغض النظر عن الوقت ليلا أو نهارا أو الموسم صيفا أو شتاءا. ويمكن استخدام المستشعرات الفعالة للتحكم بشكل أفضل في طريقة إضاءة الهدف. وتتطلب أنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة توليد كمية كبيرة من الطاقة لإلقاء الضوء على الأهداف.

شكل 2 : أنظمة الاستشعار عن بعد



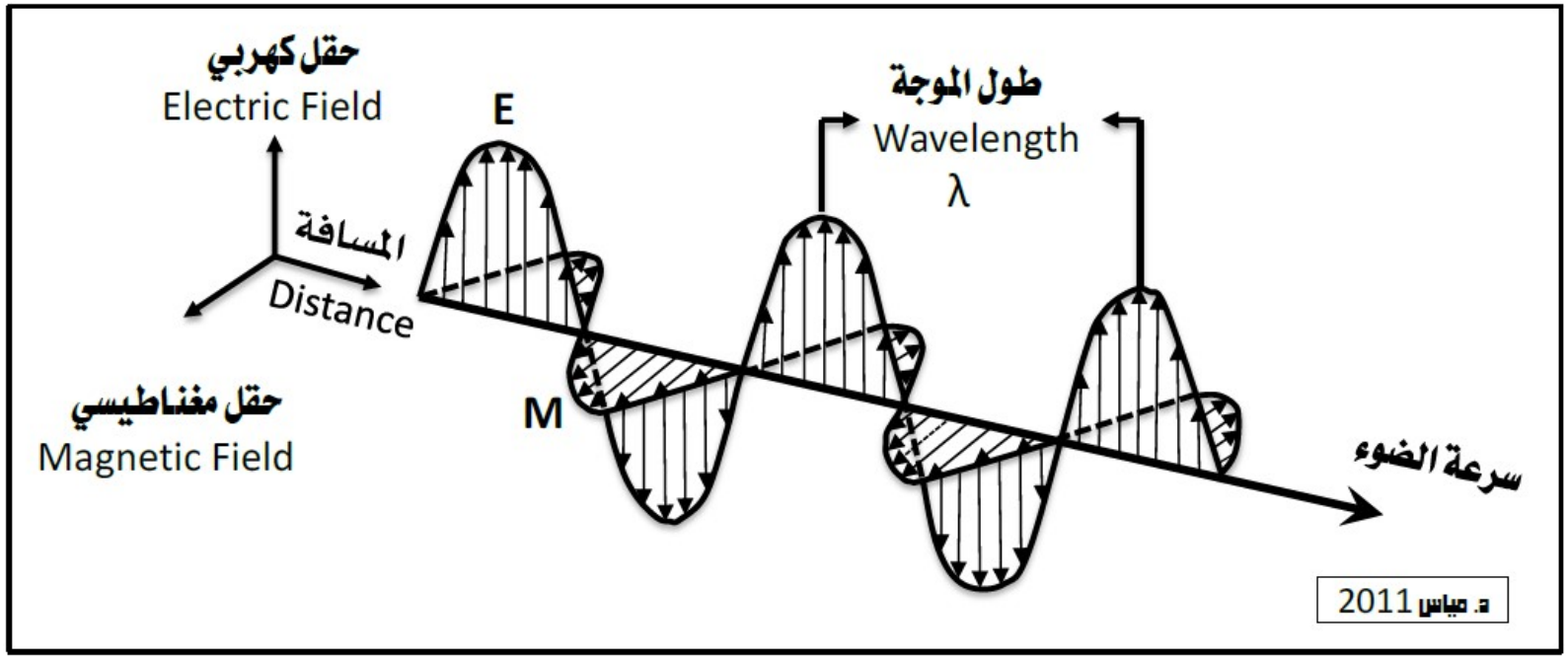
أنظمة الاستشعار عن بعد السلبية

أنظمة الاستشعار عن بعد الفعالة

الأشعة الكهرومغناطيسية ودورها في الاستشعار عن بعد

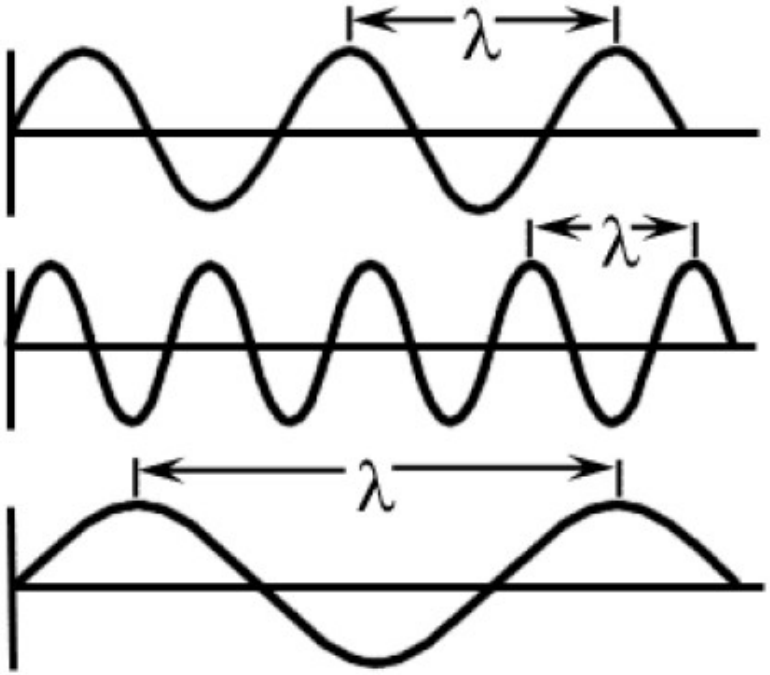
الإشعاع الكهرومغناطيسي هو موجة تنتشر (تشع) داخل الفراغ بسرعة الضوء (300000 كيلومتر / الثانية) وتنقل الطاقة من مكان إلى آخر. تحمل هذه الموجات الطاقة الكهرومغناطيسية كتذبذبات (اهتزازات) متزامنة للمجالات الكهربائية والمغناطيسية المتعامدة مع بعضها البعض والعمودية على اتجاه انتشار الموجة (شكل 3).

شكل 3 : مكونات الإشعاع الكهرومغناطيسي



وفقا للنموذج الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية ، يمكن وصف الإشعاع الكهرومغناطيسي من خلال الطول الموجي والتردد :
(1) الطول الموجي (طول موجة واحدة): هو المسافة من أي نقطة على موجة واحدة إلى نفس الموضع على الموجة التالية (أو هو المسافة بين قمتين متتاليين). يقاس الطول الموجي بالأمتار (م) أو ببعض وحدات المتر الصغيرة مثل نانومتر (1 نانومتر = 10^{-9} متر) ، ميكرومتر (1 ميكرومتر = 10^{-6}) أو السنتمتر (1 سم = 10^{-2} متر). عادة ما يتم تمثيل الطول الموجي بالحرف اليوناني λ (شكل 4).

شكل 4 : الموجات الكهرومغناطيسية



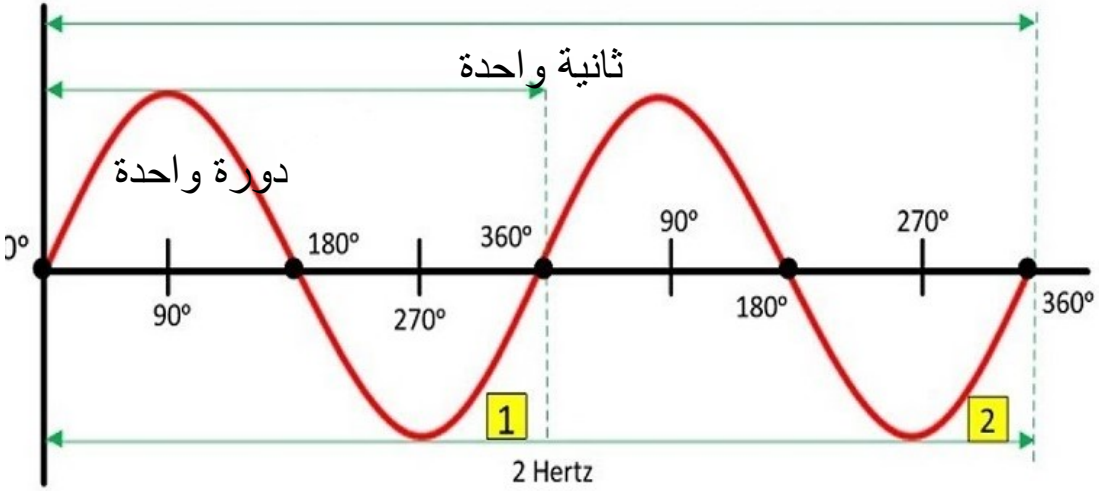
الموجات القصيرة

الموجات المتوسطة

الموجات الطويلة

التردد (f): هو عدد دورات الموجة التي تمر عبر نقطة ثابتة لكل وحدة زمنية في فترة زمنية معينة. غالبا ما يقاس التردد بالهرتز Hz، 1هرتز يعادل دورة واحدة أو موجة واحدة في الثانية (شكل 5).

شكل 5 : التردد

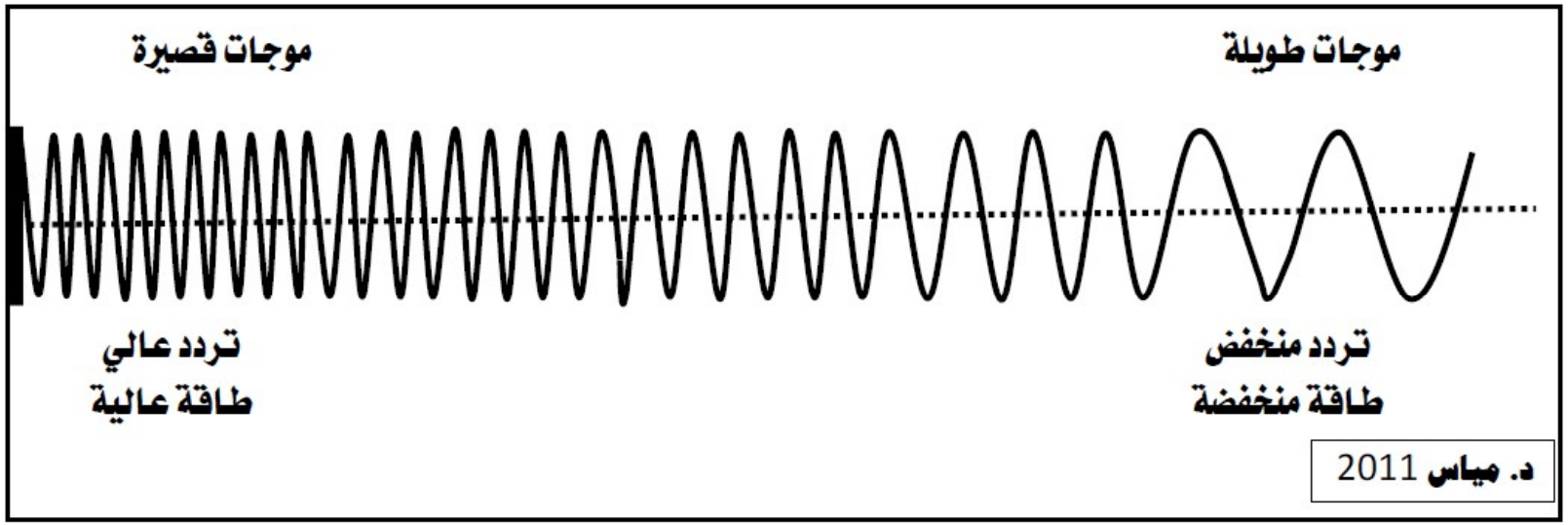


يرتبط الطول الموجي و التردد بالعلاقة الرياضية التالية : الموجة = سرعة الضوء ÷ التردد

نظرا لأن سرعة الضوء ثابتة ، فإن الطول الموجي والتردد يرتبطان عكسيا ببعضهما البعض (شكل 6):

- ❑ كلما كان الطول الموجي أقصر ، كلما زاد التردد.
- ❑ كلما زاد الطول الموجي ، انخفض التردد

شكل 6 : العلاقة بين الطول الموجي و التردد



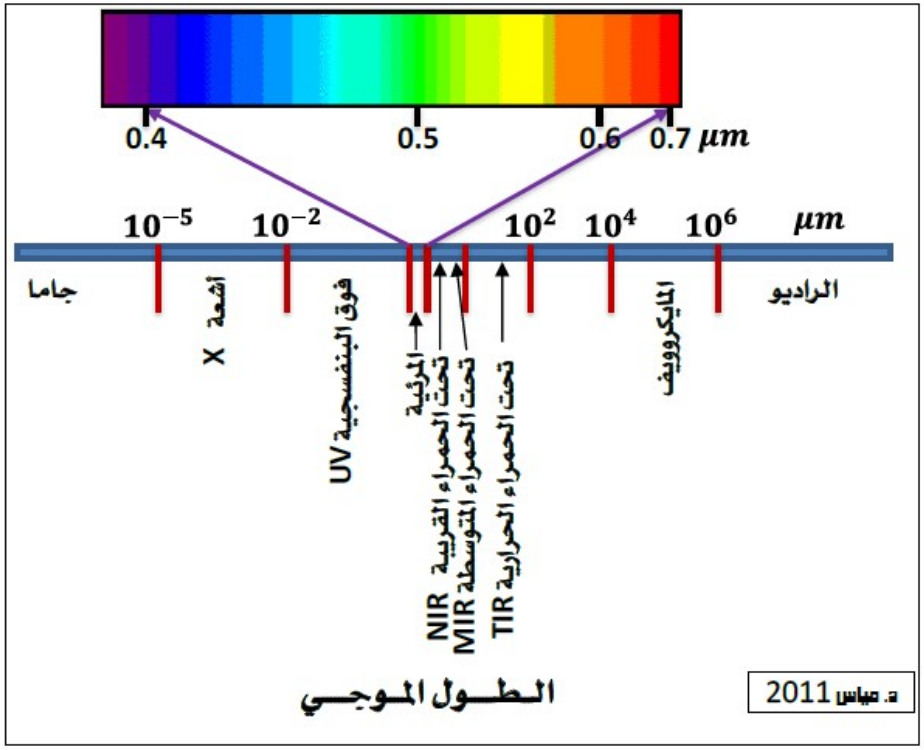
❑يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من عدة نطاقات طيفية، بدءا بالموجات القصيرة مثل أشعة غاما والأشعة السينية، إلى الموجات ذات الطويلة مثل المايكروويف وموجات الراديو، ويقع نطاق الطيف المرئي ضمن نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي (شكل 7).

❑أجهزة الاستشعار عن بعد تعمل بنظام يشبه نظام العين البشرية. عين الإنسان حساسة فقط لموجات الأشعة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي (0.4 إلى $0.7\mu m$) ، بينما أجهزة الاستشعار عن بعد حساسة لموجات الأشعة المرئية وغير المرئية .

❑يمكن تقسيم الأشعة تحت الحمراء (0.7 إلى $100\mu m$) إلى مجموعتين بناءا علي خصائصهما الإشعاعية: تحت الحمراء الانعكاسية (0.7 إلى $3\mu m$) مصدرها الشمس وتحت الحمراء الانبعاثية أو الحرارية (3 إلى $100\mu m$)مصدرها الأرض.

❑الجزء الذي أصبح حديثا مثيرا للاهتمام في الاستشعار عن بعد هو الأشعة القصيرة أو المايكروويف والذي يتراوح طول موجاتها بين 1 مليمتر إلى 1 متر. وهي تمثل أطول موجات الأشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد.

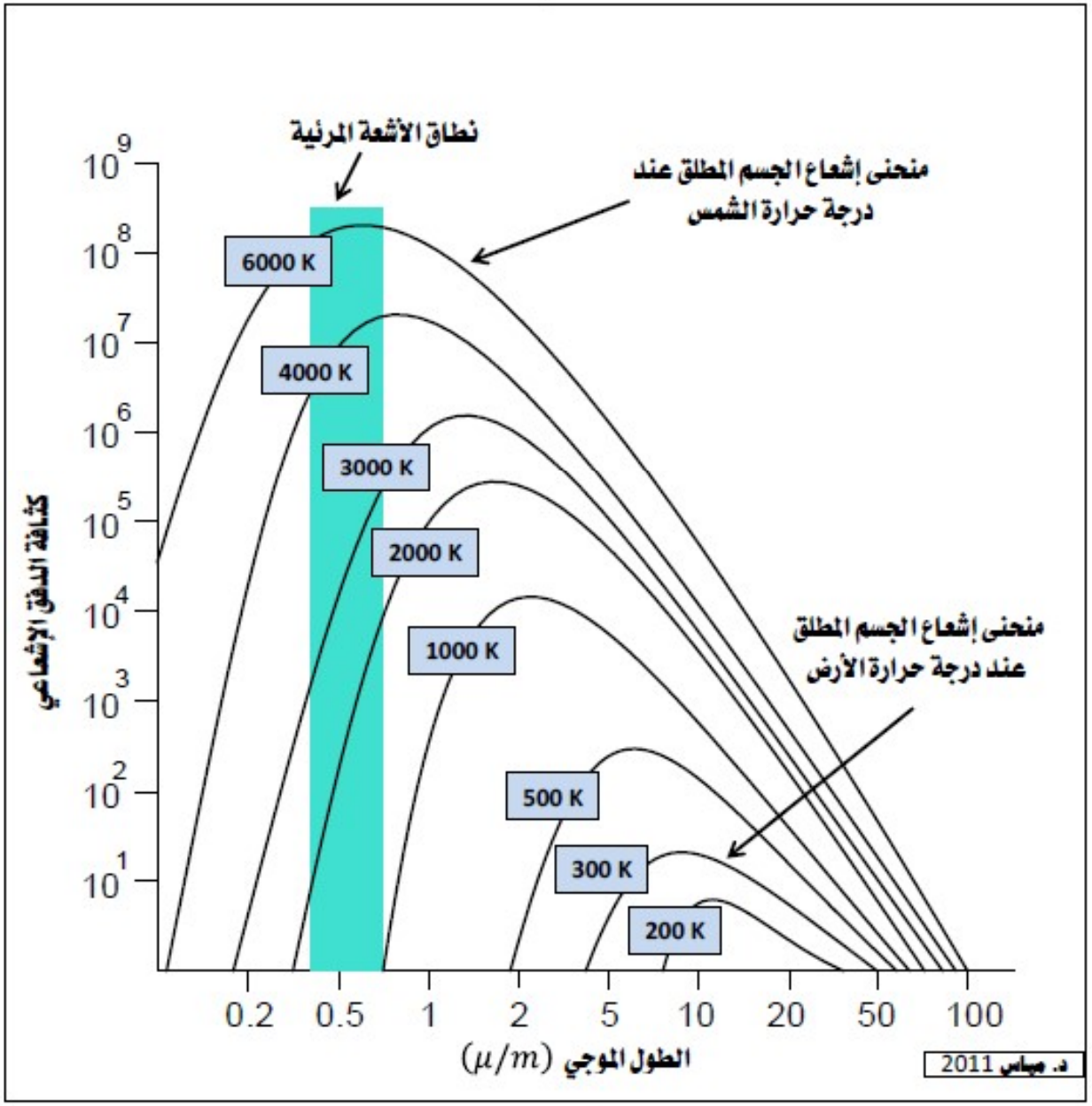
شكل 7 : نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي



مصادر الطاقة الكهرومغناطيسية

- تعتبر الشمس المصدر الرئيسي للطاقة الكهرومغناطيسية المستخدمة في تطبيقات الاستشعار عن بعد.
- ينبعث الإشعاع الكهرومغناطيسي من جميع المواد التي تزيد درجة حرارتها على الصفر المطلق (صفر كلفن) أي 273 درجة مئوية تحت الصفر (شكل 8).
- المنحنيات المبينة في الشكل 8 تشير إلى أنه كلما كانت درجة حرارة الجسم أعلى، كلما كان مقدار الإشعاع الكلي الذي ينبعث منه أكبر وطوله الموجي أقصر.
- نجد أن قيمة ذروة الانبعاث الحراري الأرضي المفترضة تبلغ $9.7\ \mu m$ بينما تبلغ $0.5\mu m$ عند ذروة الانبعاث الشمسي.
- تشع الشمس حوالي % 41 من طاقتها في نطاق الأشعة المرئية من 0.4 إلى $0.7\mu m$ و 59% الباقية في نطاق الأشعة الأقل من $0.4\mu m$ والأكبر من $0.7\ \mu m$.

شكل 8 : منحنيات توزيع طاقة الاجسام السوداء



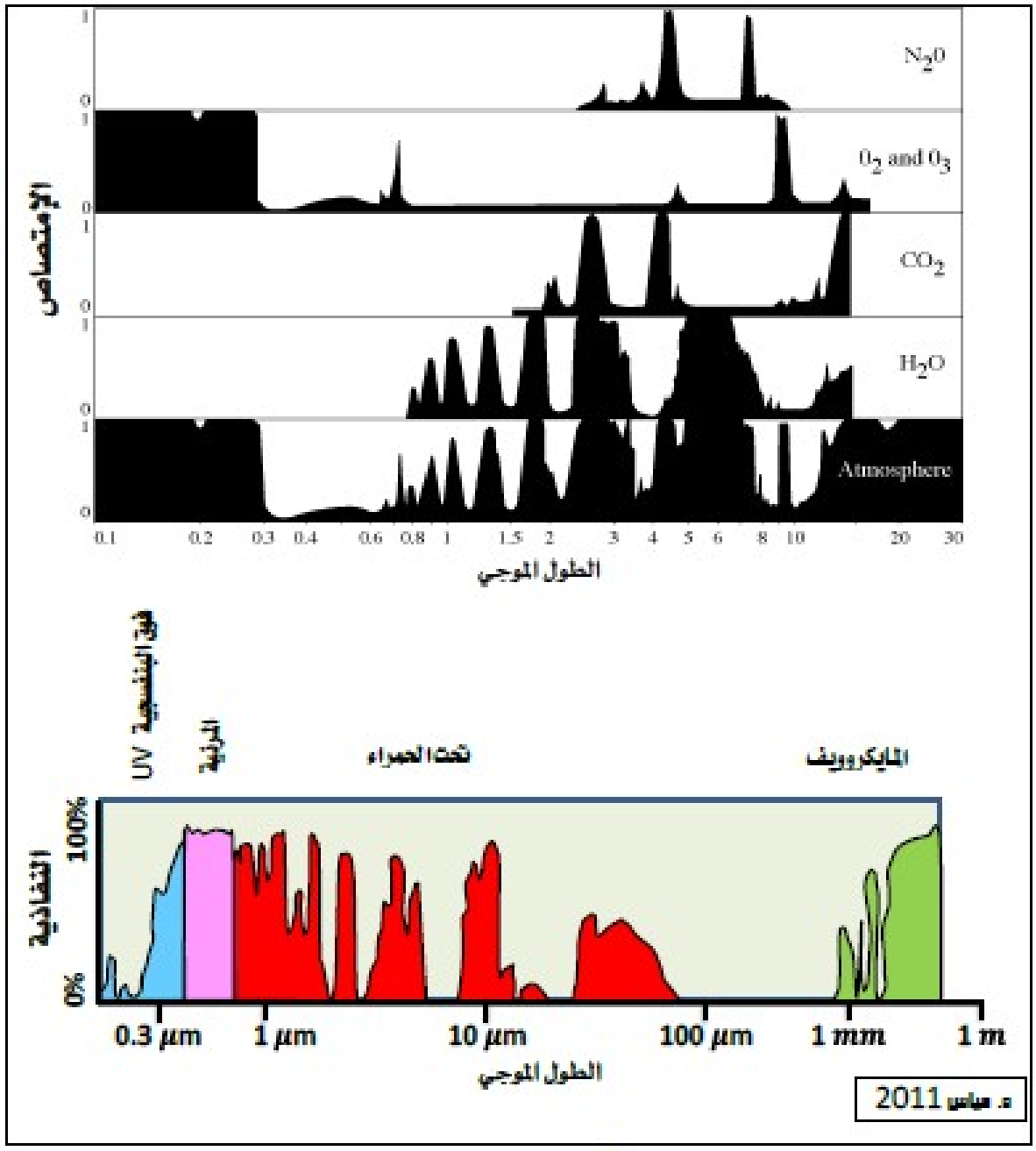
تأثير مواد الغلاف الجوي على الإشعاع الكهرومغناطيسي (شكل 9)

- يحتوي الغلاف الجوي على غازات كثيرة من أهمها الأوكسجين، والنيتروجين، والأوزون، وثاني أكسيد الكربون وجزيئات بخار الماء والغبار والدخان.
- تؤثر جزيئات هذه المواد على الإشعاع الكهرومغناطيسي أثناء مروره في الغلاف الجوي، فتؤدي إلى امتصاصه أو تشتيته.

الامتصاص

- عملية الامتصاص تؤدي إلى فقدان جزء كبير من الإشعاع الكهرومغناطيسي .
- جزيئات بعض الغازات الموجودة في الغلاف الجوي تمتص الإشعاع الكهرومغناطيسي لموجات معينة .
- يعد بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون والأوكسجين أهم الغازات التي تمتص الإشعاع الكهرومغناطيسي .
- الأشعة فوق البنفسجية تمتصها طبقة الأوزون الموجودة في الطبقات العليا من الغلاف الجوي.
- يمتص ثاني أكسيد الكربون الإشعاع بقوة في نطاق الأشعة تحت الحمراء البعيدة من مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي لظاهرة الاحتباس الحراري.
- أما بخار الماء فيمتص جزء كبيرمن الأشعة تحت الحمراء إضافة إلى أجزاء بسيطة من الموجات القصيرة أوالميكروويف.
- نتيجة لعمليات الامتصاص فان جزءا من الطيف الكهرومغناطيسي لا يمكن استخدامه في الاستشعار عن بعد؛ وذلك لأن الإشعاع لا يستطيع أن ينفذ من خلال مواد الغلاف الجوي.
- النطاقات التي تسمح بانتقال الأشعة (موجات الأشعة التي تسمح مواد الغلاف الجوي بمرورها) يطلق عليها نوافذ الغلاف الجوي، وهي التي يمكن استخدامها لجمع المعلومات عن الظواهر الأرضية بواسطة أجهزة الاستشعار عن بعد.
- بالنظر إلى الشكل 9 يتبين أن موجات الأشعة المرئية وموجات الأشعة تحت الحمراء وموجات أشعة الميكروويف هي الموجات التي تسمح لها مواد الغلاف الجوي بالمرور، ولذا فهي الموجات التي تستخدم لجمع المعلومات بوسائل الاستشعار عن بعد.

شكل 9 : امتصاص ونفاذية الأشعة الكهرومغناطيسية الشمسية بواسطة غازات الغلاف الجوى



التشتت (التبعثر)

❑التشتت هو عملية تؤدي إلى انعكاس انتشاري للأشعة بالتساوي في جميع الاتجاهات بسبب مواد الغلاف الجوي (شكل 10).

❑ تختلف درجة تشتت الإشعاع الكهرومغناطيسى تبعا لاختلاف طول موجاتها؛ حيث أن معدل التشتت يتناقص بزيادة طول موجة الإشعاع؛ ولذا فانه يؤثر بشكل رئيسي في الأشعة المرئية.

❑يعد تشتت رايلي وتشتت مي والتشتت غير الانتقائي أهم أنواع التشتت في الغلاف الجوي.

تشتت رايلى

❑يحدث تشتت رايلي عندما تكون أقطار جزيئات المواد أصغر بكثير من طول موجة الإشعاع، وذلك مثل جزيئات الأوكسجين والنيتروجين ويعتبرالتشتت السائد في الطبقات العليا من الغلاف الجوي.

❑يزداد تأثير تشتت رايلي في الموجات القصيرة، وخصوصا موجات الأشعة الزرقاء والأشعة فوق البنفسجية.

❑هو السبب في رؤيتنا السماء باللون الأزرق خلال النهار حيث أن ضوء الشمس عندما يمر بالغلاف الجوي فان الموجات القصيرة (الأزرق) من الضوء المرئي ستشتت و تنتشر بدرجة أكبر من الموجات الأطول. ولهذا السبب فإن موجات الأشعة الزرقاء لا تستخدم في التصوير من الفضاء. عند شروق الشمس وغروبها فإن أشعة الشمس تقطع مسافة أطول أثناء مرورها بالغلاف الجوي مما يؤدي إلى تشتت الموجات الحمراء والخضراء ولذلك تبدو السماء برتقالية أو حمراء.

تشتت مي

❑يحدث عندما تكون أقطار الجزيئات مساوية لطول الموجة، خصوصا عندما تكثر جزيئات الماء والغبار في الغلاف الجوي.

❑يؤثر هذا النوع من التشتت على الموجات الطويلة بدرجة أكبر من الموجات القصيرة، ومن ثم فهو يحدث في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي وخاصة عندما تكون السحب معتمة أو غائمة.

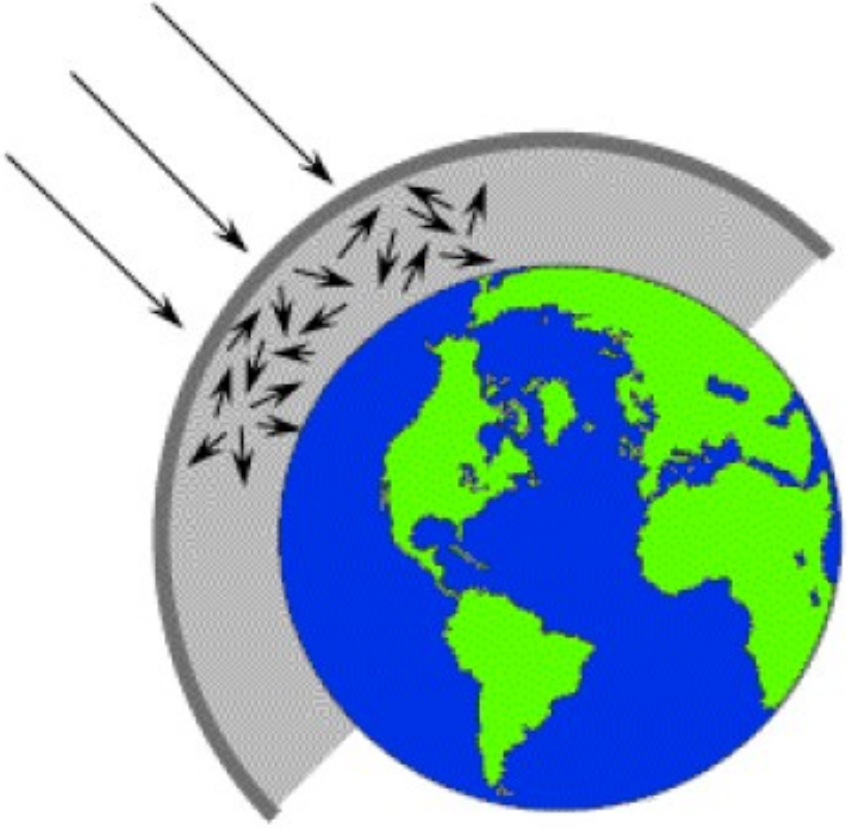
التشتت غير الانتقائي

❑يحدث التشتت غير الانتقائي عندما تكون أقطار الجزيئات أطول بكثير من طول الموجة مثل قطرات الماء الموجودة في السحب أو الضباب.

❑يؤثر هذا النوع من التشتت علي جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية.

❑هو المسبب لظهور الضباب والسحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الموجات الزرقاء و الخضراء و الحمراء ستشتت بنفس الدرجة.

شكل 10 : تشتت الأشعة الكهرومغناطيسية الشمسية بسبب مواد الغلاف الجوى

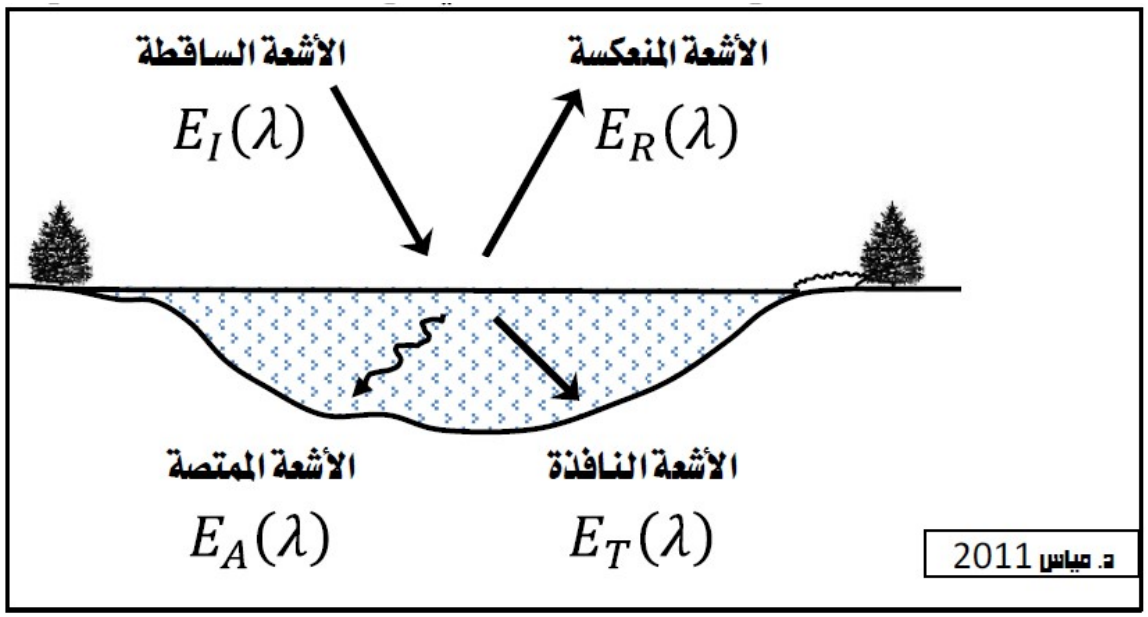


تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية مع مظاهر سطح الأرض

❑يعتبر الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس من سطح الأرض من أهم المواضيع التي يجب التركيز عليها ودراستها بشكل كامل، لأنه يحدد خصائص الانعكاس من الأجسام الموجودة على سطح الأرض.

❑تحدث ثلاثة أنواع من تفاعلات الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الأجسام على سطح الأرض هي (الانعكاس، والامتصاص، والنفاذية)، كما هو موضح في (شكل 11).

شكل 11: تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الظواهر على سطح الأرض



❑ تعتمد خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة والممتصة والنافذة على الطول الموجي للطاقة الكهرومغناطيسية ونوعية وحالة الأجسام على سطح الأرض، مما يسمح بإمكانية تمييز مختلف الأجسام الظاهرة في المرئية الفضائية، ويمكن عرض العلاقة المتبادلة بين الأنواع السابقة من خلال المعادلة :

$$E_I = E_R + E_A + E_T$$

حيث أن:

E_I الإشعاع الساقط

E_R الإشعاع المنعكس

E_A الإشعاع الممتص

E_T الإشعاع النافذ

❑تتغير خصائص الإشعاع بأنواعه المنعكس، والممتص، والنافذ، مع مختلف الأجسام على سطح الأرض تبعا لنوعية المادة وظروفها، مما يسمح بالتمييز بين تلك الأجسام.

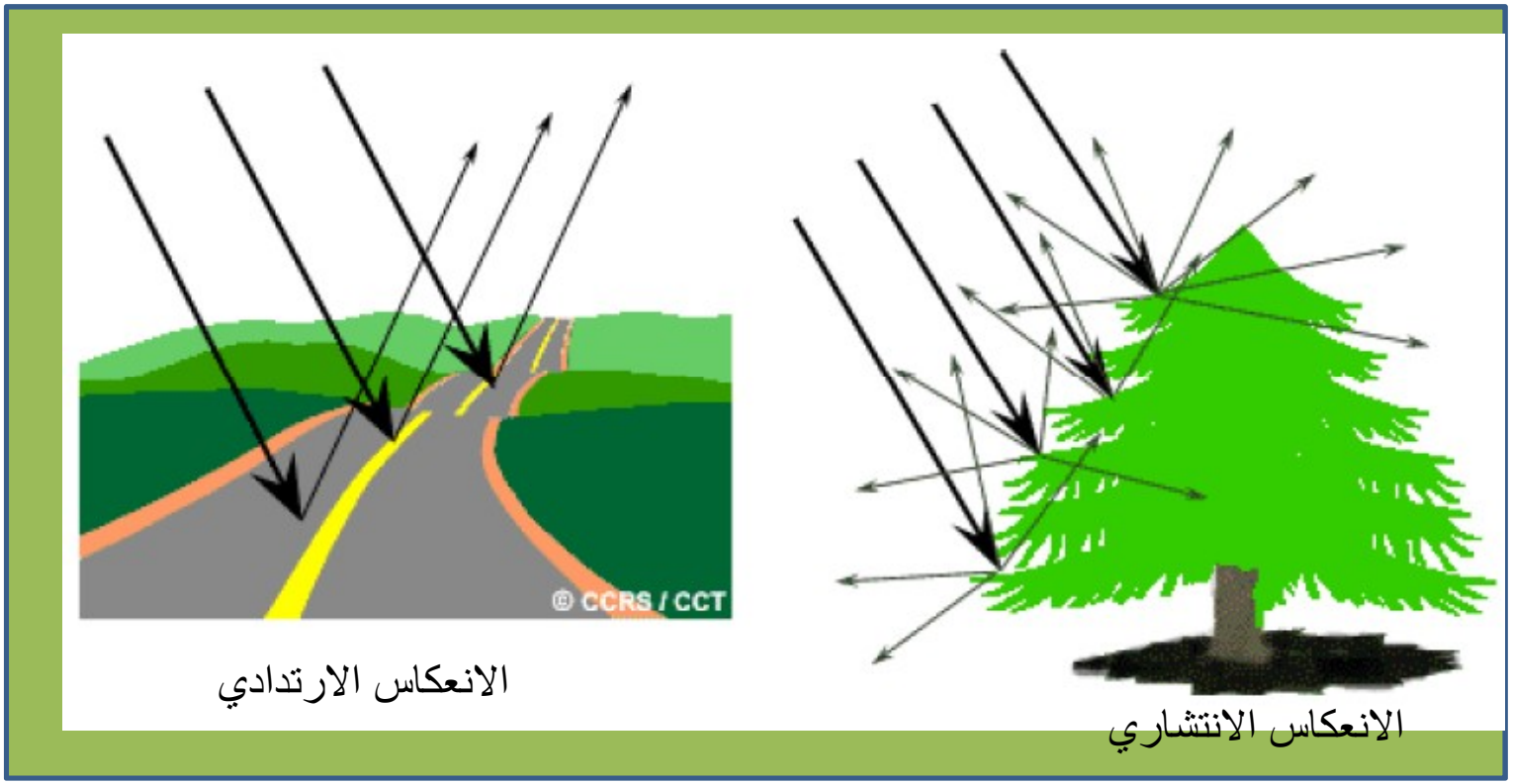
❑ تختلف الأطوال الموجية المنعكسة من جسم الآخر على سطح الأرض، وبما أن أنظمة الاستشعار عن بعد تعمل في عدة نطاقات موجية، فلا يمكن تمييز ظاهرتين مختلفتين في نطاق طيفي واحد، ولكن يمكن تمييز إحداهما عن الأخرى عند اختلاف أطوال موجات الأشعة، فتغير طول الموجة ضمن نطاق الطيف المرئي يعطي تغيرا في اللون، فنجد أن الجسم الذي يظهر بلون أحمر يمتص جميع الأطياف ويعكس القسم الأحمر من الطيف.

تعتمد اتجاهات الأشعة المنعكسة بدرجة كبيرة على العلاقة بين خشونة السطح وطول الموجة (شكل 12) :

❑إذا كانت فروق الارتفاع على السطح أقل من طول الموجة الساقطة عليه فان الإشعاع ينعكس بزاوية مساوية لزاوية الإشعاع الساقط وهذا النوع من الانعكاس يسمى الارتدادي .

❑أما اذا كانت فروق الارتفاع على السطح أكبر من طول الموجة الساقطة عليه فان الإشعاع ينعكس بشكل متساو في جميع الاتجاهات، ويسمى الانعكاس الانتشاري.

شكل 12: انواع الانعكاس حسب طبيعة السطح



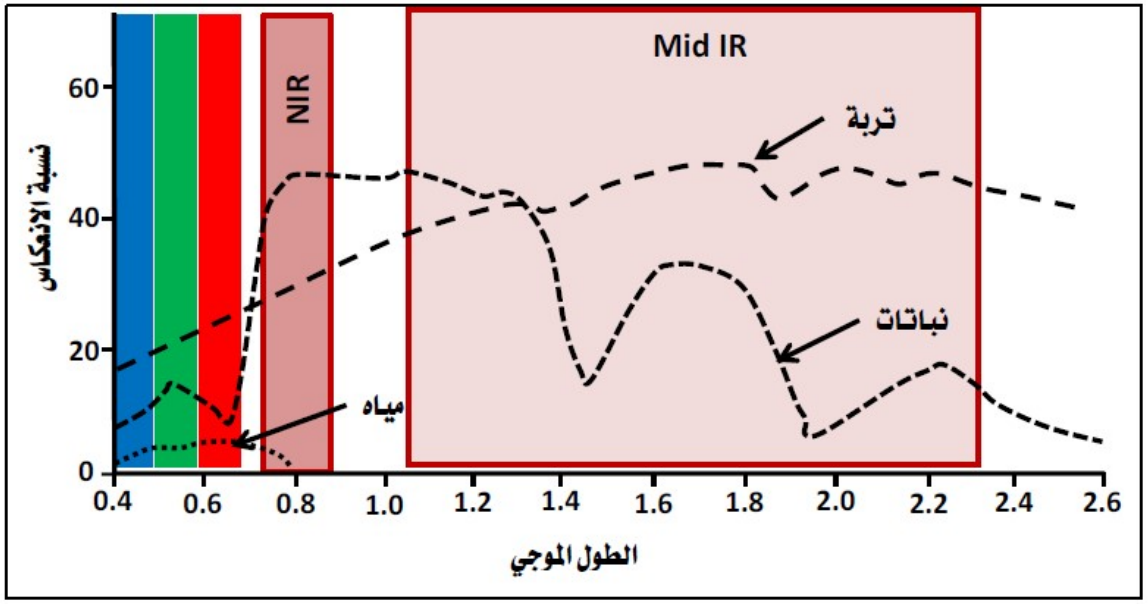
يهتم علم الاستشعار عن بعد بتمييز مختلف الظواهر على سطح الأرض من خلال اختلاف كل ظاهرة عن الظواهر المحيطة بها، ويطلق على هذه الخاصية مصطلح البصمة الطيفية، ويتم ذلك بواسطة معرفة الطول الموجي للأشعة المنعكسة لكل ظاهرة (شكل 13).

وتصنف الظواهر الموجودة على سطح الأرض بحسب البصمة الطيفية إلى خمسة مظاهر رئيسية هي: النباتات والغابات، التربة والصخور، المعادن، المياه والثلوج، المظاهر البشرية.

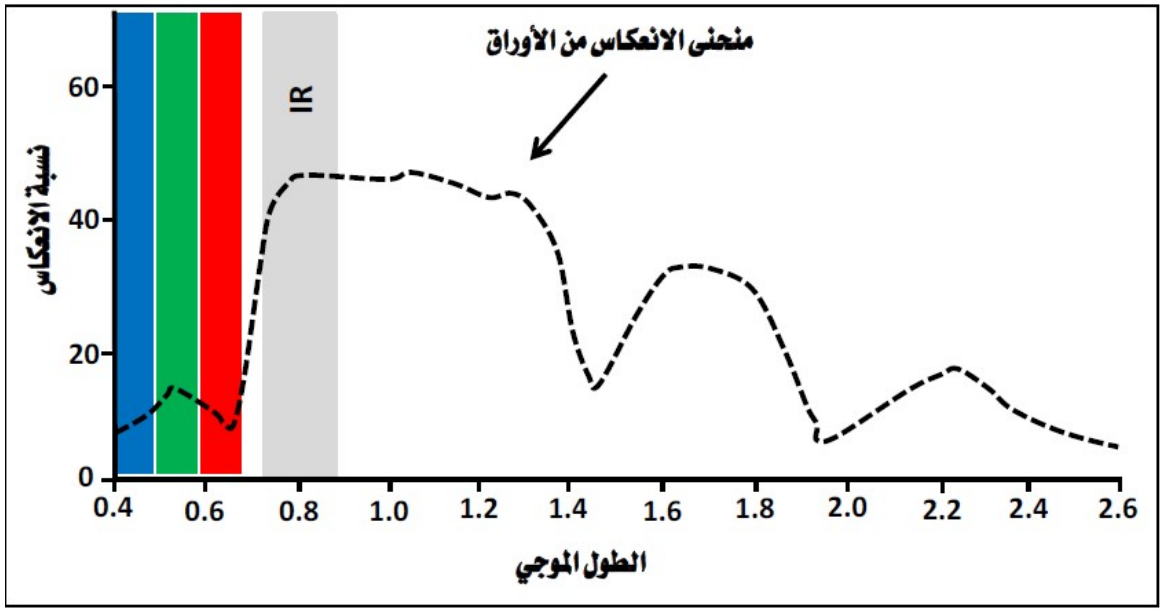
انعكاس الإشعاع الكهرومغناطيسي من النباتات (شكل 14).

- يختلف معامل انعكاس الإشعاع من النباتات باختلاف طول الموجة . فهو ينخفض في الطيف المرئي؛ وذلك لأن اليخضور يمتص معظم إشعاع الموجات الزرقاء والحمراء و يعكس الأشعة الخضراء؛ ليساعد النباتات على عملية التمثيل الضوئي ونتيجة لذلك تأخذ الأوراق اللون الأخضر.
- عندما ينخفض إنتاج الكلوروفيل في النباتات بسبب الأمراض، على سبيل المثال، يزداد انعكاس الإشعاع في الموجات الزرقاء والحمراء، ولذا فان معلومات الاستشعار عن بعد تمكن من تحديد المناطق المصابة بالأمراض في الحقول الزراعية.
- تعكس النباتات جزءا كبيرا من إشعاع الموجات تحت الحمراء القريبة بواسطة خلايا الورقة. فالنباتات تعكس حوالي 50% من الأشعة تحت الحمراء القريبة الواقعة بين 0.7 و 1.3 ميكرومتر والباقي من هذا الإشعاع ينفذ من خلال الأوراق.
- لأن تركيب خلايا أوراق النباتات يختلف من نبات إلى آخر، فان معامل انعكاس الموجات تحت الحمراء القريبة يختلف أيضا من نبات إلى آخر الأمر الذي يمكن من تمييز الأنواع المختلفة للنباتات.
- النباتات تعكس أو تمتص الإشعاع الساقط بموجات أطول من 1.3 ميكرومتر. لكن انعكاس هذا الإشعاع أو امتصاصه يعتمد على نسبة المياه في خلايا الورقة. فالانعكاس يزداد كلما قلت كمية المياه في الورقة بينما يزداد امتصاص هذا الإشعاع بزيادة كمية المياه فيها، وخصوصا عند الموجات 1.4 و 1.9 و 2.7 ميكرومتر؛ لأن الماء يمتص إشعاع هذه الموجات بشكل قوي.

شكل 13 :معدل الانعكاس الطيفي للنباتات و المياه و التربة



شكل 14 :منحنى الانعكاس المثالي للغطاء النباتي



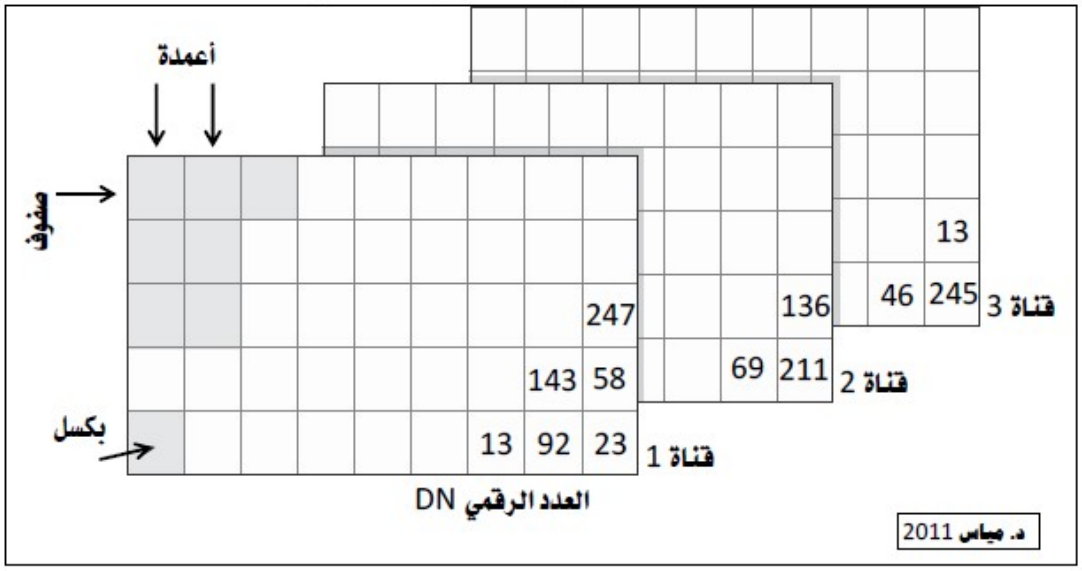
انعكاس الإشعاع الكهرومغناطيسي من المياه

- معظم الإشعاع الساقط على المياه تمتصه المياه أو تنفذه، وقليل منه تعكسه.
- يتم امتصاص أطوال الموجات الكبيرة من الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة بدرجة أكبر من تلك الأشعة ذات أطوال الموجة القصيرة. ومن ثم فان المياه تظهر باللون الأزرق أو الأزرق -الأخضر نتيجة الانعكاس القوي لهذه الموجات القصيرة.
- تظهر المياه داكنة عند رؤيتها بالأشعة تحت الحمراء.مما يجعل التباين بينها وبين مواد المسطح الأخرى كبيرا جدا في المرئيات المأخوذة في نطاق إشعاع الموجات تحت الحمراء.
- إذا وجدت مواد عالقة في الطبقة العليا من المسطح المائي فانها ستسبب في انعكاس أفضل و مظهر أكثر لمعانا ، ولذا فانه يمكن أيضا تقدير كمية المواد العالقة من تحليل بيانات الاستشعار عن بعد.
- إن الكلوروفيل في الطحالب يمتص الأشعة الزرقاء والحمراء بدرجة أكبر ويعكس اللون الأخضر مما يجعل المياه تظهر أكثر اخضرارا عند وجود الطحالب وهذا أيضا يمكن من معرفة تركيز النباتات.

الصورة الرقمية

❑الصورة الرقمية عبارة عن تمثيل تصويري على هيئة مرئية يتم عرضها بشكل رقمي كمصفوفة (x , y)، تتكون من عدد من الصفوف x بدءا من يسار الصورة إلى يمينها، وعدد من الأعمدة y بدءا من أعلى الصورة إلى أسفلها.
❑يتم تقسيم الصورة إلى مربعات صغيرة متساوية المساحة تسمى عناصر الصورة، وكل عنصر يسمى بكسل ويعتبر أصغر وحدة في الصورة.
❑يمثل كل بكسل درجة السطوع النسبي لظاهرة معينة (شكل 15)، ويظهر بألوان رمادية تتراوح بين الأسود وقيمته 0 واللون الأبيض وقيمته تعتبر أعلى قيمة في مقياس تدرج اللون الرمادي بحسب نوعية الصورة.
❑يحتوي كل بكسل على عدد صحيح موجب يسمى العدد الرقمي يمثل انعكاس الطاقة الكهرومغناطيسية من الجسم وقام المجس بتسجيلها.

شكل 15 :مكونات الصورة الرقمية



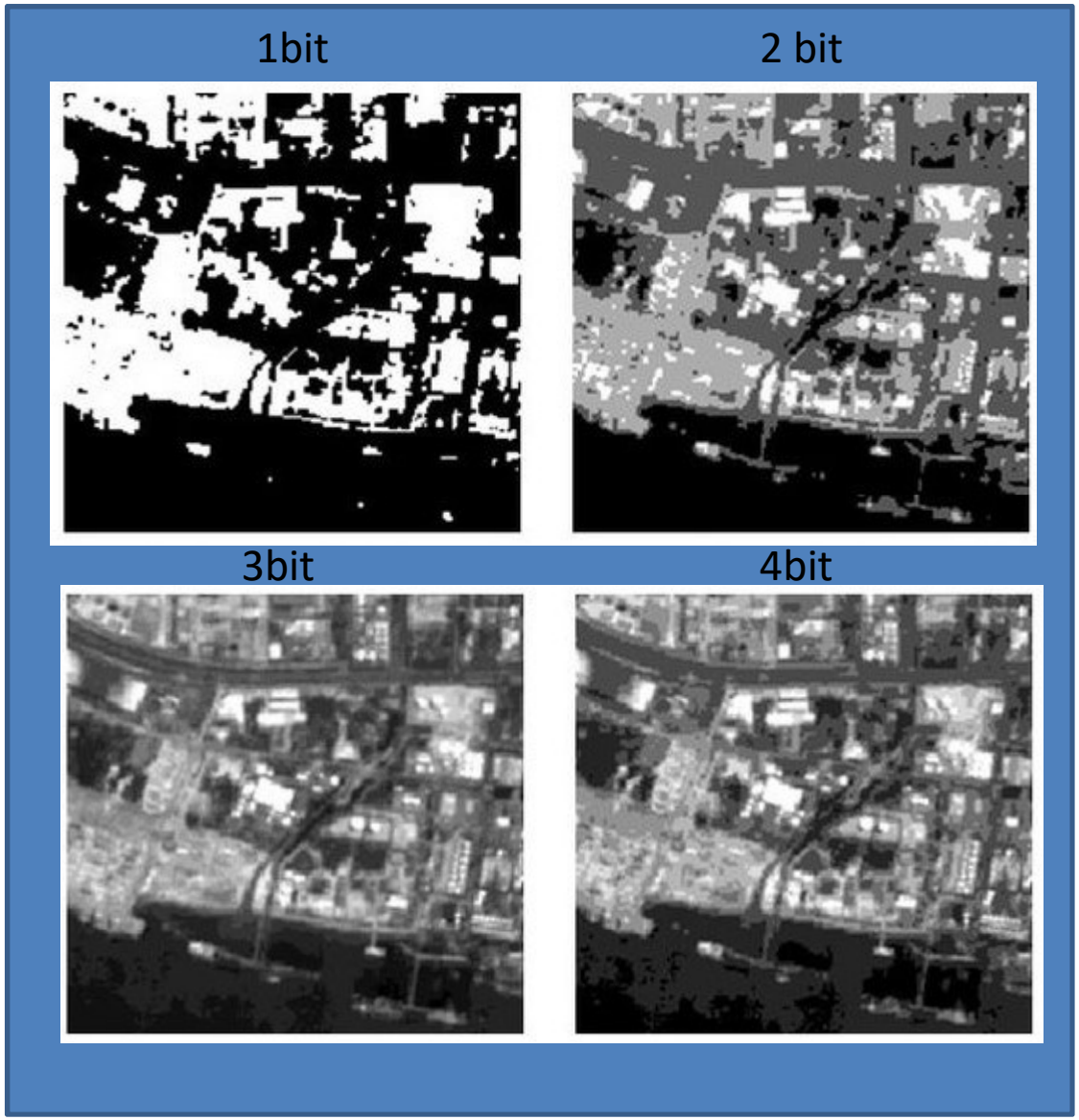
خصائص المرئيات الفضائية

تنقسم الخصائص العامة لمرئيات الاستشعار عن بعد إلى أربعة خصائص رئيسية هي الدقة الإشعاعية ، الدقة الطيفية ، الدقة المكانية،، والدقة الزمنية.

الدقة الإشعاعية

- تعرف الدقة الإشعاعية بأنها عدد درجات المقياس الرمادي التي يمكن ان يحتويها كل بيكسل في المرئية الفضائية.
- يتكون المقياس الرمادي من عدة درجات رقمية تتدرج صعودا من درجة اللون الأسود التي تكون قيمتها دائما صفر إلى درجة اللون الأبيض التي تكون قيمتها واحد إذا كان المقياس الرمادي مكونا من درجتين، أما إذا كان مكونا من 256 درجة فإن قيمة درجة اللون الأبيض تكون 255.
- يعبر عن الدقة الإشعاعية بما يعرف بالأرقام الثنائية (binary digits (bits.
- على سبيل المثال إذا كانت الدقة الإشعاعية تساوي 1bit فإن المقياس الرمادي يتكون من درجتين فقط ($2^1=2$) هما الأسود وقيمته صفر والأبيض وقيمته واحد. أما إذا إذا كانت تساوي 8bit فإن المقياس الرمادي يتكون من 256 درجة ($2^8=256$) تكون قيمة الأسود فيه صفر والأبيض 255 وما بينهما درجات مختلفة من اللون الرمادي.
- تكون الدقة الإشعاعية عالية كلما زاد عدد درجات المقياس الرمادي حيث يقل التعميم في الصورة وتزداد التفاصيل فيها (شكل 16).

شكل 16 :انواع الدقة الاشعاعية



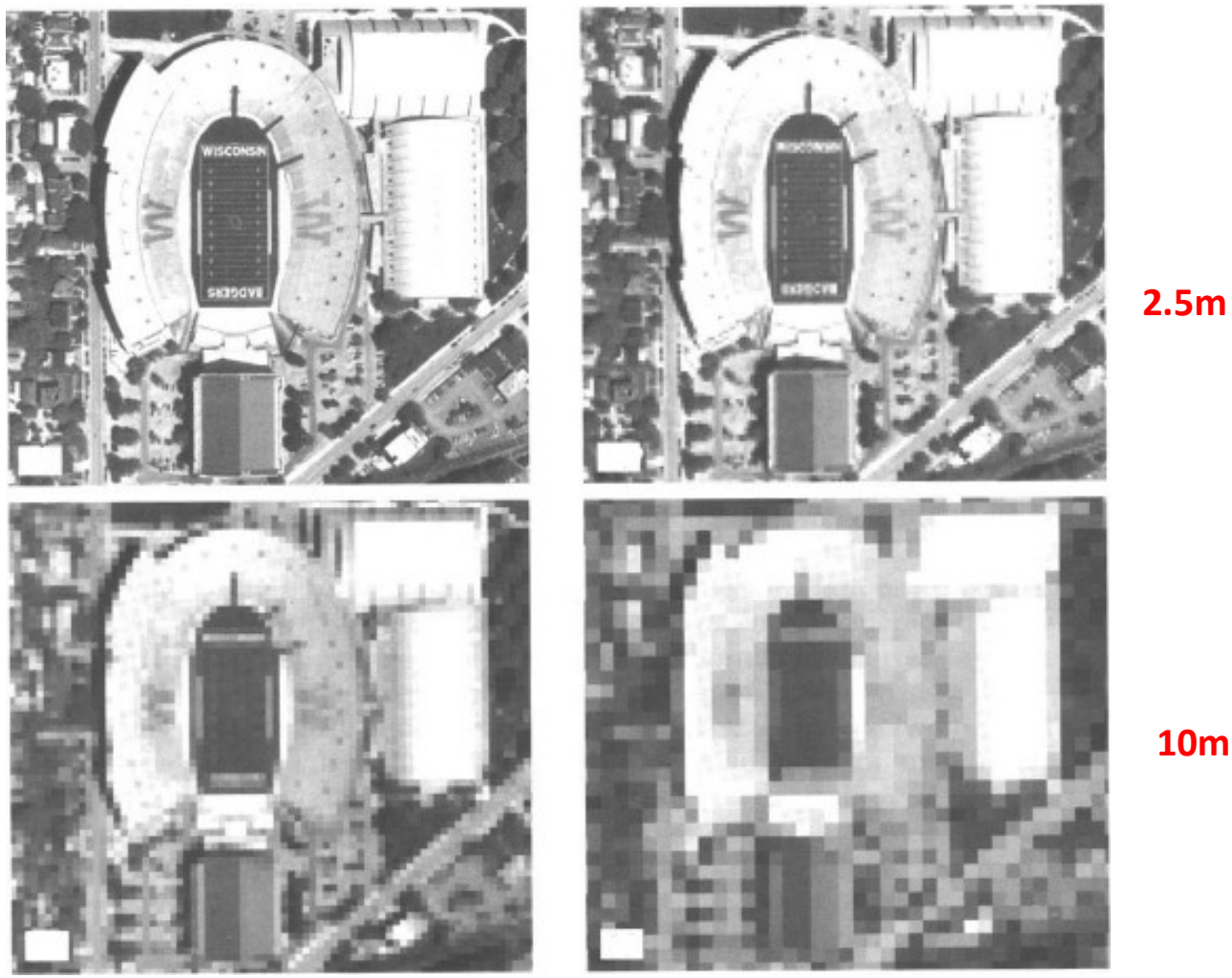
الدقة الطيفية

❑مصطلح الدقة الطيفية يشير إلى عدد وحجم القنوات الطيفية التي يستطيع المجس أن يسجلها.
❑على سبيل المثال، تحتوي الغابات على الكثير من الأشجار المتعددة والمتنوعة والتي لا يمكن تمييزها بسهولة وتختلف نسبة اخضرارها باختلاف نسبة الكلوروفيل فيها. لأن كل نوع له انعكاسه الطيفي الخاص فان الأمر يستوجب استخدام نطاقات طيفية دقيقة حتى يتم التمييز بين كل شجرة وأخرى بسهولة، ولذلك كلما تم تقسيم الطيف الكهرومغناطيسي إلى نطاقات ضيقة ومتعددة، فإن الطول الموجي في المرئية يصبح أضيق، وبالتالي يسهل التمييز بين الظواهر المختلفة.
وبشكل عام، تنقسم مرئيات الاستشعار عن بعد تبعا لدقتها الطيفية إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي :
❑مرئيات أحادية اللون: هناك نوعان من مرئيات الاستشعار عن بعد أحادية اللون، النوع الأول هي الحساسة للضوء المرئي وتسمى البنكروماتية، تقوم بجمع البيانات من منطقة الطيف المرئي والنوع الثاني مرئيات رادار التي تظهر بتدرجات اللون الرمادي وتظهر كمرئية تحتوي على قناة واحدة.
❑مرئيات متعددة النطاقات الطيفية تقوم بجمع البيانات من منطقة الطيف المرئي ومنطقة الأشعة تحت الحمراء، والأشعة الحرارية وتسجل البيانات في عدة قنوات قد تصل إلى 30 قناة.
❑مرئيات تحتوي على عدد كبير من النطاقات الطيفية (فائقة الأطياف) تجمع البيانات من منطقة الطيف المرئي ومنطقة الأشعة تحت الحمراء، وتسجل البيانات في قنوات يصل عددها إلى حوالي 900 قناة في المرئية الواحدة.

الدقة المكانية

❑يتم التعبير عن الدقة المكانية للمرئية الفضائية بحجم المساحة المغطاة على الأرض والممثلة داخل البكسل الواحد، وتمثل الدقة المكانية الحد الأدنى للفصل بين هدفين يمكن تمييزهما في المرئية الفضائية.
❑تكون الدقة المكانية عالية عندما تكون مساحة البكسل صغيرة وبالتالي تزداد القدرة على تمييز الظواهر الصغيرة والعكس صحيح (شكل 17).
❑على سبيل المثال إذا كانت الدقة المكانية في الصورة تساوي 30 متر فإن الأجسام التي تكون أبعادها مساوية لهذه القيمة أو أكبر منها يمكن رؤيتها وتمييزها على الصورة.
يمكن تصنيف المرئيات بحسب دقتها المكانية إلى ثلاثة أنواع هي:
❑المرئيات منخفضة الدقة المكانية هي المرئيات التي يزيد فيها حجم البكسل عن 100 m : تغطي المرئية مساحة شاسعة من الأرض بحيث قد تظهر قارة بأكملها في المرئية الواحدة، وتستخدم هذه المرئيات في دراسة الطقس، والتنبؤات الجوية، ودرجة حرارة اليابسة والماء، ومتابعة حركة الأعاصير.
❑المرئيات متوسطة الدقة المكانية هي المرئيات التي يتراوح فيها حجم البكسل بين 5m إلى 100 m وتغطي المرئية الواحدة مساحة تبلغ حوالي 150X 150 km، وقد يظهر فيها إقليم معين داخل المرئية، ويستخدم هذا النوع في التطبيقات الجيولوجية والزراعية وأنواع التربة وغير ذلك.
❑المرئيات عالية الدقة المكانية هي المرئيات التي يقل فيها حجم البكسل عن 5m وتستخدم في التطبيقات التي تحتاج إلى دقة عالية مثل التخطيط الحضري، والتنوع النباتي، والتطبيقات العسكرية.

شكل 17 :أنواع الدقة المكانية



الدقة الزمنية

- تعرف الدقة الزمنية بأنها الفترة الزمنية التي يستغرقها القمر الصناعي لإكمال دورة كاملة في مداره.
- عندما يقوم المجس بالتقاط مرئية لمنطقة ما يستمر في تغطية باقي المناطق على الأرض إلى أن يكمل دورة كاملة ويعود مرة أخرى لأخذ مرئية لنفس المنطقة تحتوي على نفس المشهد تماما، وبنفس زاوية التصوير.
- تتراوح الفترة الزمنية التي يستغرقها المجس لكي يزور نفس المنطقة مرة أخرى بين عدة ساعات، وحتى عدة أيام وذلك تبعا لنوع القمر الصناعي.
- بشكل عام، كلما كانت الفترة الزمنية اللازمة لعودة القمر الصناعي إلى نفس المنقطة قصيرة، كلما كانت الدقة الزمنية عالية والعكس صحيح.
- تتجلى أهمية الدقة الزمنية في رصد تغيرات أي ظاهرة أرضية معينة خلال فترة زمنية محددة مثل رصد التوسع العمراني، مراقبة نمو محصول زراعي معين، مراقبة الكوارث الطبيعية مثل رصد اتجاه الأعاصير والتنبؤ بالمناطق التي سيمر عليها، أو مراقبة المناطق التي تعرضت للفيضانات، مما يدعم صانع القرار.

أنظمة التصوير في مجسات الاستشعار عن بعد

أكثر أنواع أجهزة الاستشعار عن بعد شيوعا لتصوير الأجسام والظواهر الأرضية هي الأجهزة التي تعمل :
❑بنظام المسح في الاتجاه القاطع لمسار القمر الصناعي (شكل 18).
❑بنظام المسح في اتجاه مسار القمر الصناعي (شكل 19).

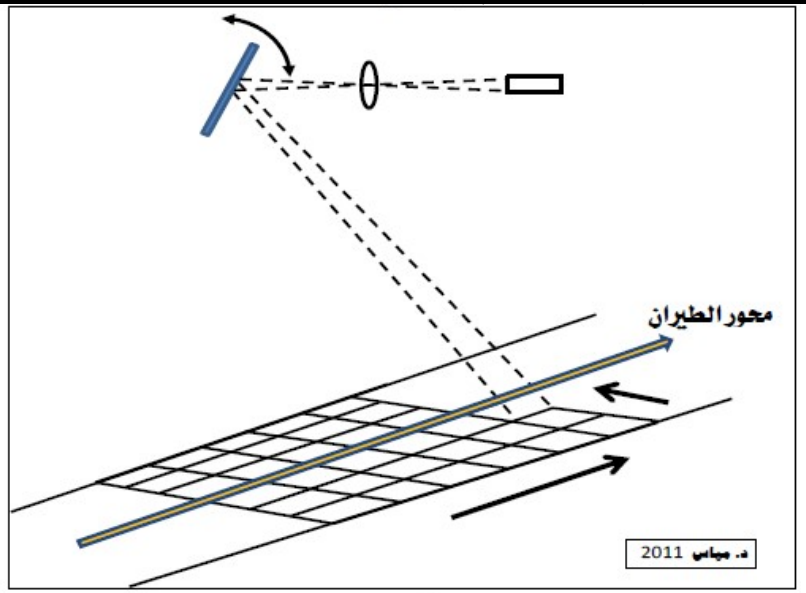
نظام المسح في الاتجاه القاطع لمسار القمر الصناعي

❑يستخدم هذا النوع من المجسات جهاز ماسح، بالإضافة إلى مرآة تدور بشكل متكرر تقوم بمسح وإسقاط مختلف مظاهر سطح الأرض بشكل خطوط منتظمة، خطا بعد خط، باتجاه عرضي، بينما يتحرك القمر الصناعي نحو الأمام، أي أن هذه الخطوط تتقاطع بزوايا قائمة مع خط الطيران، بحيث يقيس الماسح الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام بحسب الأطياف المراد تسجيلها، بدءا من بداية الخط وحتى نهايته، ثم ينتقل الماسح إلى الخط الذي يليه ويكرر نفس المسح.
❑تتراوح زاوية ميل فتحة الماسح بين °90 إلى °120وعندما تكتمل عدد الخطوط التي تم مسحها، يتم حفظها كمشهد كامل تمثل المرئية الفضائية، وبذلك تتكون المرئية الفضائية من مجموعة من الخطوط أو الصفوف المتعاقبة التي تم مسحها، بحيث تظهر بشكلها النهائي مكونة من بعدين هما الصفوف والأعمدة.
❑نظام المسح في الاتجاه القاطع لمسار القمر الصناعي يستخدم كاشفات صلبة لقياس الطاقة المنعكسة من الأجسام إلى المجس، ويقوم النظام البصري بتركيز الإشعاع القادم على سطح الكاشف، ثم تفصل عدة منشورات زجاجية الإشعاع القادم إلى نطاقات طيفية متعددة، ويتم تسجيلها بحسب الطول الموجي المخصص لكل طيف ويقوم الكاشف بتحويل الإشعاع الكهرومغناطيسي من فوتونات إلى إلكترونات، وتدخل الإلكترونات إلى جهاز إلكتروني يحدد مستوى الطاقة بحسب الوحدات المطلوب تسجيله.
❑تتميز أجهزة الاستشعار عن بعد التي تصمم وفقا لهذا النظام بأنها قادرة على التصوير في جزء واسع من الطيف الكهرومغناطيسي يمتد من 0.4 ميكرومتر إلى 1 ميلمتر 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).

نظام المسح في اتجاه مسار القمر الصناعي

- تستخدم هذه المجسات ماسحات خطية تقوم بمسح المنطقة كما في طريقة المسح السابقة، ولكنها تقوم بمسح الخط كاملا في وقت واحد.
- تعتبر هذه المجسات أفضل من سابقتها لأنها تستغرق وقتا أطول في مسح كل بكسل، مما يسمح بتسجيل الطيف الكهرومغناطيسي بشكل أدق ويقلل من أي أخطاء إشعاعية أو طيفية في المرئية ناتجة من الإشعاعات المنعكسة من الأجسام.
- يعتمد هذا النوع من المجسات على كاشفات لقياس الطاقة الكهرومغناطيسية، وهي مشابهة في وظيفتها للكاشفات الصلبة إلا أنها أكثر حساسية.
- من مميزات هذه المجسات عدم وجود أجزاء متحركة في نظم التشغيل مما يزيد من العمر الافتراضي ويقلل من متطلبات طاقة التشغيل.
- من مساوئ هذا النوع من المجسات صغر مساحة منطقة التغطية الأرضية ولتفادي ذلك فقد تم استخدام مرايا إضافية لتوسيع مساحة رؤية المجس، مما يتيح القدرة لعمل تغطية مجسمة.
- صعوبة تصميم هذه المجسات يحتم ضرورة توفير طاقة تبريد السطح العلوي للمجس عند استخدام هذه المجسات على طائرات المسح.
- تكون أجهزة الاستشعار عن بعد المصممة قادرة على التصوير في نطاقات الأشعة المرئية وتحت الحمراء المنعكسة الأقل طولا من 2.4 ميكرومتر.
- حتى الآن لا يمكن استخدام هذه التقنية للتصوير في نطاقات الأشعة تحت الحمراء الحرارية المنبعثة.

شكل 18 :نظام المسح في الاتجاه القاطع لمسار القمر الصناعي



شكل 19 : نظام المسح في اتجاه مسار القمر الصناعي