أسس وتطبيقات الاستشعار عن بعد

Fundamentals and Applications of Remote Sensing

الفصل الأول

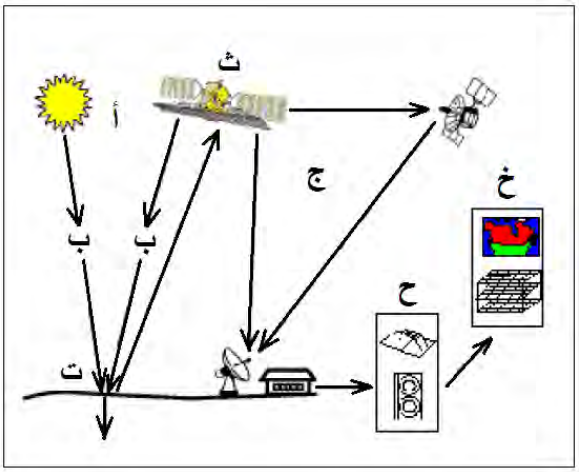
مقدمة

١-١ ما هو الاستشعار عن بعد ؟

الاستشعار عن بعد هو علم تجميع المعلومات عن سطح الأرض دون الاتصال أو التلامس الفعلي معه، وذلك من خلال تحسس و تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة ومعالجتها و تحليلها وتطبيق هذه المعلومات.

Remote sensing is the science of acquiring information about the Earth's surface without actually being in contact with it. This is done by sensing and recording reflected or emitted energy and processing, analyzing, and applying that information.

في معظم تقنيات الاستشعار عن بعد فأن هذه العملية تشمل التفاعل بين الاشعاع الساقط و الأهداف ذاتها. ولتبسيط هذه العملية فسنتحدث عن نظم التصوير حيث توجد سبعة عناصر متفاعلة مع بعضها (لاحظ أن هناك تقنيات غير تصويرية للاستشعار عن بعد) وهي كالتالي:



شكل (١-١) مكونات عملية الاستشعار عن بعد

أ. مصدر الطاقة أو مصدر الاضاءة:

يتمثل أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد في وجود مصدر طاقة Energy source يقوم بإضاءة أو توفير طاقة كهرومغناطيسية electromagnetic energy للأهداف المطلوبة.

ب. الاشعاع و الغلاف الجوي:

ستمر الطاقة من مصدرها و حتى وصولها للأهداف المطلوبة من خلال الغلاف الجوي atmosphere ومن ثم ستتفاعل معه. وقد يتم هذا التفاعل مرة أخري عندما تسير (أو تنعكس) الطاقة من الأهداف الي أجهزة الاستشعار أو المستشعرات sensors .

ت. التفاعل مع الأهداف:

عندما تمر الطاقة خلال الغلاف الجوي لتصل الي الاهداف فأنها تتفاعل مع كل هدف طبقا لخصائص كلا من الهدف و الاشعاع.

ث. تخزين الطاقة من خلال المستشعرات:

بعد أن تنعكس (أو تنبعث) الطاقة من الأهداف فأننا نحتاج لجهاز استشعار أو مستشعر sensor (من بعد و ليس متلامسا مع الهدف) لتجميع و تسجيل هذا الاشعاع الكهرومغناطيسي.

ج. الارسال و الاستقبال و المعالجة:

تحتاج الطاقة التي تم تسجيلها بواسطة المستشعرات الي ارسالها transmission في صورة الكترونية غالبا الي محطة استقبال reception و معالجة processing حيث يتم معالجة البيانات وتحويلها الي مرئية image (رقمية و أحيانا ورقية).

ح. التفسير و التحليل:

يتم تفسير interpretation و تحليل analysis المرئية المسجلة سواء بصريا أو رقميا بهدف استخراج المعلومات عن الأهداف التي تم تحسسها عن بعد.

خ. التطبيق:

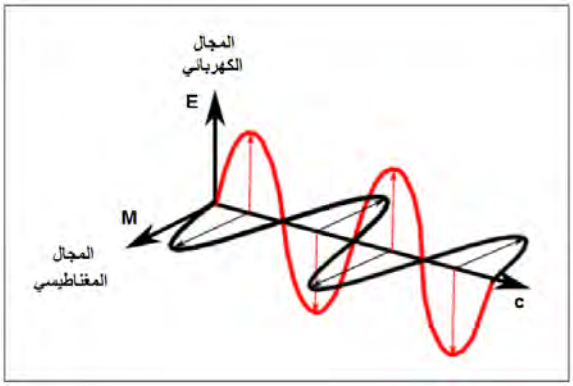
يتمثل العنصر الأخير من عناصر عملية الاستشعار عن بعد في تطبيق المعلومات التي تم الحصول عليها عن الأهداف بهدف الفهم الأفضل والحصول علي معلومات جديدة عن هذه الأهداف ومن ثم المساعدة في حل مشكلة معينة.

وسنستمر في تناول هذه العناصر السبعة لعملية الاستشعار عن بعد تفصيلا في الاجزاء القادمة.

١-٢ الاشعاع الكهرومغناطيسي:

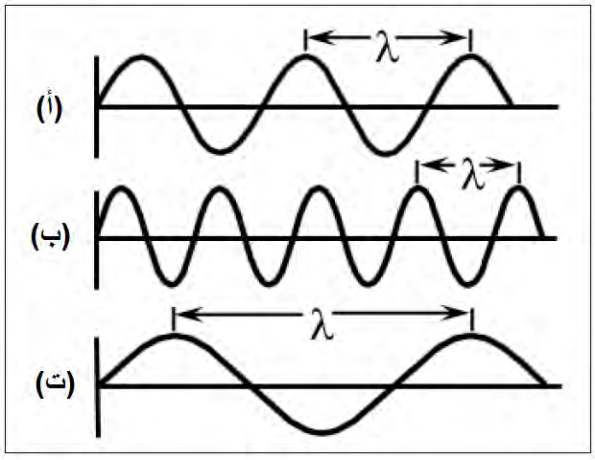
كما لاحظنا في الجزء السابق فأن أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد هو وجود مصدر طاقة يضئ الأهداف (في خالة أن الطاقة لا تنبعث من الأهداف ذاتها).وتكون هذه الطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وللإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص أساسية و يتصرف بطريقة محددة طبقا لقوانين نظرية الموجات.

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.



شكل (١-٢) الاشعاع الكهرومغناطيسي

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



شكل (١-٣) طول الموجة في الاشعاع الكهرومغناطيسي

طول الموجة wavelength هو طول دورة كاملة، ويمكن قياسه كمسافة بين قمتين متتاليتين، وعادة ما يرمز له بالحرف اللاتيني λ (لامدا). ويقاس طول الموجة بوحدات المتر (m) أو أجزاء منه مثل النانو متر (nm) الذي يساوي جزء من بليون (10^{-9}) من المتر، أو الميكرو متر (μm) الذي يساوي جزء من مليون (10^{-6}) من المتر، أو السنتيمتر (cm) الذي يساوي جزء من مائة (10^{-2}) من المتر.

أما التردد frequency فهو عدد موجات الموجة في فترة زمنية محددة. ويقاس التردد بوحدات الهرتز hertz (Hz) وهو موجة واحدة في الثانية، ومضاعفات الهرتز.

والعلاقة بين طول الموجة و التردد تعبر عنها المعادلة التالية:

$$c = \lambda v \qquad (1)$$

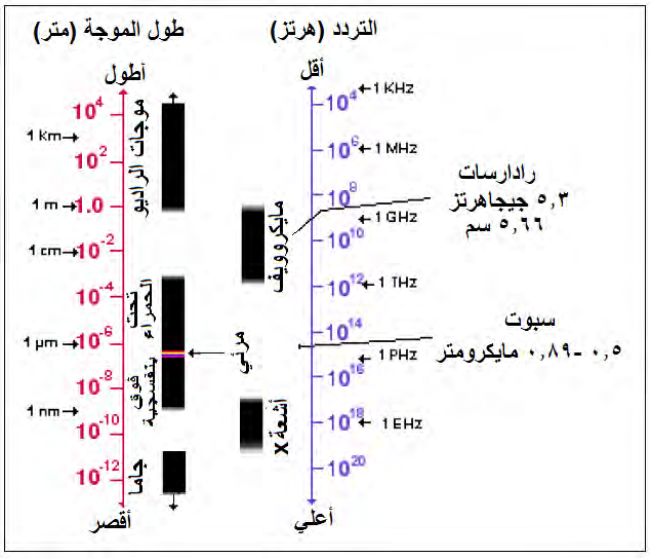
حيث:

- c سرعة الضوء = 3×10^{8} متر/ث،
- λ طول الموجة بالمتر،
- v التردد (بالهرتز أي عدد الموجات/ث).

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.

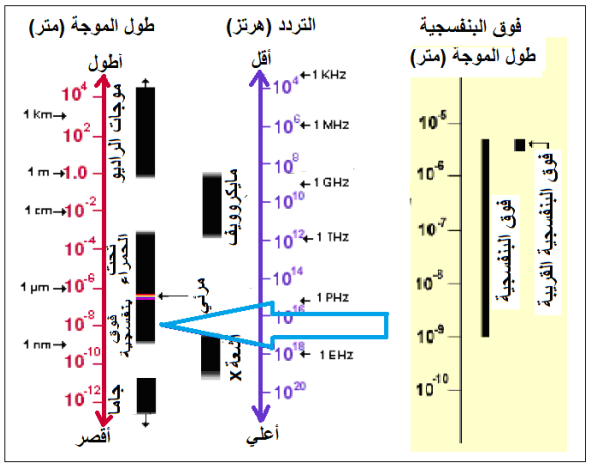
١-٣ المجال الكهرومغناطيسي:

يتراوح المجال الكهرومغناطيسي electromagnetic spectrum بين أطوال موجات قصيرة (مثل أشعة جاما gamma و الاشعة السينية x-ray) وأطوال موجات طويلة (مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف microwaves و موجات الراديو radio waves). وهناك عدة مناطق في المجال الكهرومغناطيسي مفيدة للاستشعار عن بعد.



شكل (١-٤) المجال الكهرومغناطيسي

لعدة أهداف فأن الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (أو اختصارا UV) لها أقصر طول موجة مما يجعلها عملية لبعض أنواع الاستشعار عن بعد. وهذا الجزء من المجال الكهرومغناطيسي يقع مباشرة خلف الاشعة البنفسجية من الضوء المرئي، ومن هنا جاء أسمه. وتوجد بعض مواد سطح الأرض - خاصة الصخور والمعادن - ينبعث منها ضوءا مرئيا عندما تقع عليها الأشعة فوق البنفسجية.

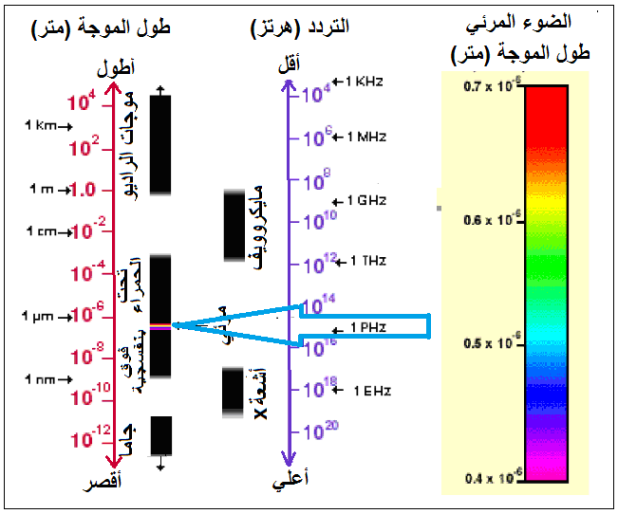


شكل (١-٥) الأشعة فوق البنفسجية

ان الضوء الذي تراه أعيننا هو جزء من المجال الكهرومغناطيسي المرئي visible spectrum. ومن الجدير ملاحظة كم هو قليل بالمقارنة ببقية المجال الكهرومغناطيسي كما هو موضح بالشكل التالي. أي أن هناك الكثير من أنواع الاشعاع حولنا لكن أعيننا لا تستطيع رؤيتها، ولذلك تسمي أشعة غير مرئية invisible، لمن يمكن تحسسها أو استشعارها من خلال أجهزة الاستشعار ومن

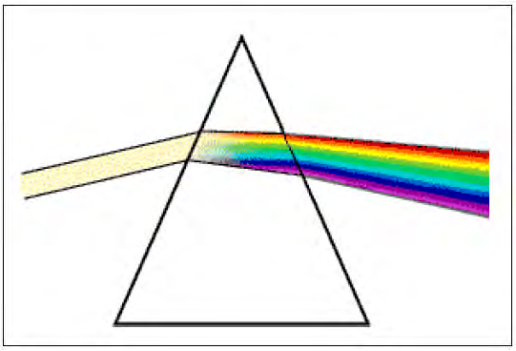
ثم الاستفادة منها. يغطي الضوء المرئي مجالا يتراوح بين ٠.٤ الي ٠.٧ مايكرومتر. واللون أو الضوء الأحمر له أطول موجة في مكونات الضوء المرئي، بينما اللون البنفسجي له أقصر طول موجة كما هو موضح بالشكل التالي. ونشمل مكونات الضوء المرئي الألوان التالية:

- البنفسجي violet : طول موجة ٠.٤ - ٠.٤٤٦ مايكرومتر
- الأزرق blue : طول موجة ٠.٤٤٦ - ٠.٥٠٠ مايكرومتر
- الأخضر green : طول موجة ٠.٥٠٠ - ٠.٥٧٨ مايكرومتر
- الأصفر yellow : طول موجة ٠.٥٧٨ - ٠.٥٩٢ مايكرومتر
- البرتقالي orange : طول موجة ٠.٥٩٢ - ٠.٦٢٠ مايكرومتر
- الأحمر red : طول موجة ٠.٦٢٠ - ٠.٧ مايكرومتر



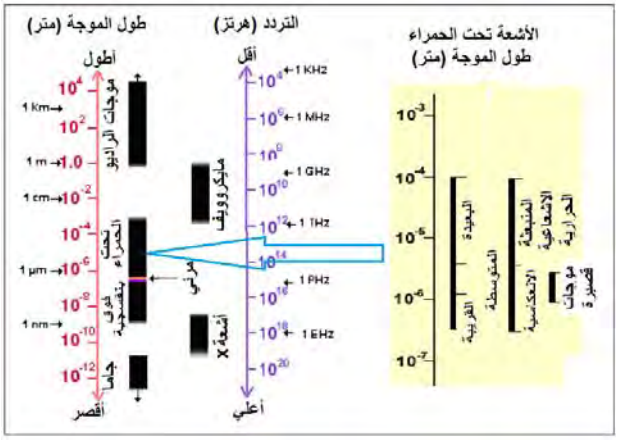
شكل (١-٦) الضوء المرئي

ويعد الأزرق و الأخضر و الأحمر الألوان الأساسية في المجال المرئي، وذلك بسبب أن أي لون أساسي لا يمكن أن يتكون من الألوان الأخرى بينما كل الألوان الأخرى مركبة من هذه الألوان الأساسية. ومع أننا نري ضوء الشمس كأنه لون متجانس homogeneous أو منتظم uniform إلا أنه في الحقيقة مركب من عدة مركبات أو عدة أطوال موجة من مجال الاشعاع وخاصة الاشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ويمكن رؤية مكونات الجزء المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي عندما نمرر الضوء من خلال منشور prism كما في الشكل التالي:



شكل (١-٧) مركبات الضوء المرئي

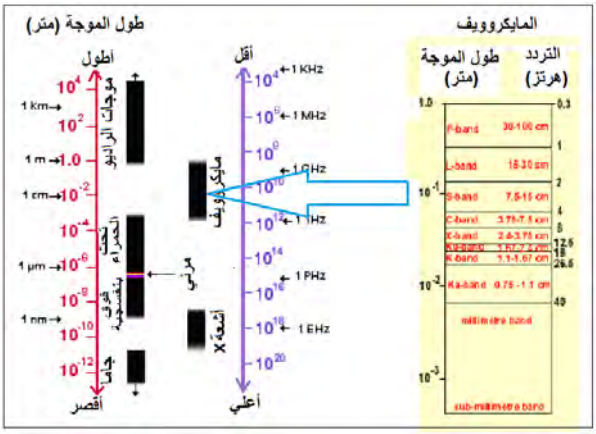
الجزء التالي الهام من المجال الكهرومغناطيسي هو الاشعة تحت الحمراء Infrared (أو اختصارا IR) والذي يغطي أطوال موجات من ٠.٧ تقريبا الي ١٠٠ مايكرومتر، أي أنه مائة مرة أعرض من الجزء المرئي. ويمكن تقسيم الاشعة تحت الحمراء الي مجموعتين بناءا علي خصائصهما الاشعاعية: تحت الحمراء الانعكاسية Reflected IR وتحت الحمراء الانبعاثية أو الحرارية Thermal IR. تستخدم الاشعة تحت الحمراء في الاستشعار عن بعد بطريقة تماثل استخدام الضوء المرئي. والأشعة تحت الحمراء الانعكاسية تغطي أطوال موجات تقريبا من ٠.٧ الي ٣.٠ مايكرومتر. أما الاشعة تحت الحمراء الحرارية فتختلف تماما عن الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء الانعكاسية، فهذا الجزء من الطاقة الكهرومغناطيسية ينبعث أساسا من سطح الأرض في صورة حرارة. و تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوال موجات تقريبا من ٣.٠ الي ١٠٠ مايكرومتر.



شكل (١-٨) الأشعة تحت الحمراء

الجزء الذي أصبح حديثا مثارا للاهتمام في الاستشعار عن بعد هو الأشعة القصيرة أو المايكروويف microwave والذي يتراوح طول موجته ما بين ١ ملليمتر الي ١ متر. وهذا يمثل أطول موجات الاشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد. وأشعة المايكروويف قصيرة طول الموجة لها خصائص

مماثلة لخصائص الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما تستخدم الاشعة طويلة الموجة في البث التلفزيوني و الاذاعي.

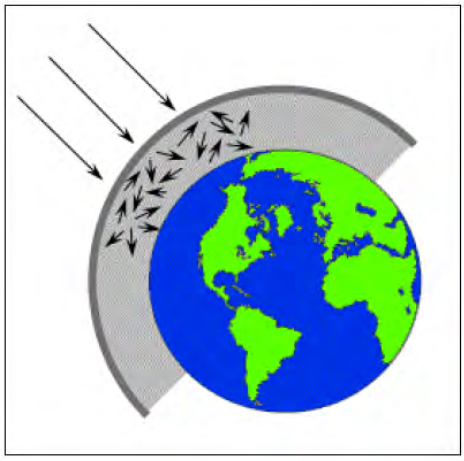


شكل (١-٩) أشعة المايكروويف (الأشعة القصيرة)

١-٤ التفاعل مع الغلاف الجوي:

قبل أن يصل الاشعاع المستخدم في الاستشعار عن بعد الي سطح الأرض فأنه يمر بطبقات الغلاف الجوي، ومن الممكن أن تؤثر الجزئيات و الغازات الموجودة في الغلاف الجوي علي هذا الاشعاع. وتكون أسباب هذه التأثيرات ما يعرف بالتشتت و الامتصاص.

يحدث التشتت scattering عندما توجد جزئيات كبيرة من الغازات في الغلاف الجوي مما يجعل الاشعاع الكهرومغناطيسي ينحرف أو يتشتت عن مساره الأصلي. ويعتمد حجم هذا التشتت علي عدة عوامل منها طول موجة الاشعاع ووفرة جزئيات الغازات و المسافة التي يقطعها الاشعاع خلال الغلاف الجوي.



شكل (١-١٠) التشتت في الغلاف الجوي

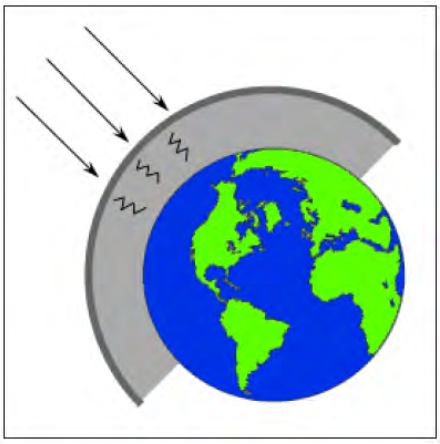
يوجد ثلاثة أنواع من التشتت:

- تشتت Rayleigh ويحدث عندما تكون الجزئيات صغيرة جدا بالمقارنة بطول موجة الاشعاع، مثل جزئيات النتروجين و الاكسجين و ذرات التراب. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة القصيرة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة الكبيرة، وهو نوع التشتت الأكبر في الطبقات العليا من الغلاف الجوي. وهذا التشتت هو السبب في رؤيتنا السماء باللون الأزرق خلال النهار حيث أن ضوء الشمس عندما يمر بالغلاف الجوي فأن الموجات القصيرة (الأزرق) من الضوء المرئي ستشتت و تنتشر بدرجة أكبر من الموجات الأطول موجة.

- تشتت Mie ويحدث عندما تكون الجزئيات بنفس حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب و الدخان و بخار الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة الطويلة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة القصيرة، ومن ثم فهو يحدث في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي وخاصة عندما تكون السحب معتمة أو غائمة.

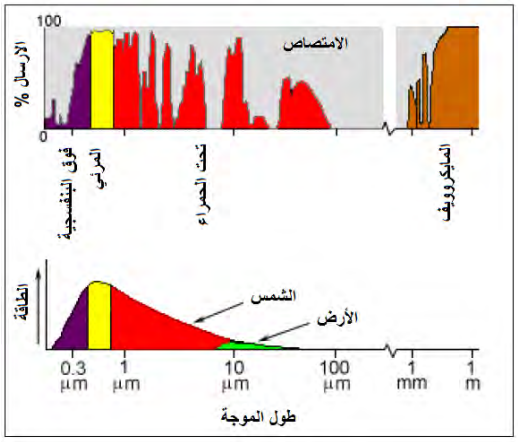
- التشتت غير الانتقائى nonselective ويحدث عندما تكون الجزئيات أكبر من حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب الكبيرة وقطرات الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية، وهو المسبب لظهور الضباب و السحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر ستشتت بنفس الدرجة.

يحدث الامتصاص absorption بصورة مغايرة للتشتت، فالامتصاص يتسبب في أن تقوم جزئيات الغلاف الجوي بامتصاص الطاقة في أطوال الموجات المختلفة. ويعد الاوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء العوامل الثلاثة المسببة للامتصاص. ان الاوزون يمتص الاشعاع فوق البنفسجي الضار للإنسان، ولولا وجود هذه الطبقة في الغلاف الجوي لاحترق جلد الانسان عند التعرض لأشعة الشمس. أما ثاني أكسيد الكربون فيمتص الاشعاع بقوة في نطلق الاشعة تحت الحمراء البعيدة من مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي لظاهرة الاحتباس الحراري. أما بخار الماء فيمتص الطاقة في كلا من نطاق الاشعة تحت الحمراء طويلة الموجة و أيضا الموجات القصيرة أو الميكروويف (بين ٢٢ مايكرومتر و ١ متر). ويختلف وجود بخار الماء في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي من مكان لآخر ومن وقت لآخر طوال العام، فعلي سبيل المثال فأن المناطق الصحراوية بها القليل من بخار الماء بينما المناطق المدارية بها تركيز أعلي من بخار الماء أي رطوبة عالية.



شكل (١-١١) الامتصاص في الغلاف الجوي

حيث أن هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في نطاق الطاقة فأنها تؤثر في تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في تطبيقات الاستشعار عن بعد. فالمناطق - داخل نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية - التي لا تتأثر بشدة بالامتصاص في الغلاف الجوي تكون مناطق مفيدة للاستشعار عن بعد، ومن ثم يطلق عليها اسم "نوافذ الغلاف الجوي atmospheric windows". وبمقارنة خصائص مصدري الطاقة (أي الشمس و الأرض) مع نوافذ الغلاف الجوي المتاحة فيمكننا تحديد أطوال الموجات التي يمكن استخدامها بكفاءة في عملية الاستشعار عن بعد. فالجزء المرئي من نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية يكون حساسا لنوافذ الغلاف الجوي و أيضا لقمة الطاقة الشمسية. أما الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض فأنها تكون في نافذة حوالي ١٠ مايكرومتر في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما النافذة الأكبر من أطوال الموجات بعد ١ ملليمتر تكون في نطاق الموجات القصيرة أو المايكروويف.



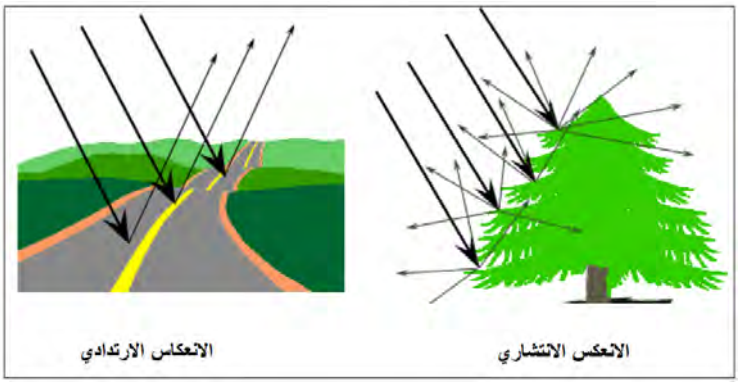
شكل (١-١٢) نوافذ الغلاف الجوي

١-٥ التفاعل مع الأهداف:

يمكن للإشعاع الذي لا يمتص أو يتناثر في الغلاف الجوي أن يصل و يتفاعل مع الأهداف الموجودة علي سطح الأرض. وهناك ثلاثة صور للتفاعل هذه الطاقة الساقطة I (كما في الشكل التالي): الامتصاص A ، النفاذ T ، الانعكاس I ، ويتم التفاعل مع الاهداف في واحدة أو أكثر من هذه الصور بناءا علي طول موجة الاشعاع و خصائص الأهداف ذاتها.

شكل (١-١٣) صور التفاعل مع الأهداف

يحدث الامتصاص absorption عندما يقوم الهدف بامتصاص الطاقة الساقطة بينما يحدث النفاذ transmission عندما يتم مرور الطاقة من خلال الهدف، ويحدث الانعكاس reflection عندما يعكس الهدف هذه الطاقة و يعيد توجيهها. وفي الاستشعار عن بعد فأننا نهتم بقياس الاشعاع المنعكس من هذه الأهداف الأرضية، وهنا يوجد نوعين من الانعكاس: الانعكاس الارتدادي specular reflection و الانعكاس الانتشاري diffuse reflection



شكل (١-١٤) أنواع الانعكاس

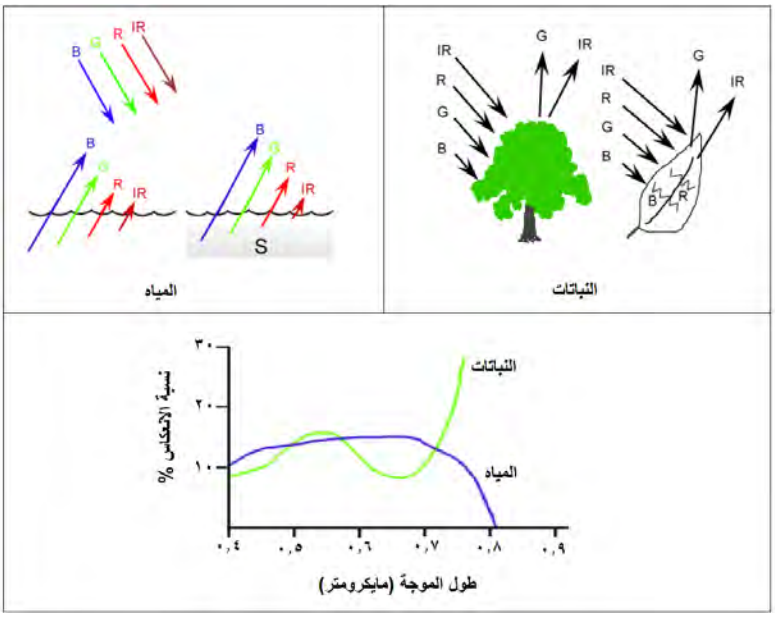
عندما يكون الهدف أملس أو ناعم smooth فيحدث الانعكاس الارتدادي أو ما يمكن تسميته الانعكاس كشبه المرآة حيث تنعكس كل أو معظم الطاقة الساقطة بعيدا عن سطح الهدف في اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون سطح الهدف خشن rough حيث تنعكس الطاقة

تقريبا بانتظام في جميع الاتجاهات. وكل الأهداف الأرضية تقع فيما بين حالتي الانعكاس هاتين اعتمادا علي درجة خشونة roughness الهدف مقارنة بطول موجة الاشعاع الساقط عليه. فإذا كان طول الموجة صغير جدا بالمقارنة بتغيرات السطح أو حجم الجزئ particle size الذي يتكون منه سطح هذا الهدف فأن الانعكاس الانتشاري يكون هو الغالب. فعلي سبيل المثال فأن الرمال الدقيقة ستظهر ناعمة جدا بالمقارنة لموجات الميكروويف (طول موجة كبير) لكنها ستكون خشنة بالمقارنة لموجات الضوء المرئي.

لنأخذ الان مثالين تفصلين لأهداف سطح الأرض وكيف ستتفاعل مع الطاقة في نطاق الضوء المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء (الشكل التالي).

- أوراق النباتات leaves: وفيها فأن مادة الكلوروفيل ستمتص بقوة الاشعاع في أطوال الموجة للون الأزرق و الأحمر وستعكس طول موجة اللون الأخضر، وهذا ما يجعلنا نري النباتات خضراء اللون ويزداد اخضرارها في فصل الصيف حيث تكون مادة الكلوروفيل في أقصي قيمها. بينما في فصل الخريف فيكون هناك كلوروفيل أقل مما يجعل انعكاس اللون الأخضر أقل بينما يكون هناك انعكس أكثر (أو امتصاص أقل) في اللون الأحمر مما يجعل لون النباتات أحمر أو أصفر (لاحظ أن اللون الأصفر ما هو إلا مكون من كلا اللونين الأحمر و الأخضر). أيضا فأن التركيب الداخلي لصحة النبات يعمل كعاكس انتشاري مثالي في الأشعة تحت الحمراء القريبة near infrared، أي أنه اذا كانت عين الانسان حساسة لهذه الأشعة فأننا كنا سنري النباتات أكثر لمعانا لطول الموجة هذه. وفي الحقيقة فأن قياس و متابعة الاشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة يعد مقياسا لمدي صحة how healthy النباتات في تطبيقات الاستشعار عن بعد.

- المياه water: وفيها سيتم امتصاص أطوال الموجات الكبيرة من الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة بدرجة أكبر من تلك الأشعة ذات أطوال الموجة القصيرة. ومن ثم فأن المياه تظهر باللون الأزرق أو الأزرق-الأخضر نتيجة الانعكاس القوي لهذه الموجات القصيرة، وتظهر المياه داكنة عند رؤيتها بالأشعة تحت الحمراء. فإذا وجدت مواد عالقة suspended sediments (S) في الطبقة العليا من المسطح المائي فأنها ستسبب في انعكاس أفضل و مظهر أكثر لمعانا. لكن هذه المواد العالقة S قد تسبب ارتباكا مع المياه الضحلة النظيفة، حيث أن كلاهما سيظهران متشابهين بدرجة كبيرة. ان الكلوروفيل في الطحالب يمتص الأشعة الزرقاء بدرجة أكبر ويعكس اللون الأخضر مما يجعل المياه تظهر أكثر اخضرارا عند وجود الطحالب. أيضا فأن تضاريس المسحات المائية (النعومة و الخشونة والمواد العائمة) قد تسبب في تعقيدات أكثر عند تفسير مكونات هذه المسطحات وتفاعلها في ظاهرة الانعكاس الارتدادي.



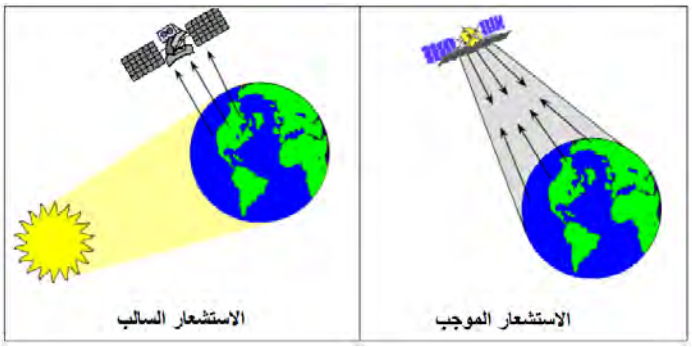
شكل (١-١٥) أمثلة لتفاعلات الانعكاس مع الأهداف

ومن هذين المثالين فيمكننا أن نلاحظ أنه و طبقا لطبيعة الهدف و لطول موجة الاشعاع المستخدم فيمكننا أن نري صور مختلفة من تفاعلات الامتصاص و النفاذ و الانعكاس. ومن ثم فأننا وبقياس الطاقة المنعكسة (أو المنبعثة) من أهداف سطح الأرض في عدة أطوال موجات فنستطيع بناء أو تكوين قاعدة للتفاعل الطيفي spectral response لكل هدف. فإذا قارننا هذا التفاعل الطيفي لعدة أهداف أرضية فيمكننا أن نفرق بينهم بصورة أفضل من التفرقة بينهم في طول موجة واحد فقط. فعلي سبيل المثال فأن المياه و النباتات قد يعكسان الأشعة بصورة متشابهه في الضوء المرئي، لكنهما منفصلان تماما و مختلفان عند التعامل مع الاشعة تحت الحمراء. فبمعرفة في أي جزء من نطاق الضوء الكهرومغناطيسي يجب أن نبحث فيمكنا الوصول الي تفسير و تحليل أفضل و أدق للإشعاع وكيفية تفاعله مع الأهداف الأرضية.

١-٦ الاستشعار الموجب و السالب:

تمثل الشمس مصدرا هاما من مصادر الطاقة أو الاضاءة المستخدمة في الاستشعار عن بعد، فطاقة الشمس اما أن تنعكس عند سقوطها علي سطح الأرض كما في حالة أشعة الضوء المرئي أو أن يتم امتصاصها ثم انبعاثها مرة أخري كما في حالة الاشعة تحت الحمراء الحرارية. ومن ثم فأن أجهزة الاستشعار عن بعد التي تقيس الطاقة الطبيعية المتاحة - مثل طاقة الشمس - يطلق عليه اسم مستشعرات سالبة أو سلبية passive sensors. أي أن هذه المستشعرات السالبة تقيس الطاقة فقط عندما يكون هذا المصدر الطبيعي متاحا، وبالنسبة للطاقة المنعكسة فأن هذا يحدث فقط في النهار فلا توجد طاقة منعكسة في الليل. أما الطاقة المنبعثة فمن الممكن قياسها و تحسسها نهارا أو ليلا طالما كانت كميتها كافية بحيث تسمح بالتحسس.

علي الجانب الاخر فأن أجهزة الاستشعار أو المستشعرات الموجبة أو الايجابية active sensors تستخدم طاقتها الخاصة للإضاءة أو التحسس، فهي تبث الاشعاع الموجهه الي الأهداف الأرضية ثم تستقبله و تسجله بعد انعكاسه. ومن مميزات المستشعرات الموجبة أنها تعمل في أي وقت من اليوم أو فصول السنة، كما أنها تستخدم لفحص أطوال موجات لا يمكن توافرها في طاقة الشمس الطبيعية، مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف. لكن هذه المستشعرات الموجبة تتطلب توليد كمية كبيرة من الطاقة تكفي لإضاءة الأهداف، ومن أمثلتها مستشعرات الليزر و مستشعرات الرادار المعروفة باسم Synthetic Aperture Radar (SAR).



شكل (١-١٦) الاستشعار الموجب و السالب

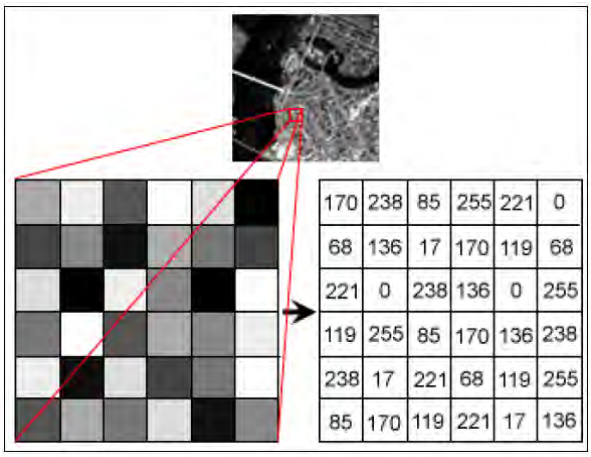
١-٧ خصائص المرئيات:

قبل المضي قدما في تفاصيل الاستشعار عن بعد علينا أن نتعرض سريعا لبعض المبادئ و المصطلحات الفنية المتعلقة بمرئيات images الاستشعار عن بعد.

ان الطاقة الكهرومغناطيسية يمكن بيانها أو تحسسها سواء فوتوغرافيا photographically او الكترونيا electronically. تستخدم عملية التصوير الفوتوغرافي التفاعلات الكيمائية علي سطح الفيلم الحساس لبيان و تسجيل تغيرات الطاقة. ومن المهم أن نفرق بين مصطلحي الصور photographs و المرئيات images في الاستشعار عن بعد. فالمرئية تعبر عن التمثيل الصوري pictorial representation بغض النظر عن طول الموجة أو الجهاز المستخدم في بيان و تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية. أما الصورة فتعود الي نوع محدد من المرئيات وهي التي تم فيها استخدام الأفلام لبيان و تسجيل الطاقة. وعادة فأن الصور يتم تسجيلها في نطاق أطوال الموجات من ٠.٣ الي ٠.٩ مايكرومتر، أي نطاق الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ومن هنا فيمكننا القول ان كل الصور هي مرئيات بينما ليست كل المرئيات صورا. وبالتالي فأن المصطلح الأوسع انتشارا هو المرئية طالما أننا لا نتحدث خصيصا عن صور تم تسجيلها فوتوغرافيا.

يمكن للصورة أن يتم تمثيلها و عرضها بصورة رقمية digital format من خلال تقسيم الصورة الي اقسام صغيرة متساوية المساحة و الشكل وهي ما يطلق عليها اسم الخلايا او البكسل pixels. وهذه الخلايا تمثل درجة اللمعان brightness لكل مساحة بواسطة قيمة رقمية digital number (الشكل التالي). أي أننا قد حولنا الصورة الفوتوغرافية الأصلية الي مرئية رقمية، وهو

ما يحدث عندما نقوم بعملية المسح الضوئي scanning للصورة. أما المستشعرات التي تتحسس و تسجل الطاقة بصورة الكترونية فأنها تتبع نفس المنهج من خلال تسجيل الطاقة في مصفوفة رقمية من البداية.



شكل (١-١٧) تحويل الصورة الفوتوغرافية الي نسخة رقمية

يتم تجميع و تسجيل الطاقة في جزء صغير أو ضيق من مجال الاشعة الكهرومغناطيسية فيما يسمي القناة channel أو النطاق band. ويمكن تجميع و عرض معلومات عدة قنوات أو عدة نطاقات باستخدام الألوان الاساسية الثلاثة (الأزرق و الأخضر و الأحمر) حيث يتم تمثيل معلومات كل نطاق أو كل قناة كواحد من هذه الألوان، وطبقا لدرجة اللمعان النسبي (أي القيمة الرقمية) لكل خلية أو بكسب في كل قناة فأن الألوان الثلاثة سيتم دمجهم بصور مختلفة لتمثيل الألوان المختلفة. وعندما نستخدم هذه الطريقة لعرض معلومات قناة واحدة أو نطاق من أطوال الموجات فأننا نقوم بعرض محتويات هذه القناة من خلال الألوان الرئيسية الثلاثة. وبسبب أن درجة اللمعان في كل خلية تكون متساوية للألوان الثلاثة فأنها تتجمع في مرئية أبيض و أسود black and white image. أما عندما يتم عرض أكثر من قناة أو نطاق و لكلا منهم لون أساسي مختلف فأن درجة اللمعان ستختلف من قناة الي أخري في طريقة دمج الألوان ومن ثم فأنهم سينتجون مرئية ملونة color image.

شكل (١-١٨) المرئيات الملونة و غير الملونة

١-٨ أسئلة و أجوبة لموضوعات هذا الفصل:

س.١: بفرض أن سرعة الضوء تساوي ٣ × ١٠ ^{٨} متر/ث، وكان تردد موجة كهرومغناطيسية يبلغ ٥٠٠،٠٠٠ جيجا هرتز (الجيجا هرتز = ١٠ ^{٩} متر/ث) فأحسب طول موجة هذا الاشعاع بوحدات المايكرو متر؟

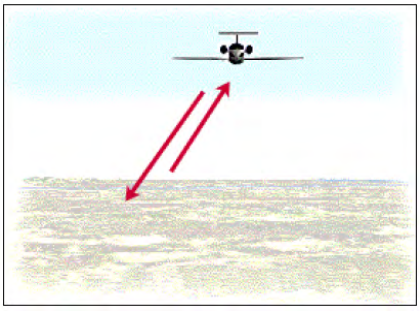
س.٢: يتكون جزء الأشعة تحت الحمراء من الطاقة الكهرومغناطيسية من قسمين: أشعة انعكاسية و أشعة انبعاثية. هل يمكننا أخذ صور في هذين النطاقين؟

س.٣: تتجنب معظم نظم الاستشعار عن بعد تحسس و تسجيل أطوال الموجات في النطاق فوق البنفسجي و النطاق الأزرق من الضوء الكهرومغناطيسي. أشرح لماذا؟

س.٤: ما هي أفضل الظروف المناخية المناسبة للاستشعار عن بعد في نطاق الضوء المرئي؟

س.٥: في ليلة واضحة أو صافية وعندما يكون القمر منتصفا يمكن جوانب و ربما بعض تفاصيل الجانب المظلم من القمر. من أين يأتي هذا الضوء الذي ينير الجانب الخلفي من القمر؟

س.٦: هل يوجد مرادف أو مكافئ سلبي passive equivalent لمستشعرات الرادار؟



س.٧: اذا أردنا التفرقة بين الاشجار الموسمية و الاشجار الصنوبرية في احدي الغابات في فصل الصيف باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد، فما هو أفضل سبيل لأداء هذه المهمة؟ أستعن بمنحني الانعكاس في الشكل التالي لهذين النوعين من الاشجار.

س.٨: ما هي مميزات اظهار أطوال موجات مختلفة أو قنوات مختلفة في تكوين أو دمج مرئيات ملونة بالمقارنة بفحص كل مرئية علي حدي؟

ج.١: من المعادلة (١) :

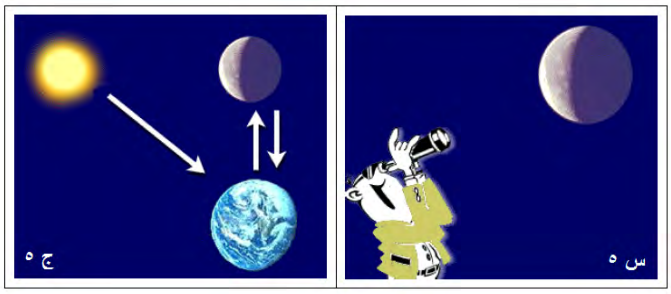
$c = \lambda v$
$3 \times 10^{8} = \lambda (500{,}000 \times 10^{9})$
$3 \times 10^{8} = \lambda (5 \times 10^{14})$
$\lambda = 3 \times 10^{8} / (5 \times 10^{14}) = 6 \times 10^{-7} m = 0.6 \mu m$

ج.٢: نعم و لا ! توجد أفلام فوتوغرافية سواء أبيض و أسود أو ملونة تكون حساسة للأشعة تحت الحمراء الانعكاسية reflective infrared وهي مستخدمة في العديد من التطبيقات العلمية و الفنية أيضا. لكن لا توجد أفلام تستطيع تسجيل الاشعة تحت الحمراء الانبعاثية (الحرارية)، فهي في حالة وجودها فأنها تتطلب تبريد دائم مما يجعلها غير عملية بطبيعة الحال. لكن توجد عدة أجهزة الكترونية تستطيع تحسس و تسجيل مرئيات الاشعة تحت الحمراء الحرارية.

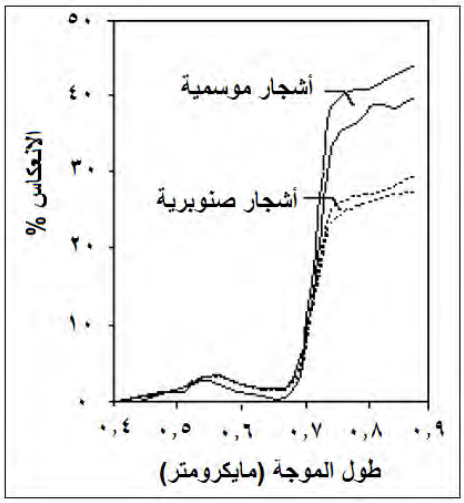
ج.٣: يكون تحسس و تسجيل أطوال الموجات فوق البنفسجية و الزرقاء صعب بسبب تشتتها و امتصاصها في طبقات الغلاف الجوي. فغاز الأوزون في الطبقات العليا للغلاف الجوي يمتص كثيرا من الأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة الأقل من ٠.٢٥ مايكرومتر تقريبا، كما يؤثر تشتت Rayleigh علي أطوال الموجات القصيرة بدرجة أكبر من تأثيره علي أطوال الموجات الكبيرة مما يتسبب في كون بقية الأشعة فوق البنفسجية والموجات القصيرة الطول من الضوء المرئي (اللون الأزرق) ستتناثر و تتشتت بدرجة أكبر كثيرا من بقية أنواع الأشعة. وبالتالي فأن ما يتبقى من هذه الأشعة لا يستطيع الوصول و التفاعل مع أهداف سطح الأرض. وفي الحقيقة فأن الضوء الأزرق يتشتت ٤ مرات أكثر من اللون الأحمر، بينما يبلغ تشتت الاشعة فوق البنفسجية ١٦ مرة أكثر من اللون الأحمر.

ج.٤: أفضل الأوقات يكون ظهرا في يوم مشمس جاف خالي من السحب و الغيوم و لا يوجد تلوث. ففي وقت الظهر تكون الشمس رأسيا أعلي الهدف مما يجعل المسافة التي تقطعها أشعتها أقل ما يمكن وبالتالي فيكون تأثير التشتت يكون أقل ما يمكن. أما عدم وجود السحب و الغيوم فسيضمن وجود اضاءة منتظمة التوزيع ولن تظهر الظلال الناشئة عن السحب. أما الجفاف و عدم وجود التلوث فستسبب في تقليل التشتت و الامتصاص الناتج عن وجود قطرات المياه و الجزئيات الأخرى في طبقات الغلاف الجوي.

ج.٥: ينعكس ضوء الشمس الساقط علي سطح الأرض فيرتد الي الجزء المظلم (الخلفي) من القمر.



ج.٦: نعم، فعلي سبيل المثال فأن جهاز راديومتر المايكروويف microwave radiometer لا يحمل مصدر للإضاءة، لكنه يعتمد علي تحسس طاقة المايكروويف الطبيعية المنبعثة. ويمكن استخدام هذا الجهاز في تحديد و قياس بقع الزيت المتسرب في البحار علي سبيل المثال.



ج.٧: حيث أن كلا النوعين سيظهران بنفس الدرجة تقريبا من اللون الأخضر لأعيننا المجردة فأن المرئيات (أو الصور) باستخدام الضوء المرئي لن تكون مفيدة. وبالنظر لمنحني الانعكاس نجد أن التفرقة بين كلا النوعين في نطاق الضوء المرئي ستكون صعبة. لكن في جزء الاشعة تحت الحمراء القريبة فكلاهما مختلفين في نسبة الانعكاس. ومن ثم فأن استخدام الأفلام الأبيض و أسود الحساسة للأشعة تحت الحمراء في عملية الاستشعار عن بعد (الحساسة لطول الموجة حول ٠.٨ مايكرومتر) سيكون مناسبا للغرض المطلوب.

ج.٨: عند دمج عدة قنوات من مرئية تمثل أطوال موجات متعددة فيمكننا تحديد أو تعيين مركبات من الانعكاس بين القنوات المختلفة وهو الذي سيشير أو يظهر الأهداف التي لا يمكن رؤيتها بالطرق الأخرى اذا قمنا بفحص قناة واحدة في وقت محدد. فهذه التركيبات ستظهر (أو تدل علي) نفسها كتغيرات دقيقة في اللون وليس مجرد تغيرات في درجة اللون الرمادي في حالة فحص مرئية واحدة تلو الأخرى