# الفصل الأول

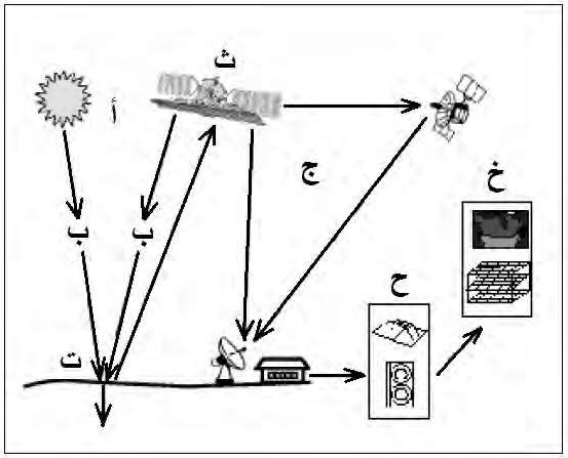
## مقدمة

### 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:

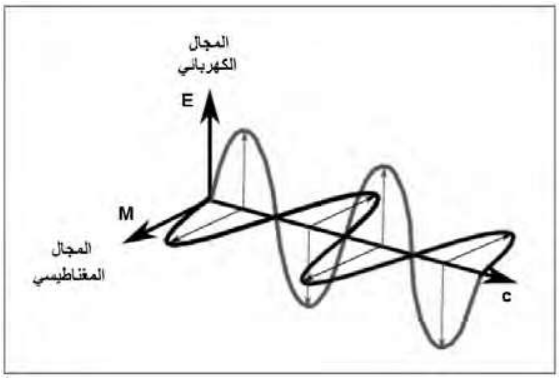
يتمثل العنصر الأخير من عناصر عملية الاستشعار عن بعد في تطبيق المعلومات التي تم الحصول عليها عن الأهداف بهدف الفهم الأفضل والحصول علي معلومات جديدة عن هذه الأهداف ومن ثم المساعدة في حل مشكلة معينة.

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

## ١-٢ الاشعاع الكهرومغناطيسي:

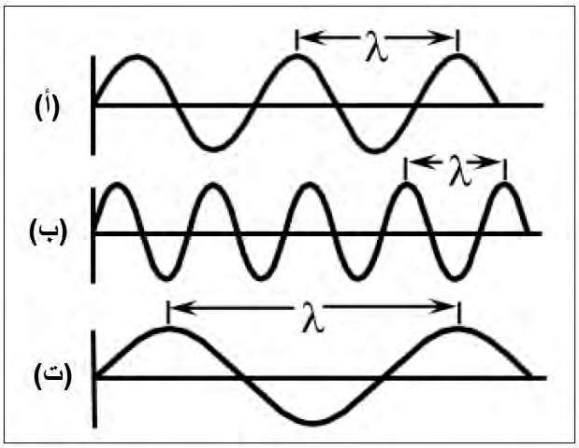
كما لاحظنا في الجزء السابق فأن أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد هو وجود مصدر طاقة يضئ الأهداف (في خالة أن الطاقة لا تنبعث من الأهداف ذاتها).وتكون هذه الطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وللإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص أساسية و يتصرف بطريقة محددة طبقا لقوانين نظرية الموجات.

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 $\lambda$ (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 ($\mu m$) 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:

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

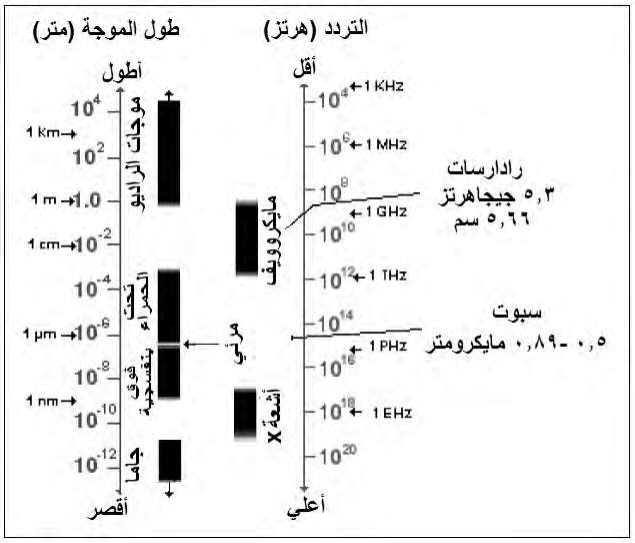
حيث:

- c سرعة الضوء = $3 \times 10^{8}$ متر/ث،
- $\lambda$ 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.

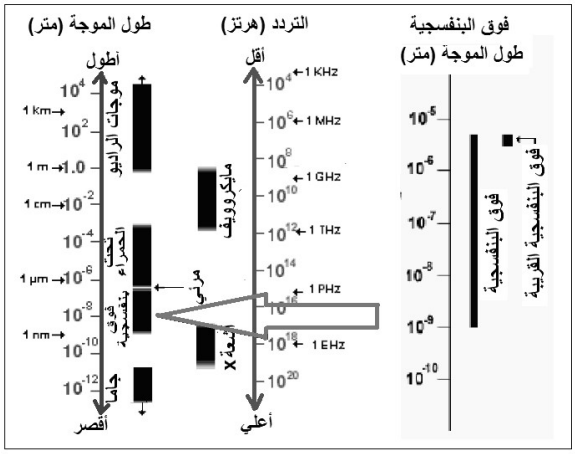
## ١-٣ المجال الكهرومغناطيسي:

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.

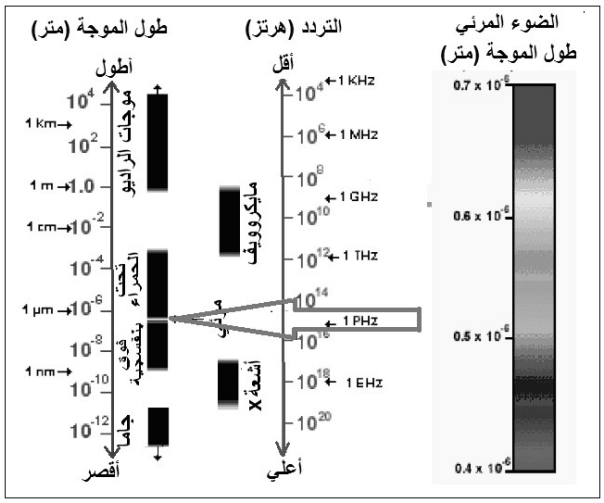



**شكل (١-٥) الأشعة فوق البنفسجية**

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

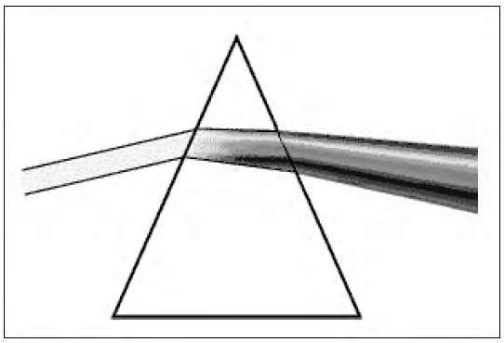
ثم الاستفادة منها. يغطي الضوء المرئي مجالا يتراوح بين ٠.٤ الي ٠.٧ مايكرومتر. واللون أو الضوء الأحمر له أطول موجة في مكونات الضوء المرئي، بينما اللون البنفسجي له أقصر طول موجة كما هو موضح بالشكل التالي. ونشمل مكونات الضوء المرئي الألوان التالية:

- 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



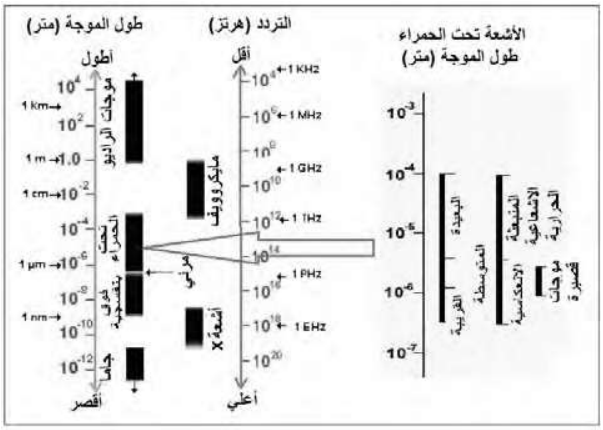

**شكل (١-٦) الضوء المرئي**

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**

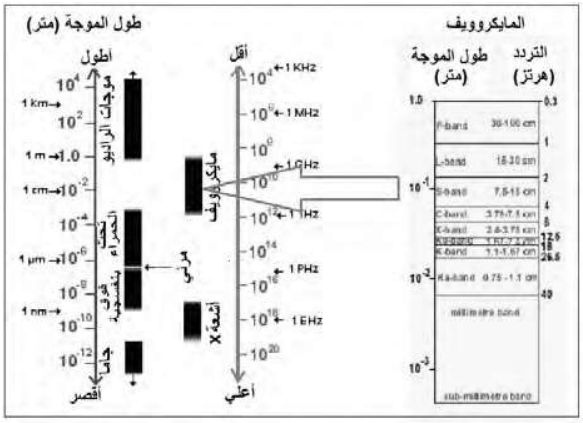
الجزء التالي الهام من المجال الكهرومغناطيسي هو الاشعة تحت الحمراء Infrared (أو اختصارا IR) والذي يغطي أطوال موجات من ٠.٧ تقريبا الي ١٠٠ مايكرومتر، أي أنه مائة مرة أعرض من الجزء المرئي. ويمكن تقسيم الاشعة تحت الحمراء الي مجموعتين بناءا علي خصائصهما الاشعاعية: تحت الحمراء الانعكاسية Reflected IR وتحت الحمراء 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.

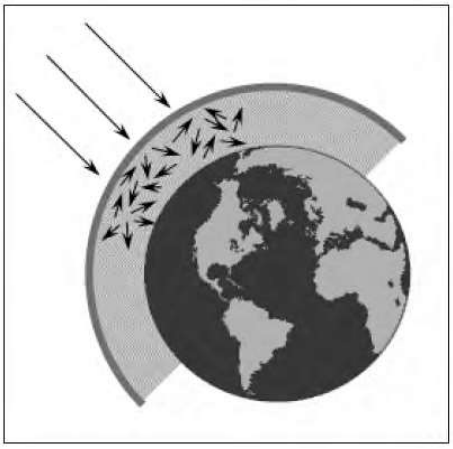



**شكل (١-٩) أشعة المايكروويف (الأشعة القصيرة)**

## ١-٤ التفاعل مع الغلاف الجوى:

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**

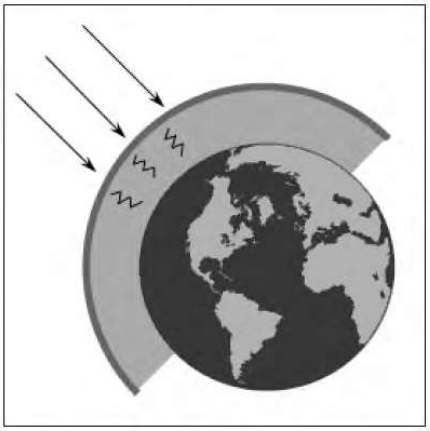
يوجد ثلاثة أنواع من التشتت:

- 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.

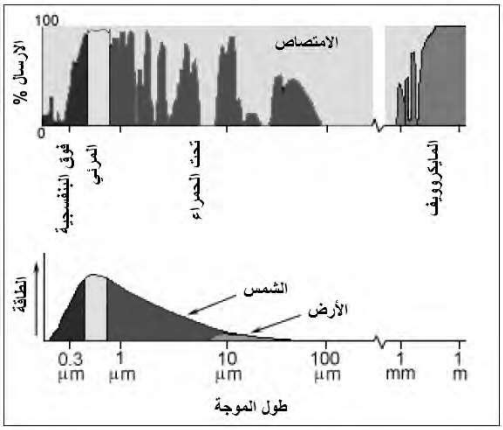
- التشتت غير الانتقائى nonselective ويحدث عندما تكون الجزئيات أكبر من حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب الكبيرة وقطرات الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية، وهو المسبب لظهور الضباب و السحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الألوان الأزرق و الأخضر و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

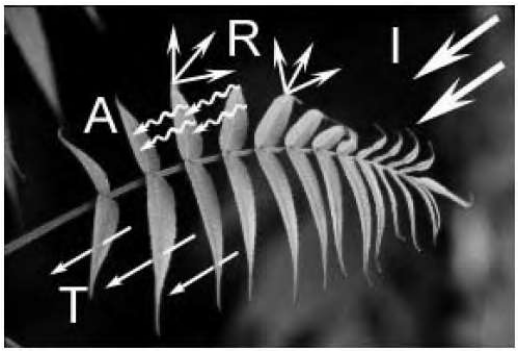
حيث أن هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في نطاق الطاقة فأنها تؤثر في تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في تطبيقات الاستشعار عن بعد. فالمناطق - داخل نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية - التي لا تتأثر بشدة بالامتصاص في الغلاف الجوي تكون مناطق مفيدة للاستشعار عن بعد، ومن ثم يطلق عليها اسم "نوافذ 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**

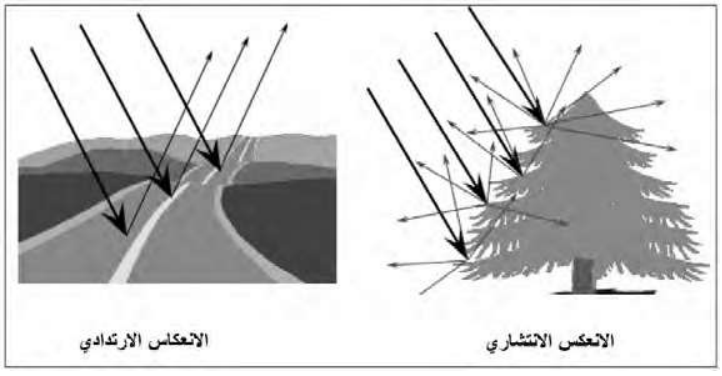
## ١-٥ التفاعل مع الأهداف:

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**

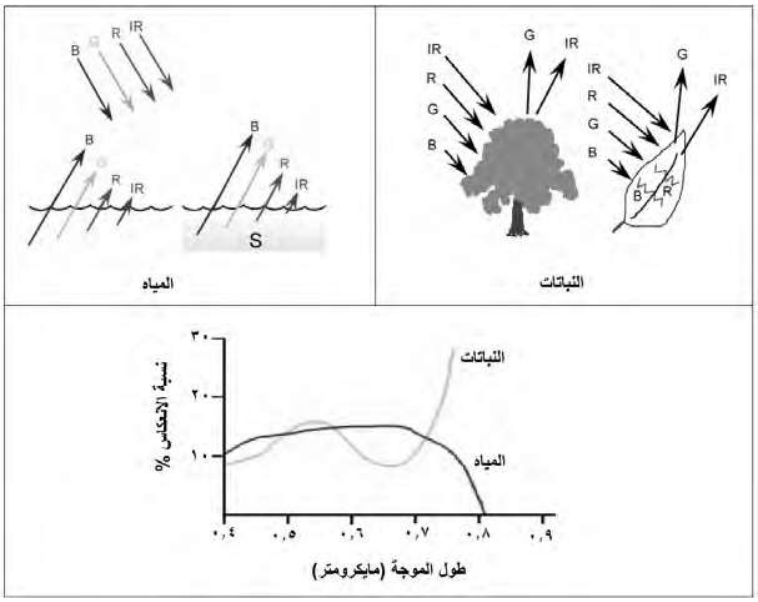
عندما يكون الهدف أملس أو ناعم smooth فيحدث الانعكاس الارتدادي أو ما يمكن تسميته الانعكاس كشبه المرآة حيث تنعكس كل أو معظم الطاقة الساقطة بعيدا عن سطح الهدف في اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون سطح الهدف خشن rough حيث تنعكس الطاقة

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.



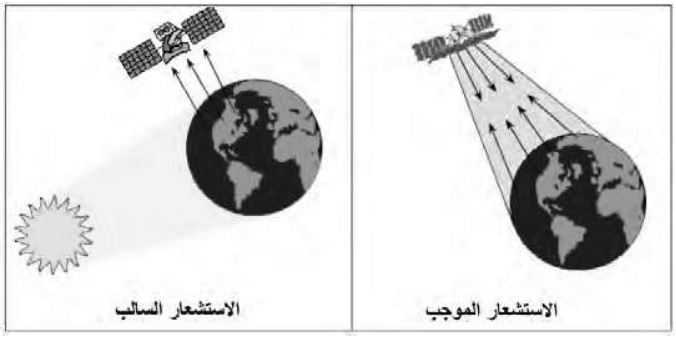

**شكل (١-١٥) أمثلة لتفاعلات الانعكاس مع الأهداف**

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**

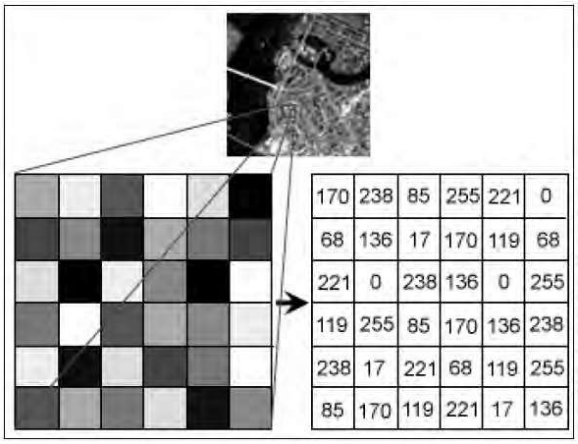
## ١-٧ خصائص المرئيات:

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؟

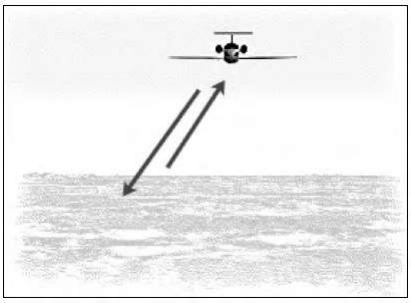
س.٢: يتكون جزء الأشعة تحت الحمراء من الطاقة الكهرومغناطيسية من قسمين: أشعة انعكاسية و أشعة انبعاثية. هل يمكننا أخذ صور في هذين النطاقين؟

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) :

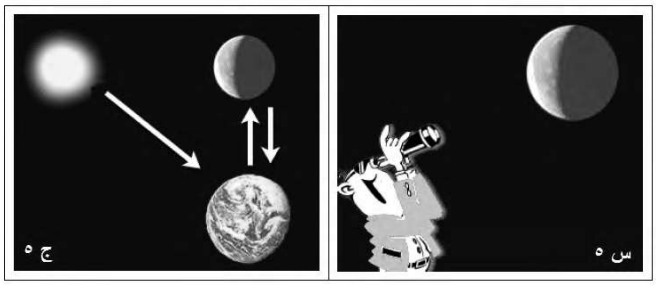
$c = \lambda v$
$3 \times 10^{8} = \lambda ( 500{,}000 \times 10^{9})$
$3 \times 10^{8} = \lambda ( 5 \times 10^{14})$
$\lambda = 3 \times 10^{8} / ( 5 \times 10^{14}) = 6 \times 10^{-7} m = 0.6 \mu m$

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.

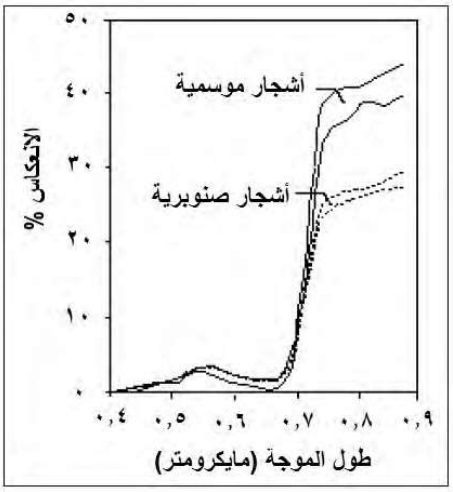
ج.٣: يكون تحسس و تسجيل أطوال الموجات فوق البنفسجية و الزرقاء صعب بسبب تشتتها و امتصاصها في طبقات الغلاف الجوي. فغاز الأوزون في الطبقات العليا للغلاف الجوي يمتص كثيرا من الأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة الأقل من ٠.٢٥ مايكرومتر تقريبا، كما يؤثر تشتت Rayleigh علي أطوال الموجات القصيرة بدرجة أكبر من تأثيره 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

# الفصل الثاني

## الأقمار الصناعية و المستشعرات

### ٢-١ الاستشعار من على الأرض و من الجو و من الفضاء

في الفصل الأول تعلمنا بعض المفاهيم الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد وشرحنا بقليل من التفصيل المكونات الثلاثة الأولي لهذه العملية وهي مصدر الطاقة والتفاعل مع الغلاف الجوي و التفاعل مع الأهداف الأرضية. وعندما تعرضنا للاستشعار عن بعد الموجب و السالب فقد بدأنا ندخل في شرح المكون الرابع ألا وهو تسجيل الطاقة من خلال المستشعرات sensors. وفي الفصل الحالي سنتوسع في شرح هذا الجزء.

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 أخري حتى نستطيع أن نفهم و نحلل جيدا معلومات المرئيات.

**شكل (٢-١) المستشعرات الأرضية**

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

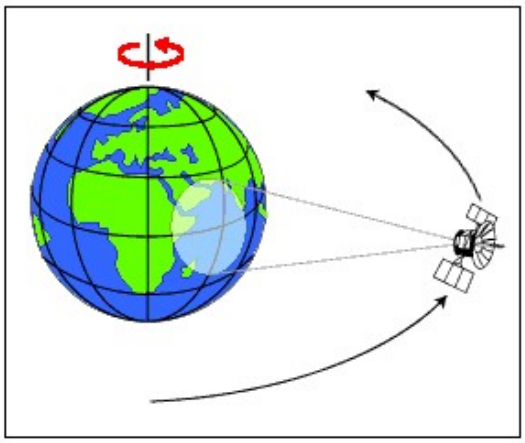
**شكل (٢-٢) المستشعرات الجوية**

عادة فأن الاستشعار عن بعد من الفضاء يتم باستخدام المستشعرات في الأقمار الصناعية satellites وأيضا في مكوك الفضاء space shuttle. 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.

**شكل (٢-٣) المستشعرات الفضائية**

## ٢-٢ خصائص الأقمار الصناعية

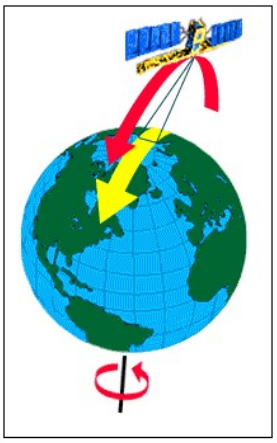
لكل قمر صناعي مدار orbit يناسب الهدف من المستشعر الذي يحمله القمر الصناعي، وتختلف المدارات طبقا للارتفاع altitude (ارتفاع المدار عن سطح الارض) والتوجيه orientation و الدوران rotation بالنسبة للأرض. فالأقمار الصناعية الموضوعة علي ارتفاعات عالية جدا بحيث انها تري نفس المنطقة من الارض في كل الاوقات يكون 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.



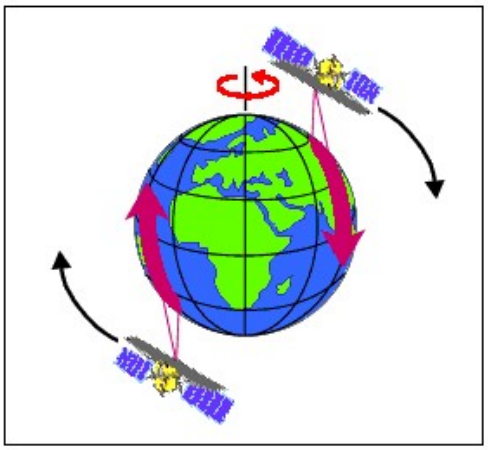
**شكل (٢-٤) المدارات الثابتة للأقمار الصناعية**

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 موزايك) 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 الثاني 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.

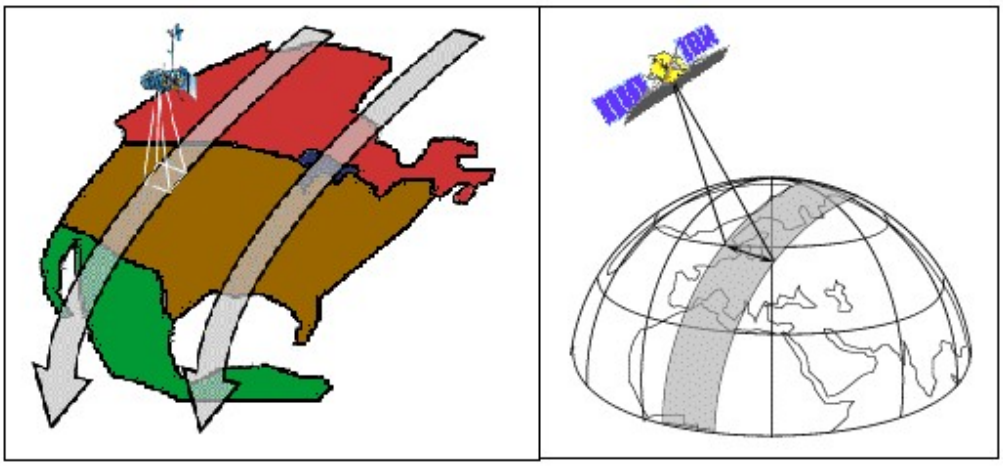


**شكل (٢-٥) المدارات شبه القطبية للأقمار الصناعية**



**شكل (٢-٦) المسار الصاعد و المسار الهابط للأقمار الصناعية**

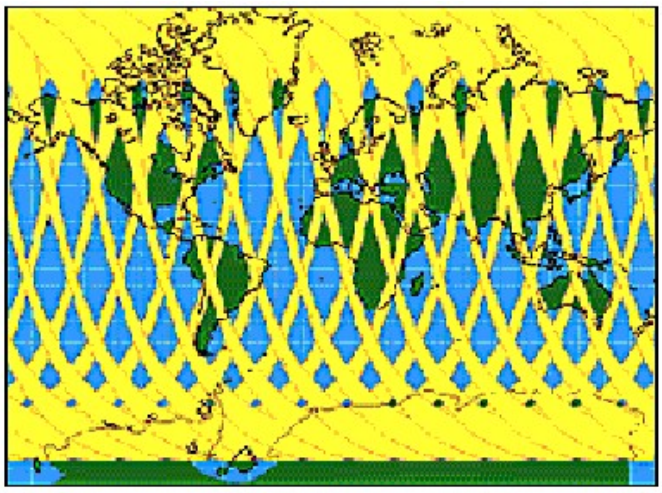
كلما يدور القمر الصناعي حول الأرض فأن المستشعر "يري" جزءا من سطح الأرض، وهذه المنطقة هي ما يطلق عليه اسم "صف التحسس swath". وتختلف صفوف التحسس التي يمكن استشعارها من مستشعر الي اخر بحيث يتراوح عرضها ما بين عشرات و مئات من الكيلومترات. وبالطبع فأن حركة دوران الأرض حول نفسها (من الغرب الي الشرق) فأن صف 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.



**شكل (٢-٧) 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.



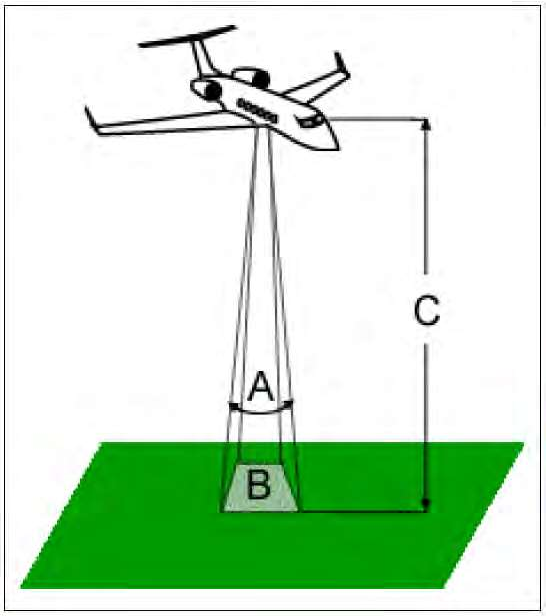
**شكل (٢-٨) دورة مدارات الأقمار الصناعية**

## ٢-٣ درجة الوضوح المكانية و حجم الخلية والمقياس

لعدة أجهزة من أجهزة الاستشعار عن بعد فأن المسافة بين الهدف و منصة الاستشعار تلعب دورا بالغ الأهمية في تحديد تفاصيل المعلومات التي تظهر المنطقة التي يتم تحسسها. ان المستشعرات الموجودة في المنصة تكون بعيدة جدا عن الهدف أي أنها تستشعر منطقة كبيرة ولا تستطيع اظهار التفاصيل كاملة. ويمكنك المقارنة ما بين ما يراه رائد الفضاء من داخل مكوك الفضاء و ما تراه أنت من داخل الطائرة، فرائد الفضاء يمكنه رؤية دولة بأكملها في منظر واحد لكنه لا يمكنه التمييز بين المباني المختلفة، بينما من بداخل الطائرة عند الطيران فوق مدينة يمكنه تمييز المباني والسيارات بوضوح لكن لا يمكنه رؤية منطقة كبيرة مثل رائد الفضاء . وهذا الفرق موجود أيضا ما بين الصور الجوية و مرئيات الأقمار الصناعية.

تعتمد تفاصيل المرئية علي درجة الوضوح المكانية spatial resolution لجهاز الاستشعار والتي تعرف بأنها مساحة أو حجم size أصغر ظاهرة يمكن تحسسها smallest possible feature can be detected. وتعتمد درجة الوضوح المكانية للمستشعرات اللايجابية علي ما يعرف باسم مجال الرؤية اللحظية Instantaneous Field of View (أو اختصارا IFOW)،

وهو مخروط الرؤية للمستشعر A ويحدد المنطقة الأرضية التي يمكن رؤيتها من ارتفاع محدد في لحظة زمنية محددة B. ويتم حساب مساحة المنطقة المرئية بضرب IFOW في ارتفاع المستشعر من سطح الأرض C، وهذه المنطقة علي الأرض تسمي خلية الوضوح resolution cell أي أقصي درجة وضوح مكاني للمستشعر. ومن ثم فأنه حتى يمكن استشعار هدف محدد فأن مساحته أو حجمه size يجب أن تساوي أو أن تكون أكبر من خلية الوضوح. أي أنه في حالة أن مساحة الهدف أقل من مساحة خلية الوضوح فلن يمكن تحسسه او استشعاره.




**شكل (٢-٩) درجة الوضوح المكانية**

كما سبق الاشارة في الفصل الأول فأن مرئيات الاستشعار عن بعد تتكون من مصفوفة من العناصر أو الخلايا (بكسل) pixels، وهي أصغر وحدة علي المرئية. وعادة تكون الخلايا مربعة وتمثل مساحة محددة من المرئية. ومن المهم التفرقة بين حجم البكسل pixel size و درجة الوضوح المكانية spatial resolution فهما ليسا شيئا واحدا في جميع الحالات. ففي حالة أن المستشعر له درجة وضوح مكانية ٢٠ متر والمرئية من هذا المستشعر تظهر بوضوح كامل full resolution فأن كل بكسل ستمثل ٢٠×٢٠ متر علي الأرض. وفي هذه الحالة فأن حجم البكسل يساوي درجة الوضوح المكانية. لكن من الممكن أن نظهر مرئية باستخدام حجم بكسل مختلف عن درجة وضوحها المكانية، فمثلا في حالة عرض ملصقات (بوستر) لمرئيات سطح الأرض فنستخدم حجم خليه يمثل مساحة كبيرة (أكبر من درجة الوضوح المكانية الأصلية لهذه المرئية).

يقال للمرئيات التي تعتمد علي اظهار الأهداف الكبيرة فقط أن لها درجة وضوح مكانية خشنة أو قليلة coarse or low resolution، بينما في المرئيات التي لها درجة وضوح مكانية دقيقة أو عالية fine or high resolution فيمكن اظهار الأهداف الصغيرة. فأقمار الاستشعار عن بعد العسكرية علي سبيل المثال مصممة بحيث يمكنها تحسس كل ما يمكن من التفاصيل، أي أن لها درجة وضوح مكانية عالية أو دقيقة. أما الأقمار الصناعية التجارية فتوفر مرئيات لها درجة

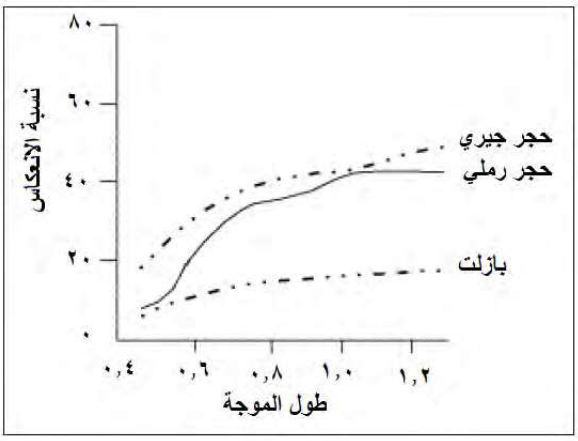
وضوح مكانية تتراوح بين عدة أمتار الي عدة كيلومترات. وكقاعدة عامة فكلما زادت درجة الوضوح المكانية كلما قلت المساحة الأرضية التي يمكن رؤيتها.

**شكل (٢-١٠) اختلاف درجات الوضوح المكانية**

تعرف نسبة المسافة علي المرئية أو الخريطة الي المسافة الأرضية الحقيقية المناظرة باسم مقياس الرسم scale. فإذا كان لديك خريطة لها مقياس رسم ١ : ١٠٠،٠٠٠ (مثلا) فأن الهدف الذي يبلغ طوله علي الخريطة ١ سنتيمتر سيكون طوله الحقيقي علي الأرض ١٠٠،٠٠٠ سنتيمتر (أي ١ كيلومتر). ومن ثم فأن الخرائط أو المرئيات الفضائية التي لها قيمة صغيرة من نسبة "الخريطة/الأرض" ( ١ / ١٠٠،٠٠٠ علي سبيل المثال) يطلق عليها اسم الخرائط أو المرئيات صغيرة المقياس small scale ، بينما تلك التي لها نسبة أكبر (مثلا ١ / ٥،٠٠٠) تسمي كبيرة المقياس large scale.

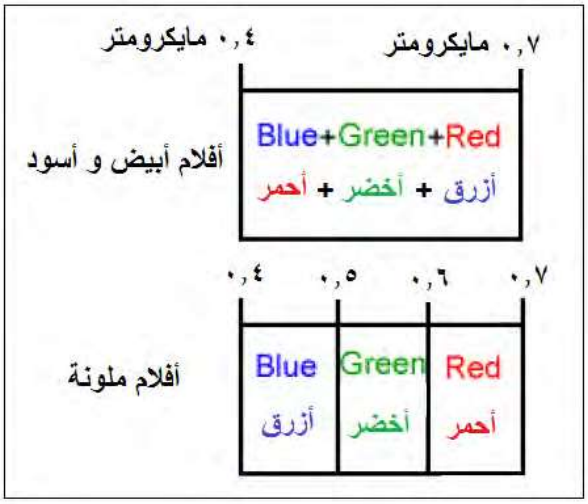
## ٢-٤ درجة الوضوح الطيفية

أشرنا في الفصل الأول الي أن الاستجابة الطيفية spectral response أو منحنيات الانبعاث الطيفي spectral emissivity curves تميز الانعكاس أو الانبعاث للهدف باستخدام أطوال موجات مختلفة. ويمكن تمييز الاهداف المختلفة في مرئية من خلال مقارنة استجابتها الطيفية في مجال من أطوال الموجات. فالمجموعات الكبيرة مثل المياه و النباتات يمكنها أن تنفصل في مجالات مختلفة من أطوال الموجات مثل الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء كما رأينا في الجزء ١-٥.




**شكل (٢-١١) اختلاف الاستجابة الطيفية للأهداف**

لكن بعض المجموعات الدقيقة أو التفصيلية مثل أنواع الصخور قد لا يمكن تمييزها بسهولة باستخدام هاتين المجموعتين أو هذين المجالين من أطوال الموجات وقد تحتاج لعمل مقارنة في مجال ضيق من مجالات الضوء الكهرومغناطيسي. ومن ثم فأننا نحتاج لمستشعر يكون له "درجة وضوح طيفية spectral resolution" عالية. فدرجة الوضوح الطيفية تعبر عن قدرة المستشعر في تحديد فترات دقيقة من أطوال الموجات، أي أنه كلما كانت درجة الوضوح الطيفية أدق كلما ضاق مجال أطوال الموجات لقناة أو نطاق محدد. فالأفلام الأبيض و الأسود تسجل أطوال الموجات الممتدة علي نطاق الضوء المرئي، أي أن درجة وضوحها الطيفية خشنة coarse فهي لا تستطيع التمييز بين أطوال الموجات المختلفة داخل هذا النطاق وتسجل فقط الانعاس في كل مجال الضوء المرئي. بينما علي الجانب الاخر فأن الافلام الملونة لها درجة وضوح طيفية عالية بحيث أنها تستطيع تحسس الطاقة المنعكسة في أطوال الموجات الزرقاء و الخضراء و الحمراء كلا علي حدي. ومن ثم فهي تستطيع تمثيل الأهداف في عدة ألوان اعتمادا علي مدي الانعكاس في كل نطاق من أطوال الموجات.




**شكل (٢-١٢) درجات الوضوح الطيفية للأفلام المختلفة**

ان العديد من نظم الاستشعار عن بعد تسجل الطاقة في فترات متعددة من أطوال الموجات باستخدام درجات وضوح طيفية مختلفة، وهذه النظم يطلق عليها اسم "المستشعرات متعددة الوضوح الطيفي multi-spectral sensors". أما المستشعرات المتقدمة فيطلق عليها اسم "المستشعرات عالية الوضوح الطيفي hyperspectral sensors" حيث أنها تستطيع تحسس مئات من النطاقات الطيفية الضيقة أو الدقيقة في الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة. ومن ثم فأن درجة وضوحها الطيفية العالية تسهل من التمييز بين الأهداف المختلفة اعتمادا علي الاستجابة الطيفية لكل هدف في كل نطاق طيفي ضيق.

## ٢-٥ درجة الوضوح الراديومترية

بينما ترتيب البكسل أو الخلايا يصف تكوين المرئية ذاتها، فأن الخصائص الراديومترية هي التي تصف المعلومات الحقيقية لمحتوي المرئية الفضائية. في كل مرة يتم الحصول علي مرئية (سواء علي فيلم أو باستخدام مستشعر) فأن حساسيتها لكمية الطاقة الكهرومغناطيسية هي التي تحدد درجة الوضوح الراديومترية radiometric resolution. فالوضوح الراديودمتري لمرئية يصف قدرتها علي التمييز بين الفروقات البسيطة جدا من الطاقة، فكلما زادت درجة الوضوح الراديومترية لمستشعر كلما زادت حساسيته لاكتشاف الفروق في الطاقة المنعكسة أو المنبعثة.

يتم تسجيل بيانات الطاقة من خلال أعداد موجبة تتراوح بين الصفر الي أس محدد للعدد ٢. وهذا النطاق يقابل عدد البت bit المستخدمة في ترميز الأرقام في النظام الثنائي binary format. فكل بت تسجل الأس المرفوع له الرقم ٢ (مثلا: ١ بت = ٢ $^{١}$ = ٢). ويعتمد الحد الأقصى المتاح لمستويات اللمعان علي عدد البت المستخدم في تمثيل الطاقة المنعكسة. فعلي سبيل المثال فان كان مستشعر يستخدم ٨ بت في تسجيل البيانات، فهناك ٢ $^{٨}$ = ٢٥٦ قيمة رقمية متاحة وستتراوح ما بين الصفر و ٢٥٥. أما في حالة استخدام ٤ بت فقط فسيكون هناك ٢ $^{٤}$ = ١٦ قيمة رقمية متاحة فقط وستتراوح ما بين الصفر و ١٥، ومن ثم فستكون درجة الوضوح الراديومترية أقل. وعادة ما يتم تمثيل بيانات المرئية باستخدام نطاق من درجات اللون الرمادي grey tones ، حيث يكون اللون الأسود ممثلا بالرقم صفر واللون الأبيض ممثلا بالرقم الأقصى المتاح (مثل رقم ٢٥٥ في البيانات ذات الثمانية بت). وبمقارنة مرئية بدرجة وضوح راديومترية ٢-بت بمرئية أخري لها درجة وضوح راديومترية ٨-بت فيمكننا رؤية أن هناك فروق كبيرة في مستوي التفاصيل في كلا منهما.

**شكل (٢-١٣) الاختلاف في درجات الوضوح الراديومترية**

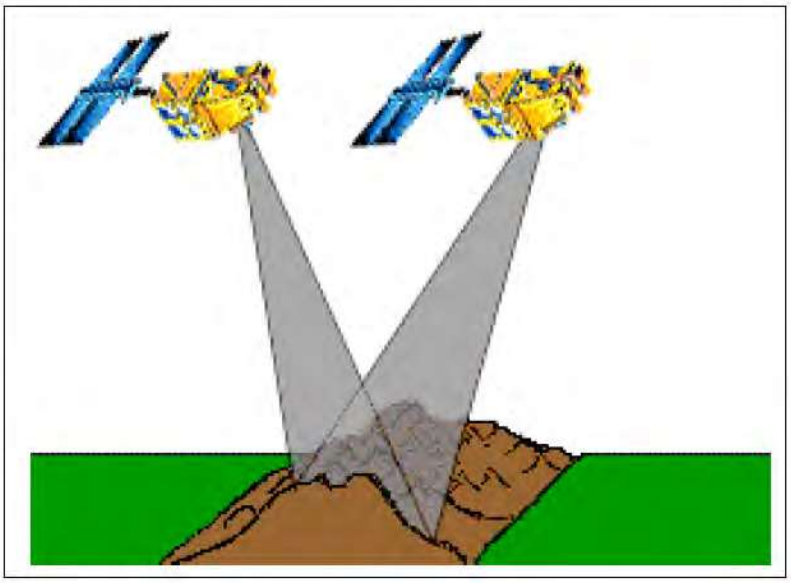
## ٢-٦ درجة الوضوح المؤقتة/الزمنية

بالإضافة لدرجة الوضوح المكانية و درجة الوضوح الراديومترية فأن درجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية temporal resolution تعد مهمة في الاستشعار عن بعد. وقد سبق أن تعرضنا لهذا المفهوم في الجزء ٢-٢ عندما تحدثنا عن فترة اعادة الزيارة revisit period والتي عادة ما تكون عدة أيام بالنسبة للأقمار الصناعية. ومن ثم فأن القيمة المطلقة لدرجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية لنظام استشعار عن بعد لكي يقوم بتحسس نفس البقعة الأرضية مرة أخري هي هذه الفترة. لكن وبسبب التداخل overlap بين صفوف التحسس swaths للمدارات المتعاقبة كلما زادت دوائر العرض فأن هناك مناطق من الأرض سيتم تحسسها بتردد أكبر. أيضا فأن بعض أنواع الاقمار الصناعية لديها القدرة علي توجيه مستشعراتها لتحسس نفس البقعة الأرضية في مدارات مختلفة بفترات تتراوح ما بين يوم الي خمسة أيام. ومن ثم فأن درجة الوضوح الزمنية الحقيقية لمستشعر تعتمد علي عدة عوامل ومنها قردة القمر الصناعي و المستشعر ذاته وأيضا تداخل صفوف التحسس و دائرة العرض.

ان القدرة علي تجميع مرئيات لنفس المنطقة من سطح الأرض في فترات زمنية متعددة تعد من أهم عناصر تطبيق معلومات الاستشعار عن بعد. فالخصائص المكانية للأهداف قد تتغير مع مرور الوقت، وهذا ما يمكن اكتشافه من خلال تجميع و مقارنة المرئيات متعددة الوضوح الزمني multi-temporal images. فعلي سبيل المثال فأنه وفي خلال موسم النمو فأن النباتات المختلفة تكون في حالة تغير مستمر ومن ثم فأن قدرتنا علي متابعة هذا التغير تعتمد علي " متي وبأي تردد when and how frequently " يمكننا الحصول علي المرئيات. وباستخدام التحسس في فترات زمنية مختلفة وبصفة دورية فيمكننا متابعة التغيرات التي تحدث علي سطح الأرض سواء

كانت تغيرات طبيعية (مثل التغير في الغطاء النباتي أو الفيضان) أو تغيرات بشرية (مثل النمو العمراني و التصحر). فعامل الزمن في الاستشعار عن بعد يكون هاما عندما:

- السحب المستمرة تعطي مجال رؤية محدود لسطح الارض.
- الحاجة لمتابعة الظواهر السريعة (مثل الفيضان و تسرب الزيت ... الخ)
- الحاجة للمتبعة المستمرة (مثل معدلات انتشار مرض نباتي معين من سنة لآخري)
- خصائص التغير لبعض الأهداف علي مدار الزمن قد تستخدم لتمييزها عن الأهداف المماثلة.



**شكل (٢-١٤) درجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية**

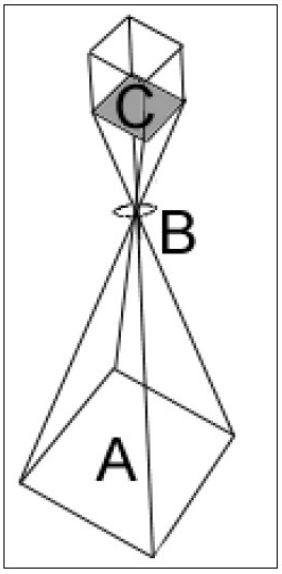
يقدم الجدول التالي بعض خصائص عدة اقمار صناعية للاستشعار عن بعد:

## أمثلة لبعض خصائص عدة اقمار صناعية للاستشعار عن بعد

| القمر | الاطلاق | الوضوح المكاني (م) | | عدد النطاقات | طول البكسل (كم) | ارتفاع القمر (كم) | اعادة الزيارة (يوم) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | بانكروماتية | متعدد الاطياف | | | | |
| WorldView-3 | ٢٠١٤ | ٠.٣١ | ١.٢٤ | ٢٩ | ١٣.١ | ٦١٧ | ١ |
| GeoEye-1 | ٢٠٠٨ | ٠.٤١ | ١.٦٥ | ٤ | ١٥.٢ | ٧٧٠ | ٨.٣ |
| WorldView-2 | ٢٠٠٩ | ٠.٤٦ | ١.٨٤ | ١٣ | ١٧.٦ | ٧٧٠ | ١.١ |
| Pleiades-1B | ٢٠١٢ | ٠.٥ | ٢.٠ | ٥ | ٢٠ | ٦٩٤ | ١ |
| QuickBird | ٢٠٠١ | ٠.٦٥ | ٢.٦ | ٥ | ١٦.٨ | ٤٥٠ | ٣.٥ |
| IKONOS | ١٩٩٩ | ٠.٨٢ | ٣.٢ | ٥ | ١١.٣ | ٦٨١ | ٣ |
| EgyptSat-2 | ٢٠١٤ | ١.٠ | ٤.٠ | ٤ | ٤٦.٦ | ٧٢٠ | |
| SkySat-2 | ٢٠١٤ | ١.١ | ٢.٠ | ٥ | ٨ | ٤٥٠ | ١ |
| SPOT-7 | ٢٠١٤ | ١.٥ | ٦.٠ | ٥ | ٦٠ | ٦٩٤ | ١ |
| SPOT-6 | ٢٠١٢ | ١.٥ | ٦.٠ | ٥ | ٦٠ | ٦٩٤ | ١ |
| RapidEye | ٢٠٠٨ | ٥.٠ | ١٠.٠ | ٥ | ٧٧ | ٦٣٠ | ٥.٥ |
| ASTER | ١٩٩٩ | ١٥ | ٣٠ | ١٤ | ٦٠ | ٧٠٥ | ١٦ |
| LandSat-8 | ٢٠١٣ | ١٥ | ٣٠ | ١١ | ١٨٥ | ٧٠٥ | ١٦ |
| LandSat-7 ETM | ١٩٩٩ | ١٥ | ٣٠ | ٨ | ١٨٥ | ٧٠٥ | ١٦ |

## ٢-٧ الكاميرات و التصوير الجوي

يعد استخدام الكاميرات في التصوير الجوي أبسط و أقدم المستشعرات المستخدمة في الاستشعار عن بعد لسطح الأرض. فالكاميرات هي نظم اطارية framing systems تحصل علي صورة شبه لحظية near-instantaneous snapshot لبقعة أرضية A. أي أن الكاميرا هي مستشعر بصري سالب optical passive sensor يستخدم عدسة B (أو مجموعة من العدسات) لتكوين صورة عند C المستوي البؤري focal plane.




**شكل (٢-١٥) مفهوم التصوير الجوي**

تكون الأفلام التصويرية حساسة للضوء ما بين ٠.٣ مايكرومتر و ٠.٩ مايكرومتر في نطاق الطول الموجي المتراوح ما بين الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة. فالأفلام الأبيض و أسود - ويطلق عليها اسم الأفلام البانكروماتية panchromatic - تستشعر الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي، وتنتج الصور غير الملونة وهي الأكثر استخداما في التصوير الجوي. والصور فوق البنفسجية تستخدم نفس الأفلام البانكروماتية لكن مع وجود فلتر (أو مصفاة) لامتصاص و منع طاقة الضوء المرئي من الوصول الي الفيلم ذاته، ومن ثم فأن الاشعة فوق البنفسجية فقط هي التي يتم تسجيلها. لكن هذا النوع من الأفلام غير شائع الاستخدام حيث أن الامتصاص و التشتت في طبقات الغلاف الجوي يؤثر عليها بشدة. أما التصوير الأبيض و أسود الحساس للأشعة تحت الحمراء فيستخدم أفلاما حساسة للنطاق الكلي ما بين ٠.٣ - ٠.٩ مايكرومتر وهو مفيد جدا لاكتشاف الفروق بين النباتات المختلفة نتيجة لحساسية هذه الأفلام لنعطس الاشعة تحت الحمراء القريبة.

يشمل التصوير الملون العادي color photography والتصوير الملون الزائف false color photography (أو التصوير الملون تحت الحمراء color infrared أو اختصارا CIR) استخدام أفلام لها ثلاثة طبقات layers بحيث أن كل طبقة تكون حساسة لمجال مختلف من

الضوء. ففي التصوير الملون العادي فأن الطبقات تكون حساسة للضوء الأزرق و الأخضر و الأحمر مثل أعيننا، وبالتالي فأن هذه الصور تظهر بنفس الطريقة التي نري نحن بها المعالم الأرضية (مثلا الشجر يظهر باللون الأخضر ... الخ). أما في التصوير الملون تحت الحمراء CIR فأن الطبقات تكون حساسة للأخضر و الأحمر وللأشعة تحت الحمراء القريبة، وهي التي ستظهر بعد معالجتها بالألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر علي الترتيب. أي أن في الصور الملونة الزائفة false color photographs فأن الأهداف التي لها انعكاس كبير للأشعة تحت الحمراء ستظهر علي الصورة حمراء، بينما الأهداف التي لها انعكاس أحمر كبير ستظهر علي الصورة خضراء، والأهداف التي لها انعكاس أخضر كبير ستظهر علي الصورة زرقاء. ومن هنا فأن هذه الصور تعطينا تمثيلا "زائفا" للأهداف مقارنة بالألوان المعتادة لنا.

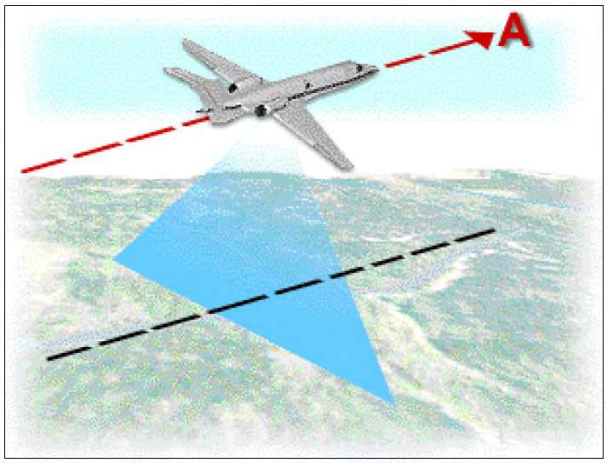
**شكل (٢-١٦) الصور الملونة العادية و الصور الملونة الزائفة**

يمكن تركيب الكاميرات علي منصات عديدة منها المنصات الارضية و طائرات الهليكوبتر و الطائرات العادية و الاقمار الصناعية. وللصور الجوية الدقيقة او التفصيلية المأخوذة من الطائرات استخدامات متعددة خاصة عندما تكون التفاصيل ضرورية. ويعتمد الغطاء الارضي للصورة علي عدة عوامل تشمل البعد البؤري للعدسة و ارتفاع المنصة وخصائص و مساحة الفيلم المستخدم. يؤثر البعد البؤري focal length علي مجال الرؤية الزاوية angular field of view للعدسة (يماثل مفهوم مجال الرؤية اللحظي المشار اليه في الجزء ٢-٣) و يحدد المنطقة التي تراها الكاميرا. وعادة ما يتراوح البعد البؤري ما بين ٩٠ و ٢١٠ ملليمتر، والأكثر شيوعا هو ١٥٢ ملليمتر. وكلما زاد البعد البؤري كلما قلت مساحة المنطقة المغطاة علي الارض لكن مع مستوي عالي من التفاصيل (أي بمقياس رسم كبير). كما تعتمد المنطقة المغطاة ايضا علي ارتفاع منصة التصوير، فعلي ارتفاعات كبيرة تستطيع الكاميرا رؤية منطقة أكبر من الأرض من تلك المنطقة التي يمكن رؤيتها علي ارتفاعات أصغر، لكن مع تفاصيل أقل (أي مقياس رسم صغير). ويمكن للصور الجوية أن تمدنا بتفاصيل دقيقة حتى درجة وضوح مكانية تبلغ ٥٠ سنتيمتر. لكن درجة الوضوح المكاني الحقيقية للصور الجوية تختلف باختلاف عوامل متعددة بصورة عامة.

يتم تصنيف معظم الصور الجوية اما مائلة oblique أو رأسية vertical اعتمادا علي توجيه الكاميرا نسبة الي الأرضَ أثناء لحظة التصوير. فالصور الجوية المائلة عادة ما يتم التقاطها وتكون الكاميرا موجهه الي جانب الطائرة. وتؤخذ الصور شديدة الميل high oblique بحيث يظهر الأفق في الصورة بخلاف الصور المائلة التي لا يظهر بها الأفق. والصور المائلة مفيدة لتغطية منطقة كبيرة من سطح الأرض في صورة واحدة ولبيان تضاريس سطح الأرض. لكن هذا النوع من الصور الجوية غير مستخدم في انتاج الخرائط بسبب التشوه الكبير في مقياس رسم الصورة والذي يمنع القياسات الدقيقة للمسافات و المساحات و الارتفاعات.

**شكل (٢-١٧) مثال لصورة جوية مائلة**

ان الصور الجوية الرأسية المأخوذة بكاميرا أحادية العدسة هي الاكثر استخداما في التصوير الجوي لأغراض الاستشعار عن بعد وإنتاج الخرائط. وهذه الكاميرات تكون مصممة بحيث تلتقط عدد كبير من الصور المتتالية مع تقليل التشوه بقدر الامكان، وعادة ما تكون مربوطة بنظام ملاحي لتحديد المواقع للحصول علي الاحداثيات الجغرافية الدقيقة لكل صورة. وتطير الطائرة في عدد من الخطوط يسمي كلا منها "خط طيران flight line" ويتم التقاط الصور بحيث تكون الكاميرا موجهه لأسفل وذلك بتداخل يبلغ ٥٠ - ٦٠% بين كل صورتين متتاليتين. وهذا التداخل يضمن التغطية الكاملة للمنطقة، كما أنه يسهل الرؤية الاستراسكوبية (المجسمة) stereoscopic viewing. فكل صورتين متتاليتين تظهران منطقة التداخل بينهما من منظرين مختلفين، وبالتالي يمكن استخدام جهاز يسمي الاستريسكوب stereoscope للحصول علي منظر مجسم ثلاثي الأبعاد للمنطقة و يسمي النموذج الاستريسكوبي stereoscopic model.




**شكل (٢-١٨) خطوط الطيران في التصوير الجوي**

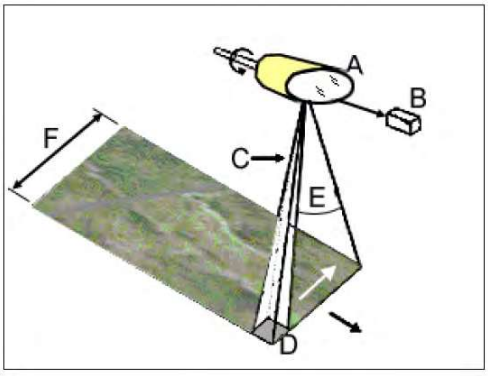
تكون الصور الجوية مفيدة أكثر عندما نحتاج درجة وضوح مكاني دقيقة أو عالية بغض النظر عن درجة الوضوح الطيفية والتي عادة ما تكون خشنة أو قليلة بالمقارنة ببيانات المستشعرات الالكترونية. ويتم استخدام الصور الجوية الرأسية في عمل القياسات الدقيقة منها وذلك لعدة تطبيقات مثل الخرائط و الجيولوجيا و الغابات. ويطلق علي علم القياس من الصور الجوية مصطلح photogrammetry وهو علم قديم يتم تطبيقه منذ بداية التصوير الجوي. وعادة ما يتم تفسير الصور بطريقة بصرية من خلال شخص ذو خبرة في التفسير، كما أنها يمكن مسحها ضوئيا للحصول علي نسخة رقمية منها و من ثم تفسيرها باستخدام برامج الكمبيوتر المتخصصة. وسنتعرض لهذا الجزء بالتفصيل في الفصل الرابع.

يستخدم التصوير متعدد النطاقات multi-band photography عدد من النظم متعددة النطاقات باستخدام عدة افلام للحصول علي صور لحظية متعددة في عدة نطاقات من المجال الكهرومغناطيسي. وتكون اهم مميزات هذا النوع من الكاميرات قدرتها علي تسجيل الاشعة المنعكسة بصورة منفصلة في نطاقات متعددة من اطوال الموجات، مما يسمح بتمييز افضل بين الاهداف المختلفة. أما الكاميرات الرقمية digital cameras التي تسجل الطاقة المنعكسة الكترونيا فتختلف بصورة كبيرة عن تلك الكاميرات التي تستخدم الافلام. فبدلا من الافلام فان هذه الكاميرات تستخدم مصفوفة مدرجة مغطاة بالسيليكون gridded array of silicon coated او ما يعرف باسم الاجهزة ثنائية الشحن charge-coupled devices (اختصارا CCD) والتي تستجيب بصورة منفصلة للإشعاع الكهرومغناطيسي. فالطاقة التي تصل الي سطح أجهزة CCD تسبب توليد شحنة كهربائية يتناسب مع درجة اللمعان للمنطقة الأرضية. ويتم تحديد رقم لكل نطاق في كل خلية أو بكسل بناءا علي هذه الشحنة الكهربائية. ومن ثم فأن هذه الصيغة الرقمية للمرئية الناتجة يمكن التعامل معها و تفسيرها باستخدام برامج الكمبيوتر. وعادة ما تكون الصور الرقمية لها درجة وضوح مكانية في حدود ٠.٣ متر و درجة وضوح طيفية ما بين ٠.٠١٢ و ٠.٣ ملليمتر، وعادة ما يتراوح عرض مصفوفة الخلايا size of pixel arrays بين ٥١٢×٥١٢ و ٢٠٤٨×٢٠٤٨.

## ٢-٨ المسح متعدد الأطياف

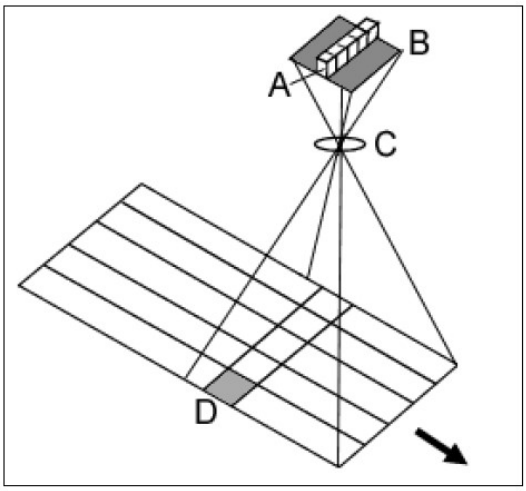
تقوم عدة نظم استشعار عن بعد بتجميع البيانات باستخدام نظم المسح scanning systems التي تستخدم مستشعر له مجال رؤية ضيق IFOV يمسح سطح الأرض لبناء مرئية ثنائية الأبعاد. ويمكن استخدام نظم المسح سواء من الطائرة أو من القمر الصناعي. ونظام المسح الذي يسمح بتجميع البيانات في عدة نطاقات من الطاقة يطلق عليه اسم "ماسح متعدد النطاقات multi-spectral scanner" أو اختصارا MSS، وهذا هو النوع الأكثر شيوعا من نظم المسح. ويوجد نوعين أو طريقتين للمسح في الماسحات متعددة النطاقات: المسح ضد المسار across-track scanning والمسح عبر المسار along-track scanning.

تقوم ماسحات ضد المسار بمسح الأرض في عدة خطوط تكون موجهة عموديا علي اتجاه حركة منصة الاستشعار (أي عمودية علي اتجاه مسار القمر الصناعي). وكل خط يتم مسحه بالتأرجح sweep من أحد جانبي المستشعر الي الجانب الاخر باستخدام مرآه متحركة rotating mirror (A)، وكلما تقدم القمر للأمام تتم عمليات مسح متعاقبة لبناء مرئية ثنائية الابعاد لسطح الارض. ويتم فصل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة الي عدة مكونات كهرومغناطيسية بحيث يتم تحسس كلا منها بصورة مستقلة. وتوجد متحسسات داخلية internal detectors (B) كلا منها حساس لنطاق محدد من اطوال الموجات بحيث يقوم كلا متحسس بقياس الطاقة لنطاق معين من النطاقات وتحويل هذه الطاقة الي بيانات رقمية يقوم بتخزينها. ويحدد مجال الرؤية IFOV للمستشعر (C) وارتفاع منصة الاستشعار قيمة الدقة المكانية للخلية الأرضية التي يتم استشعارها (D). أما المجال الزاوي للرؤية angular field of view (E) فهو قيمة تأرجح المرآه بالدرجات المستخدمة في مسح خط، ومن ثم فهو يحدد عرض مسار التحسس swath علي الأرض (F). فالماسحات في الطائرات عادة ما تستطيع التأرجح لزوايا كبيرة (بين ٩٠ و ١٢٠ درجة) بينما ماسحات الأقمار الصناعية وبسبب ارتفاعاتها العالية فلا يمكنها التأرجح الا لزوايا صغيرة (ما بين ١٠ و ٢٠ درجة). وحيث أن المسافة ما بين المستشعر والهدف تزيد في حواف مسار الاستشعار فأن درجة الوضوح المكانية (حجم الخلية) يصبح أكبر أيضا مما يتسبب في حدوث تشوه هندسي geometric distortion في المرئية. أيضا وحيث أن زمن مجال الرؤية للخلية الواحدة (يسمي زمن الكمون dwell time) يكون قصيرا جدا فأنه يكون مؤثرا في تحديد درجات الوضوح المكانية و الراديومترية و الطيفية للمستشعر.




**شكل (٢-١٩) المسح بطريقة ضد المسار**

تقوم ماسحات عبر المسار along-track scanners باستخدام الحركة الامامية للمستشعر لتسجيل خطوط مسح متعاقبة وبناء المرئية ثنائية الأبعاد عموديا علي اتجاه الطيران. لكن و بدلا من استخدام مرآة المسح المتأرجحة فأن هذه الماسحات تستخدم مجموعة خطية من المتحسسات a linear array of detectors (A) موضوعة علي المستوي البؤري focal plane للمرئية (B) الذي يكونه نظام العدسات lens system (C) والذي يتحرك في نفس اتجاه حركة المسار (أي عبر المسار). ويقوم كل متحسس بقياس الطاقة لخلية أرضية محددة (D)، وبالتالي فأن حجم المتحسس و مجال الرؤية IFOV يحددان درجة الوضوح المكانية للنظام. وبالطبع فهناك حاجة لعدة مجموعات خطية من المتحسسات حتى يمكن قياس عدة نطاقات من الطاقة الكهرومغناطيسية. وبالتالي فأن الطاقة المستشعرة من كل متحسس في كل مجموعة خطية يتم تسجيلها رقميا لبناء المرئية المطلوبة.




**شكل (٢-٢٠) المسح بطريقة عبر المسار**

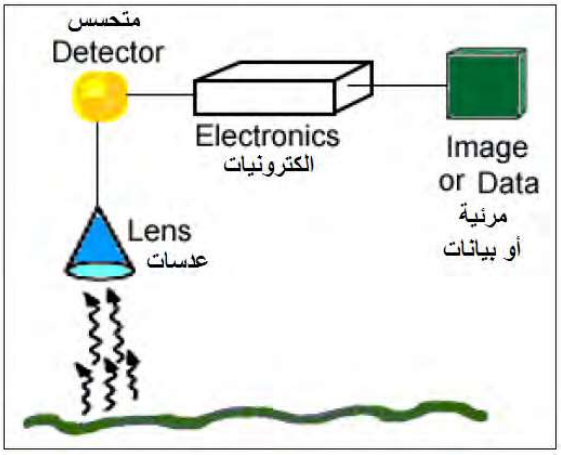
وللماسحات عبر المسار عدة مميزات عن الماسحات ضد المسار، فوجود مجموعات من المتحسسات يسمح بان يقوم كللا منهم باستشعار الطاقة لكل خلية ارضية في فترة زمنية اطول (زمن الكمون) وهذا يزيد من كمية الطاقة المستشعرة وأيضا من درجة الوضوح الراديومترية. كما أن زمن الكمون الأطول يسهل مجال الرؤية IFOV أصغر ومن ثم يحسن كثيرا من درجة الوضوح المكانية ودرجة الوضوح الطيفية. وحيث أن المتحسسات تكون أجهزة الكترونية فهي عادة ما تكون أصغر حجما و أخف وزنا و أقل استهلاكا للطاقة، وبالتالي فهي أكثر كفاءة ولها عمر افتراضي أطول حيث أنها لا تتكون من أية أجزاء متحركة (مثل مرآة التأرجح).

في كل الأحوال (بطريقة التحسس ضد المسار أو عبر المسار) فأن نظم المسح scanning systems تتفوق علي نظم التصوير photographic systems. فالمجال الطيفي لنظم التصوير مقصور فقط علي الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة، بينما الماسحات متعددة النطاقات MSS تستطيع زيادة هذا المجال الي الاشعة تحت الحمراء الحرارية. كما أن لها درجات وضوح طيفية أكبر من نظم التصوير. أيضا فأن نظم المسح تقوم بتسجيل الطاقة الكترونيا مما يسمح بقياس و تسجيل هذه الطاقة بدقة عالية. وتتطلب نظم التصوير الامداد المستمر بالأفلام و

تحتاج لعمليات معالجة الأفلام علي الأرض بعد التقاط الصور، بينما التسجيل الالكتروني لنظم المسح يسهل من ارسال البيانات الي محطات الاستقبال والمعالجة الفورية لها علي الكمبيوتر.

## ٢-٩ التصوير الحراري

توجد عدة مستشعرات متعددة النطاقات MSS يمكنها تحسس الاشعة تحت الحمراء الحرارية thermal infrared بالإضافة لنطاقات الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة. لكن استشعار الطاقة المنبعثة من الأرض في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية (بين ٣ و ١٥ مايكرومتر) يختلف عن استشعار الاشعة المنعكسة. فالمستشعرات الحرارية thermal sensors تستخدم متحسسات ضوئية تكون حساسة للتفاعل المباشر مع الوحدات الضوئية (الفوتونات photons) الموجودة علي سطحها ومن ثم يمكنها قياس الاشعاع الحراري المنبعث. ويتم تبريد هذه المتحسسات في درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق حتى يمكن تقليل الانبعاث الحراري الداخلي لها. وبصفة اساسية فان المستشعرات الحرارية تقيس درجة حرارة السطح و الخصائص الحرارية للأهداف.




**شكل (٢-٢١) الاستشعار الحراري**

عادة ما تكون المرئيات الحرارية مستشعرة باستخدام ماسحات ضد المسار تقوم بتحسس الاشعاع المنبعث فقط في النطاق الحراري من الطاقة الكهرومغناطيسية. وتستخدم المستشعرات الحرارية واحد او اكثر من المراجع الحرارية الداخلية internal temperature references حتى يمكنها مقارنة الاشعاع المستشعر وتحديد الحرارة المستشعرة المطلقة. وعادة ما يتم تسجيل البيانات علي أفلام او شرائط ممغنطة، وتكون درجة الوضوح الحرارية temperature resolution في حدود درجة مئوية واحدة. وللتحليل فيتم اظهار المرئية الحرارية النسبية (تسمي thermogram) بدرجات اللون الرمادي حيث تظهر الحرارة الدافئة بلون فاتح و تظهر الحرارة الباردة بلون داكن. وعادة ما يتم استخدام هذه المرئيات الحرارية النسبية في تطبيقات الاستشعار عن بعد. اما قياسات الحرارة المطلقة فيمكن حسابها لكنها تحتاج لمعايرة دقيقة للمراجع الحرارية الداخلية وأيضا لمعلومات تفصيلية عن الخصائص الحرارية للأهداف الارضية بالإضافة لتصحيح كلا من التشوه الهندسي و التأثيرات الراديومترية للمرئية.

**شكل (٢-٢٢) مرئية حرارية**

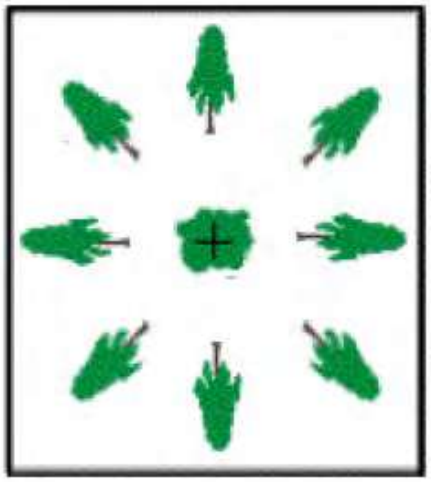
حيث ان نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية كبير نسبيا (بالمقارنة بنطاق الضوء المرئي) فان تأثير التشتت في الغلاف الجوي يكون قليلا لهذه الاشعة. لكن علي الجانب الاخر فأن الامتصاص يؤثر بقوة علي نطاقين الاول من ٣ -٥ مايكرومتر و الثاني من ٨-١٤ مايكرومتر. وبما أن الطاقة تنخفض كلما زاد طول الموجة فان المستشعرات الحرارية عادة ما يكون لها مجال رؤية IFOV كبير وذلك لضمان وصول كمية كافية من الطاقة الي المتحسس. وبالتالي فان درجة الوضوح المكانية للمستشعرات الحرارية غالبة ما تكون خشنة بالمقارنة لدرجة وضوح المرئيات في نطاق الضوء المرئي و نطاق الاشعة الحمراء اللقريبة. ويمكن الحصول علي المرئيات الحرارية نهارا او ليلا (بسبب ان الاشعاع منبعث و ليس منعكس) وتستخدم لعدة انواع من التطبيقات في الاستكشاف العسكري و المخابراتي و ادارة الكوارث (مثل متابعة حرائق الغابات) ومراقبة فقدان الحرارة.

## ٢-١٠ التشوه الهندسي في المرئيات

يتعرض أي نوع من المرئيات (سواء نظم التصوير من الطائرات او نظم المسح متعدد النطاقات من الاقمار الصناعية) الي عدة تشوهات هندسية geometric distortions. وهذه التشوهات موجودة في اي نظام استشعار عن بعد حيث اننا نحاول تمثيل سطح الارض المجسمة ثلاثية الأبعاد من خلال مرئية ثنائية الأبعاد. وهذه الأخطاء قد تكون بسبب عدة عوامل تشمل علي سبيل المثال:

- منظور بصريات المستشعر perspective of sensor optics
- حركة نظام المسح motion of scanning systems
- حركة و عدم ثبات المنصة motion and instability of platform
- دائرة عرض و ارتفاع و سرعة المنصة latitude, altitude, and velocity of platform
- تغير تضاريس سطح الارض terrain relief
- تكور و دوران الأرض curvature and rotation of the Earth

تقدم النظم الاطارية framing systems (مثل الكاميرات في التصوير الجوي) لقطة snapshot لحظية لسطح الأرض أسفل الكاميرا، ومن ثم فأن التشوه الهندسي الاساسي هنا سيكون بسبب ازاحة التضاريس relief displacement. فالأهداف الموجودة تحت مركز الكاميرا مباشرة (أي عند نقطة النديرِ) سيمكن رؤية قمتها فقط، بينما الأهداف الأخرى سيظهر علي الصورة قمتها و جزء من جوانبها. وعندما يكون الهدف طويلا أو بعيدا جدا عن مركز الصورة سيكون التشوه المكاني له كبيرا.



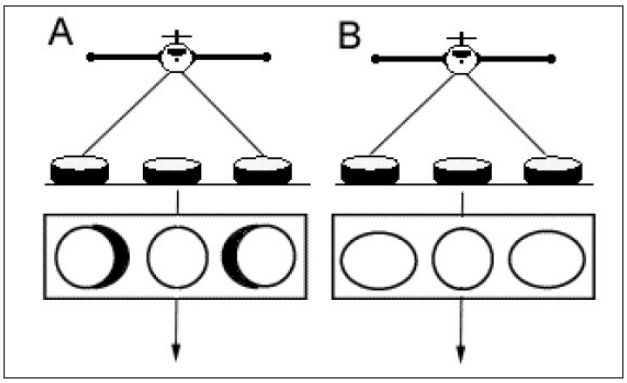
**شكل (٢-٢٣) التشوه الهندسي في الصور الجوية**

ان البناء الهندسي لماسحات عبر المسار مشابه لبناء الصور الجوية/ حيث أن كل متحسس في كل خط يأخذ لقطة snapshot للخلية الأرضية المستشعرة. وتكون التغيرات الهندسي بين الخطوط بسبب التغير في ارتفاع و دائرة عرض المنصة علي مسار الطيران.

أما نظم المسح ضد المسار فيكون بها نوعين من التشوهات الهندسية، أولهما الازاحة التضاريسية (A) المشابه للتصوير الجوي لكن في اتجاه واحد فقط وهو الموازي لاتجاه المسح. وهنا لا يكون هناك اي تشوه مباشرة تحت المستشعر (عند نقطة النديرِ). وكلما تم التحسس بعيدا عن نقطة النديرِ كلما ظهر التشوه او الازاحة والتي تزيد باتجاه اطراف مسار التحسس. أما النوع الثاني من التشوه (B) فيحدث نتيجة دوران بصريات الماسح scanning optics. فكلما تم تحسس ضد (عمودي علي) المسار كلما زادت المسافة بين المستشعر و الهدف الارضي. ومع أن مرآة التحسس تدور بسرعة ثابتة، الا أن مجال الرؤية IFOV للمستشعر سيتحرك بسرعة (بالمقارنة بالأرض) ويستشعر منطقة أكبر كلما كان قريبا من الأطراف. ويؤدي هذا التأثير الي ضغط صورة الاهداف البعيدة عن نقطة النديرِ، وهذا ما يسمي تشوه مقياس المماس tangential scale distortion. كما ان كل المرئيات تخضع لتشوهات هندسية بسبب التغيرات في ثبات المنصة والذي يشمل تغير سرعتها و ارتفاعها اثناء التحسس او الاستشعار. وهذه التأثيرات مؤثرة عند استخدام الطائرات كمنصات للاستشعار إلا انها اقل تأثيرا بدرجة كبيرة مع منصات الاقمار الصناعية التي يكون لها مدارات اكثر ثباتا. لكن وعلي الجانب الاخر فان حركة دوران الارض ناحية الشرق تتسبب في ان تأرجح نظم المسح سيغطي منطقة الي الغرب قليلا من الخط السابق. ومن ثم فأن المرئية الناتجة

ستكون منحرفة skewed وهو ما يعرف بالتشوه الانحرافي skew distortion والذي يكون شائعا في مرئيات الماسحات متعددة النطاقات.

مع أن مصادر التشوه الهندسي تختلف من حالة لآخري و من نظام استشعار لآخر ألا أنها موجودة في مرئيات الاستشعار عن بعد. وفي معظم الحالات يمكننا ازالة ا، تقليل هذه الأخطاء بدرجة كبيرة إلا أن هذه الحقيقة يجب وضعها في الاعتبار قبل أية محاولات للقياس أو استنباط أية معلومات من المرئيات.

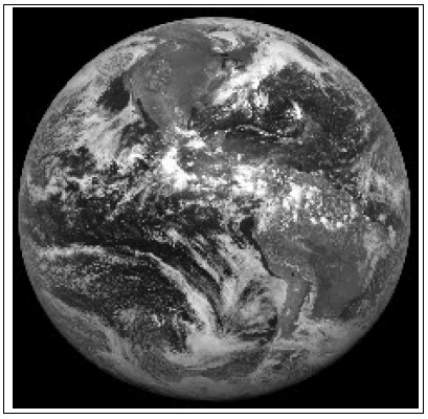



**شكل (٢-٢٤) التشوهات الهندسية في المرئيات**

حيث أننا انتهينا الان من استعراض الخصائص العامة للمستشعرات و الأقمار الصناعية فسنتحدث في الأجزاء القادمة عن أنواع محددة من المستشعرات (باستخدام الأقمار الصناعية) التي تعمل في نطاق الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة.

## ٢-١١ أقمار و مستشعرات الطقس

تعد أقمار مراقبة الطقس واحدة من أوليات الأقمار الصناعية المدنية في الاستشعار عن بعد حيث تم اطلاق أول قمر للطقس (قمر 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. وسنستعرض الان بعضا من هذه التطبيقات المترولوجية.



**شكل (٢-٢٥) التطبيقات المناخية ومراقبة الطقس**

## أقمار GOES:

تم تصميم القمر GOES (أو القمر البيئي العامل الثابت Geostationary Operational Environmental Satellite) بواسطة وكالة الفضاء الأمريكية - ناسا - ليقدم مرئيات متكررة صغيرة المقياس لسطح الأرض و غطاء السحب. وتم استخدام أجيال هذا القمر الصناعي علي مدار ٢٠ عاما في مراقبة الطقس و التنبؤ به. وهذه الأقمار الصناعية جزءا من منظومة أو شبكة عالمية من أقمار الطقس تتباعد بقيمة تقريبية ٧٠ درجة في خطوط الطول حول الأرض ليمكنها تغطية شبه كاملة للأرض. ويوجد قمرين GOES موضوعين في مدارات ثابتة مع الأرض geostationary علي ارتفاع ٣٦٠٠٠ كيلومتر بحيث أن كلا منهما يري تقريبا ثلث الأرض. وأحد هذين القمرين موضوع عند خط طول ٧٥ درجة غرب ليراقب الأمريكيتين الشمالية و الجنوبية وجزء كبير من المحيط الأطلنطي، بينما القمر الاخر موضوع عند خط طول ١٣٥ درجة غرب ليراقب أمريكا الشمالية و المحيط الهادي. ومن ثم فهما معا يغطيان المنطقة من خط طول ٢٠ غربا الي خط طول ١٦٥ غربا. والصورة التالية توضح مرئية GOES تظهر الاعصار الذي حدث بالجنوب الشرقي من الولايات المتحدة في سبتمبر ١٩٩٦.

**شكل (٢-٢٦) تطبيقات القمر الصناعي GOES لمراقبة الطقس**

تم اطلاق جيلين من أقمار GOES وكلاهما يقيس الاشعاع المنبعث و المنعكس ومنه يمكن استنباط درجة حرارة الغلاف الجوي و الرياح و الرطوبة و غطاء السحب. يتكون الجيل الأول من GOES-1 الذي تم اطلاقه في ١٩٧٥ وحتى GOES-7 المطلق في ١٩٩٢. أما الجيل الثاني فبدأ مع GOES-8 في ١٩٩٤ وكان له مميزات متقدمة عديدة، مثل الرصد شبه المستمر لسطح الأرض مما يسمح بالحصول علي المرئيات كل ١٥ دقيقة، بالإضافة لتحسن كبير في كلا من درجة الوضوح المكانية و الراديومترية. ويقيس المستشعر من خلال ٥ قنوات الاشعاع المنعكس و المنبعث في نطاق الضوء المرئي و نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة باستخدام درجة وضوح راديومترية ١٠ بت، كما في الجدول التالي:

**خصائص مرئيات أقمار الطقس GOES**

| النطاق | طول الموجة (مايكرومتر) | الوضوح المكاني (كم) | الاستخدام |
|---|---|---|---|
| ١ | ٠.٥٢ - ٠.٧٢<br>النطاق المرئي | ١ | السحب، التلوث، العواصف |
| ٢ | ٣.٧٨ - ٤.٠٣<br>الاشعة تحت الحمراء القصيرة | ٤ | الضباب أثناء الليل، سحب المياه و الثلوج أثناء النهار، الحرائق والبراكين، درجة حرارة سطح البحر ليلا |
| ٣ | ٦.٤٧ - ٧.٠٢<br>المستوي العالي لبخار الماء | ٤ | المناطق متوسطة الرطوبة، مراقبة حركة المستوي المتوسط من الغلاف الجوي |
| ٤ | ١٠.٢ - ١١.٢<br>الاشعة تحت الحمراء الطويلة | ٤ | الرياح، العواصف القوية، المطر الغزير |
| ٥ | ١١.٥ - ١٢.٥<br>نطاق الاشعة تحت الحمراء الحساسة لبخار الماء | ٤ | الرطوبة منخفضة المستوي، درجة حرارة سطح البحر، التراب المحمول جوا والرماد البركاني |

و بالإضافة لقنوات المرئيات imaging channels يوجد أيضا ١٩ قناة أخري sounding channels تقوم بقياس الاشعاع المنبعث في ١٨ نطاق من الاشعة تحت الحمراء الحرارية و نطاق واحد من الاشعاع المنعكس في النطاق المرئي، وذلك بدرجة وضوح مكاني ٨ كيلومترات و درجة وضوح راديومترية ١٣ بت. وتستخدم هذه البيانات في تحديد درجات الحرارة السطحية و درجات حرارة السحب العليا ونماذج الرطوبة متعددة المستويات في الغلاف الجوي بالإضافة لتحليل توزيع الأوزون.

## أقمار NOAA AVHRR

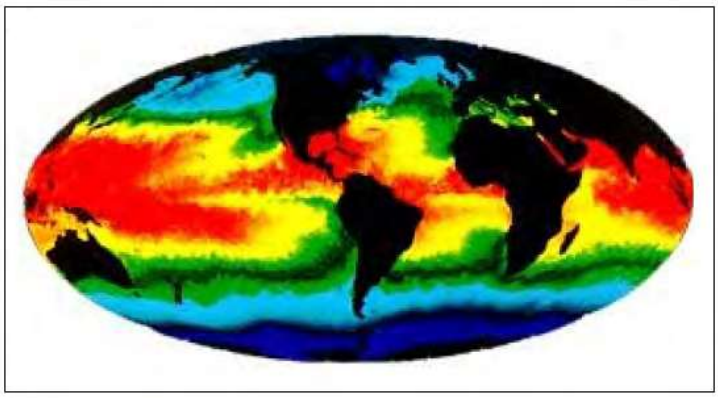
تتبني وكالة الفضاء الأمريكية عدة نظم أخري من الأقمار الصناعية المخصصة للتطبيقات المناخية تسمح بالحصول علي تغطية كاملة للأرض وفي فترات مستمرة لا تتجاوز ٦ ساعات لأي بقعة في العالم. والمستشعر الرئيسي الموجود في هذه الأقمار يسمي الراديومتر المتقدم عالي الدقة جدا

Advanced Very High Resolution Radiometer أو اختصارا AVHRR. 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 | ٠.٧٢٥؟ - ١.١<br>الاشعة تحت الحمراء القصيرة | ١.١ | المياه، النباتات، المسح الزراعي |
| ٣ | ٣.٥٥ - ٣.٩٣<br>الأشعة تحت الحمراء المتوسطة | ١.١ | حرارة سطح البحر، البراكين، حرائق الغابات |
| ٤ | ١٠.٣ - ١١.٣<br>الاشعة تحت الحمراء الحرارية | ١.١ | حرارة سطح البحر، رطوبة التربة |
| ٥ | ١١.٥ - ١٢.٥<br>الاشعة تحت الحمراء الحرارية | ١.١ | حرارة سطح البحر، رطوبة التربة |

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

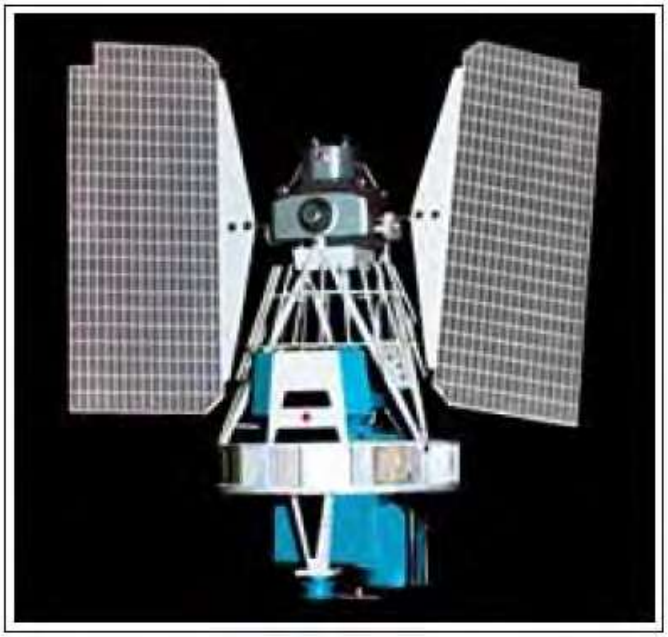


**شكل (٢-٢٧) تطبيقات القمر الصناعي NOAA VHHRR لمراقبة حرارة سطح البحار**

## ٢-١٢ أقمار و مستشعرات أرصاد الأرض

### أقمار لاندسات:

أطلقت ناسا أول قمر صناعي للاستشعار عن بعد مصمم ومخصص لدراسة و مراقبة سطح الأرض في عام ١٩٧٢ وهو القمر الصناعي لاندسات Landsat-1 (كان اسمه الأولي هو قمر تقنية موارد الأرض Earth Resources Technology Satellite أو اختصارا ERTS-1). وتم تصميم لاندسات 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 ١٩٨٣ انتقلت مسئولية ادارة برنامج لاندسات من ناسا الي الهيئة الامريكية للطقس و المحيطات NOAA، 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.



**شكل (٢-٢٨) أحد الأجيال الأولي لأقمار لاندسات**

توجد عدة مستشعرات علي متن أقمار لاندسات وتشمل نظم كاميرات تسمي BRV ونظم ماسحات متعددة الأطياف MSS والماسح الموضوعي Thematic Mapper أو TM. وكل مستشعر يجمع بيانات علي مسار يبلغ عرضه ١٨٥ كيلومتر، أي أن عرض المرئية الواحدة يبلغ ١٨٥×١٨٥ كيلومتر. ويقوم الماسح متعدد الأطياف بتحسس الأهداف في أربعة نطاقات طيفية ولكلا منهم درجة وضوح مكانية تقريبا ٦٠×٨٠ متر ودرجة وضوح راديومترية ٦ بت (أي ٦٤

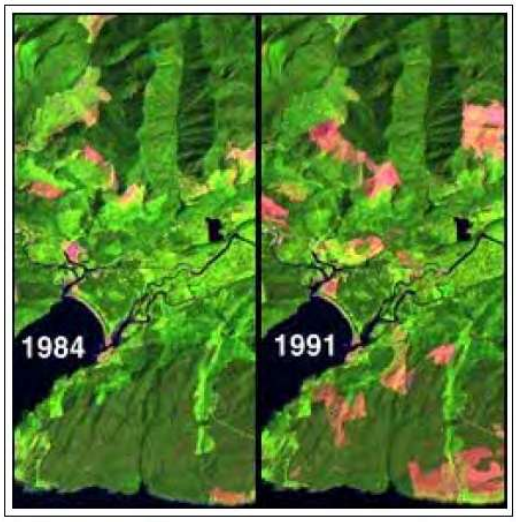
رقم). وبدءا من عام ١٩٩٢ تم ايقاف العامل بالماسح المتعدد MSS وإحلاله بالمساح الموضوعي TM بدءا من القمر لاندسات ٤. وقد زاد عدد المتحسسات لكل نطاق فأصبح ١٦ متحسسا (بدلا من ٦ متحسسات فقط في مستشعرات MSS). وباستخدام المرآة المتأرجحة فقد أصبح هناك ١٦ خط تحسس يمكن تجميعهم بالتبادل للنطاق غير الحراري (٤ خطوط للنطاق الحراري). وبالتالي فقد زاد زمن الكمون dwell time وتحسن الوضوح الهندسي و الراديومتري للبيانات. وتبلغ درجة الوضوح المكانية للماسح الموضوعي ٣٠ متر (١٢٠ متر لنطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية)، وتبلغ درجة الوضوح الراديومترية لكل النطاقات ٨ بت (أي ٢٥٦ رقم). وتستخدم بيانات كلا المستشعرين TM و MSS 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 |




**شكل (٢-٢٩) مراقبة التغيرات أحد تطبيقات مرئيات لاندسات**

يعد لاندسات-٨ أحدث أقمار سلسلة لاندسات وتم اطلاقه في ١١ فبراير ٢٠١٣، وهو يمسح الأرض كاملة كل ١٦ يوم، وتسمح هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS بالتحميل المجاني لمرئياته بعد ٢٤ ساعة وذلك من الرابط:

http://landsatlook.usgs.gov/

أو من الرابط:

http://earthexplorer.usgs.gov/

كما تم اضافة مستشعرات جديدة في لاندسات-٨ منهم مستشعر مصور الأرض الفعال Operational Land Imager (اختصارا OLI) و مستشعر الاشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal Infrared Sensor (اختصارا TIRS):

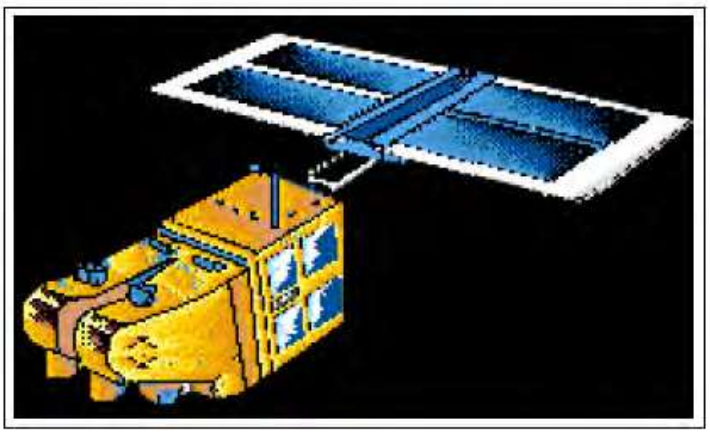
**شكل (٢-٣٠) قمر لاندسات-٨**

**نطاقات المستشعرات الجديدة في قمر لاندسات-٨**

| 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 |

**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 ٣-٤ 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.



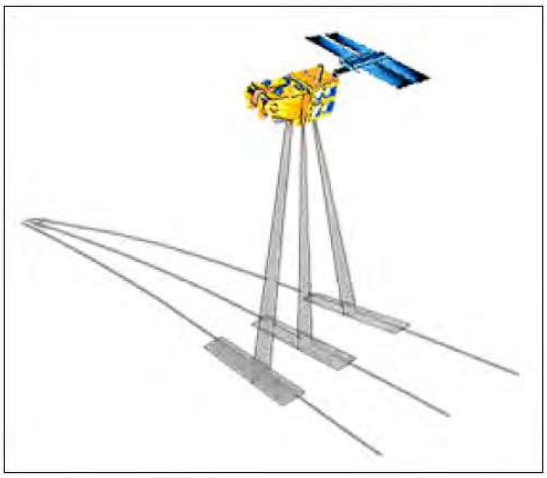
**شكل (٢-٣١) أحد أقمار سبوت**

لأقمار سبوت نظامين من نوع النظام المرئي عالي الدقة High Resolution Visible (أو اختصارا HRV ) للحصول علي للمرئيات، وكلا منهما قادر علي التحسس بطريقة القناة الأحادية (البانكروماتية) و طريقة تعدد النطاقات في ثلاثة قنوات. وكل مستشعر مع-المسار يتكون من ٤ مصفوفات خطية من المحددات: صف من ٦٠٠٠ عنصر للطريقة البانكروماتية تستطيع تحسس درجة وضوح مكانية ١٠ متر، صف من ٣٠٠٠ عنصر لكل نطاق من النطاقات المتعددة تستطيع تحسس درجة وضوح مكانية ٢٠ متر. ويبلغ عرض المسار لكلا الطريقتين ٦٠ كيلومتر.

**نطاقات المستشعر HRV في أقمار سبوت**

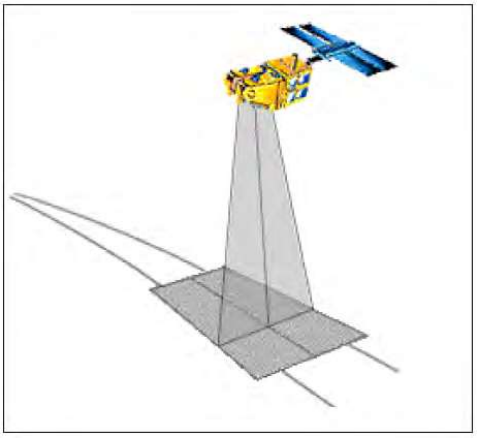
| النطاق/الطريقة | طول الموجة (مايكرومتر) |
|---|---|
| الطريقة البانكروماتية PLA | ٠.٥١ - ٠.٧٣ (أزرق-أخضر-أحمر) |
| الطريقة متعددة النطاقات MLA | |
| Band 1 | ٠.٥٠ - ٠.٥٩ (أخضر) |
| Band 2 | ٠.٦١ - ٠.٦٨ (أحمر) |
| Band 3 | ٠.٧٩ - ٠.٨٩ (تحت الحمراء القريبة) |

يمكن ضبط زاوية رؤية المستشعر علي كلا جانبي المسار الرأسي للقمر الصناعي (النديز) مما يسمح برؤية أو تحسس المنطقة خارج النديز وهذا يزيد من قدرة القمر علي اعادة الزيارة. وهذه الامكانية للمستشعر لكي يتحسس ٢٧ درجة خارج النديز تسمح لأقمار سبوت بتغطية مسار يبلغ ٩٥٠ كيلومتر ومن ثم اعادة الزيارة عدة مرات أسبوعيا. وعند توجيه المستشعر خارج النديز فأن عرض المسار يتراوح بين ٦٠ و ٨٠ كيلومتر، وهذا يسمح بمراقبة مناطق محددة و يزيد أيضا من امكانية الحصول علي مرئيات خالية من السحب cloud-free scenes، بالإضافة لإمكانية الحصول علي مرئيات متداخلة أو استريوسكوبية حيث أن الحصول علي مرئيتين لنفس المنطقة من زاويتين مختلفتين يمكننا من اجراء التحليل ثلاثي الأبعاد لتضاريس سطح الأرض.



**شكل (٢-٣٢) مسارات أقمار سبوت**

تزيد هذه الرؤية المائلة من تردد زيارة المناطق الاستوائية الي ثلاثة أيام (٧ مرات خلال الدورة الكاملة البالغة ٢٦ يوم)، بينما المناطق الواقعة علي دائرة عرض ٤٥ درجة يمكن رؤيتها بتردد أكبر يبلغ ١١ مرة كل ٢٦ يوم (نتيجة تقارب مسارات القمر ناحية القطب). وعند توجيه المستشعر ليغطي مسارات أرضية متجاورة فيمكن رؤية مسار يبلغ عرضه ١١٧ كيلومتر (مع تداخل ٣ كيلومترات بين كل مسارين متتاليين). وفي هذه الطريقة فيمكن تجميع البيانات اما في النطاق البانكروماتي أو في النطاق المتعدد وليس في كلاهما في نفس الوقت.



**شكل (٢-٣٣) تغير عرض المسار في أقمار سبوت**

تتميز مرئيات سبوت بدرجة الوضوح المكانية الدقيقة، واستخدام النطاقات الثلاثة في الحصول علي 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 و عمل نماذج ارتفاعات رقمية DEM (اختصار Digital Elevation Model).

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 ١.٥ متر للنطاق البانكروماتي (مناسبة لإنتاج الخرائط بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠) و ٦.٠ أمتار للنطاقات الأربعة المتعددة (الأزرق و الأخضر و الأحمر وتحت الحمراء القريبة)، و يبلغ عرض المسار ٦٠ كيلومتر عند النديد.

**شكل (٢-٣٤) قمر سبوت-٧**

**شكل (٢-٣٥) مرئية سبوت-٧ لمدينة سيدني الاسترالية في ٣ يوليه ٢٠١٤**

## أقمار IRS:

تدمج مجموعة الأقمار الهندية للاستشعار عن بعد Indian Remote Sensing (أو اختصارا IRS التي بدأ اطلاق أول أقمارها في ١٩٨٨) مميزات من كلا من أقمار لاندسات و أقمار سبوت. القمر الرابع من هذه المجموعة IRS-1D الذي تم اطلاقه في سبتمبر ١٩٩٧ له ثلاثة مستشعرات: كاميرا عالية الوضوح ذات نطاق واحد بانكروماتي PAN، ومستشعر متوسط الوضوح ذو أربعة قنوات LISS-III، ومستشعر متوسط الوضوح ذو قناتين لمجال رؤية كبير WiFS.

وبالإضافة لدرجة وضوحه المكانية العالية فأن المستشعر البانكروماتي في أقمار IRS يمكنه الحركة حتى ٢٦ درجة عمودي علي المسار مما يسمح بالتحسس الاستريسكوبي وتقليل فترة اعادة الزيارة (مثل القمر سبوت). وتستخدم مرئيات IRS عالية الوضوح المكاني في تطبيقات التخطيط

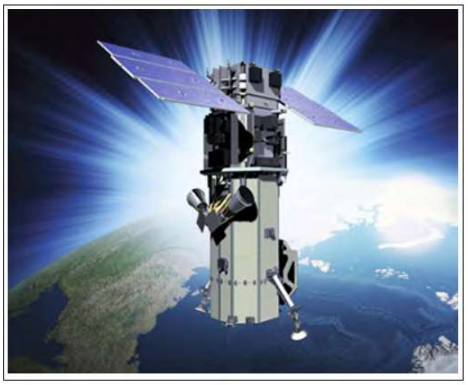
العمراني و الخرائط. أما النطاقات الأربعة للمستشعر LISS-III فهي مماثلة لنطاقات المستشعر TM في أقمار سبوت، ومن ثم فهي ممتازة لتطبيقات تمييز أنواع النباتات وخرائط الغطاء الأرضي وتخطيط الموارد الطبيعية. أما مستشعر WiFS المماثل لنطاقات مستشعر NOAA AVHRR من حيث الوضوح المكاني و التغطية فهو مناسب لتطبيقات مراقبة النباتات علي مستوي اقليمي.

**خصائص مستشعرات أقمار IRS**

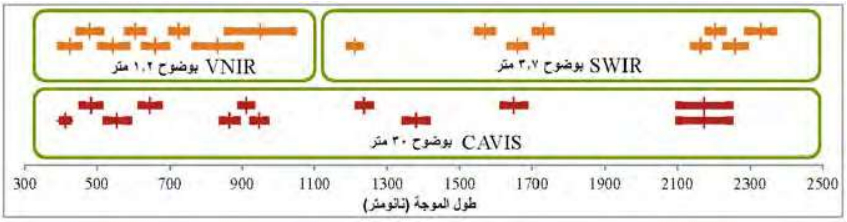
| المستشعر | طول الموجة (مايكرومتر) | درجة الوضوح المكانية (م) | عرض المسار (كيلومتر) | فترة اعادة الزيارة (يوم) عند خط الاستواء |
|---|---|---|---|---|
| بانكروماتي **PAN** | ٠.٥ - ٠.٧٥ | ٥.٨ | ٧٠ | ٢٤ |
| **LISS-III** | | | | |
| الأخضر | ٠.٥٢ - ٠.٥٩ | ٢٣ | ١٤٢ | ٢٤ |
| الأحمر | ٠.٦٢ - ٠.٦٨ | ٢٣ | ١٤٢ | ٢٤ |
| تجث الحمراء القريبة | ٠.٧٧ - ٠.٨٦ | ٢٣ | ١٤٢ | ٢٤ |
| تحت الحمراء القصيرة | ١.٥٥ - ١.٧٠ | ٧٠ | ١٤٨ | ٢٤ |
| **WiFS** | | | | |
| الأحمر | ٠.٦٢ - ٠.٦٨ | ١٨٨ | ٧٧٤ | ٥ |
| تحت الحمراء القريبة | ٠.٧٧ - ٠.٨٦ | ١٨٨ | ٧٧٤ | ٥ |

## أقمار Worldview

يعد WorldView-3 القمر الثالث من هذه السلسة من الأقمار الصناعية التجارية من شركة Digital Globe (و أطلق في ١٣ أغسطس ٢٠١٤) من أحدث الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد وأفضلها من حيث الوضوح المكاني. وتصل دقة الوضوح المكاني لهذا القمر الي ٠.٣١ متر للنطاق البانكروماتي و ١.٢٤ متر للنطاقات المتعددة و ٣.٧ متر لنطاق الاشعة تحت الحمراء القصيرة. ويتميز هذا القمر بالإضافة للمستشعر البانكروماتي (٠.٤٥ - ٠.٨٠ مايكرومتر) و المستشعر متعدد النطاقات VNIR (وعددهم ٨ للنطاقات ٠.٤٠ - ١.٠٤ مايكرومتر) باستشعار الأشعة تحت الحمراء القصيرة SWIR في ٨ نطاقات (١.١٩٥ - ٢.٣٦٥ مايكرومتر) و مستشعر من نوع CAVIS يتحسس الضباب و السحب و محتوي بخار الماء وعدة مركبات مناخية أخري في ١٢ نطاق (٠.٤٠٥ - ٢.٢٤٥ مايكرومتر). كما يتميز WorldView-3 بفترة اعادة زيارة أقل من يوم ويمكنه جمع بيانات لمساحة ٦٨٠ ألف كيلومتر مربع يوميا، وبقدرة وضوح راديومترية ١١ بت للنطاق البانكروماتي و ١٤ بت للنطاقات المتعددة.



**شكل (٢-٣٦) قمر WorldView-3**




**شكل (٢-٣٧) نطاقات الاستشعار في قمر WorldView-3**

## أقمار SkySat

سلسلة أخري من الأقمار التجارية المخصصة للاستشعار عن بعد المملوكة لشركة SkySat Imaging والتي أطلقت أول أقمارها في ٢٠١٣ ثم القمر الثاني SkySat-2 في ٨ يوليه ٢٠١٤ علي ارتفاع ٤٥٠ كيلومتر من سطح الأرض. وبالإضافة للمرئيات فيقدم هذا القمر أيضا لقطات فيديو بالأبيض و الأسود بجودة ٣٠ لقطة/ثانية لمدة تصل الي ٩٠ ثانية. أما درجة الوضوح المكانية للنطاق البانكروماتي فتبلغ ١.١ متر وللنطاق المتعدد تبلغ ٢.٠ متر، ويبلغ عرض المسار ٢ و ٨ كيلومترات علي الترتيب.

**شكل (٢-٣٨) قمر SkySat-2**

**نطاقات الاستشعار في قمر SkySat-2**

| النطاق | طول الموجة (مايكرومتر) |
|---|---|
| البانكروماتي | ٠.٤٥ - ٠.٩٠ |
| الأزرق | ٠.٤٥ - ٠.٥١٥ |
| الأخضر | ٠.٥١٥ - ٠.٥٩٥ |
| الأحمر | ٠.٦٠٥ - ٠.٦٩٥ |
| تحت الحمراء القريبة | ٠.٧٤ - ٠.٩٠ |

## نظم MEIS-11 and CASI:

من المفيد أيضا التعرض لبعض تطبيقات الاستشعار عن بعد المعتمدة علي الطائرات (وليس الأقمار الصناعية) كمنصات. فعلي سبيل المثال فأن النظام الكندي MEIS-II (الذي يرمز الي الماسح البصري-الالكتروني متعدد النطاقات أو Multispectral Electro-optical Imaging Scanner) فيعتمد علي تركيب هذا الماسح في الطائرات. ويسمح النظام بتجميع البيانات في ٨ بت (أي ٢٥٦ رقم) في ثمانية نطاقات تتراوح بين ٠.٣٩ و ١.١ مايكرومتر باستخدام مصفوفة خطية مكونة من ١٧٢٨ متحسس لكل نطاق. كما توجد امكانية التصوير الاستريسكوبي من خط طيران واحد، بالإضافة لإمكانية اختيار نطاق معين متغير من الطاقة للتعامل معه كل مرة.

أما النظام الكندي CASI (يرمز الي النظام الاستريسكوبي المضغوط للتصوير الجوي Compact Airborne Spectrographic Imager) فيعد من أوليات نظم الاستشعار الجوي التجاري. فالمستشعر متعدد النطاقات يسمح بتحسس النطاقات في الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء باستخدام ماسح عبر-المسار به ٢٨٨ قناة تغطي أطوال موجات من ٠.٤ الي ٠.٩ مايكرومتر. وتعتمد درجة الوضوح المكانية علي ارتفاع الطيران إلا أن تحديد نطاقات الاستشعار تعتمد علي احتياجات المستخدم ذاته. وقد كانت هذه النظم الجوية مفيدة للغاية في تطوير المستشعرات متعددة النطاقات التي تم استخدامها في نظم الاقمار الصناعية.

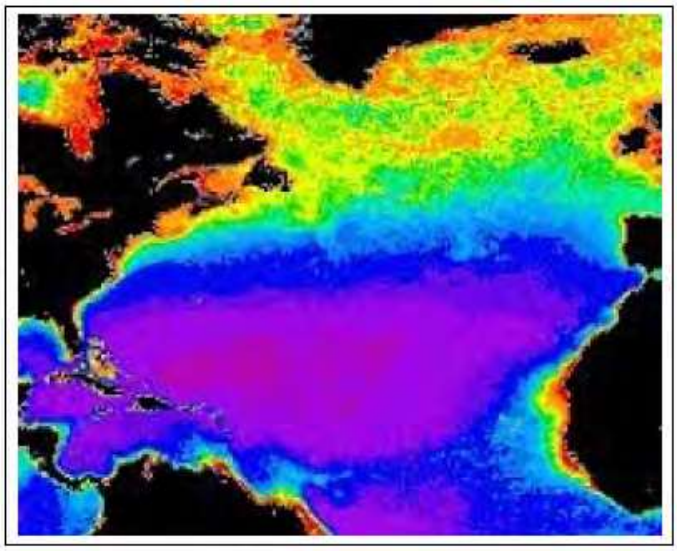
## ١٣-٢ أقمار و مستشعرات الارصاد البحرية

## قمر Nimbus-7:

تشكل المحيطات ثلثي الكرة الأرضية وتلعب دورا هاما في النظام المناخي العالمي، ومن ثم فتوجد عدة نظم أقمار صناعية مخصصة لدراسة المحيطات. تم اطلاق أول قمر من هذه الفئة (القمر Nimbus-7) في ١٩٧٨ حاملا مستشعر من نوع الماسح الملون لمناطق الشواطئ Costal Zone Color Scanner (أو اختصاراCZCS ). ويسمح مدار هذا القمر الصناعي بتغطية كاملة للأرض كل ستة أيام، ويتم التحسس في ستة نطاقات طيفية كما في الجدول التالي. هذا و قد توقف هذا القمر الصناعي في عام ١٩٨٦.

**نطاقات الاستشعار لمستشعر CZCS**

| القناة | طول الموجة (مايكرومتر) | العناصر المستشعرة |
|---|---|---|
| ١ | ٠.٤٣ - ٠.٤٥ | امتصاص الكلوروفيل |
| ٢ | ٠.٥١ - ٠.٥٣ | امتصاص الكلوروفيل |
| ٣ | ٠.٥٤ - ٠.٥٦ | المادة العضوية gelbstoff |
| ٤ | ٠.٦٦ - ٠.٦٨ | تركيز الكلوروفيل |
| ٥ | ٠.٧٠ - ٠.٨٠ | النبات السطحي |
| ٦ | ١٠.٥٠ - ١٢.٥٠ | الحرارة السطحية |



**شكل (٢-٣٩) أحد مرئيات أقمار CZCS**

## أقمار MOS:

تم اطلاق أول أقمار هذه السلسلة من الأقمار الصناعية للأرصاد البحرية Marine Observation Satellite (أو اختصارا MOS) في ١٩٨٧ بواسطة اليابان، ثم جاء القمر الثاني في ١٩٩٠. ويبلغ ارتفاع القمر ٩٠٠ كيلومتر، ومن ثم فأن فترة اعادة الزيارة تصل الي ١٧ يوم. وتحمل هذه الأقمار الصناعية ثلاثة أنواع من المستشعرات: (١) ماسح راديومتري متعدد النطاقات ذو أربعة قنوات MESSR، (٢) ماسح راديومتري مرئي و حراري ذو أربعة قنوات VTIR، (٣) ماسح راديومتري للأشعة القصيرة ذو قناتين MSR. وتماثل نطاقات المستشعر

MESSR نطاقات المستشعر MSS في أقمار لاندسات مما يجعل هذه البيانات مفيدة لتطبيقات الأراضي كما هي مفيدة للتطبيقات البحرية.

**نطاقات الاستشعار المرئية و الاشعة تحت الحمراء في أقمار MOS**

| المستشعر | طول الموجة (مايكرومتر) | الوضوح المكاني (متر) | عرض المسار (كيلومتر) |
|---|---|---|---|
| MESSR | ٠.٥١ - ٠.٥٩ | ٥٠ | ١٠٠ |
| | ٠.٦١ - ٠.٦٩ | ٥٠ | ١٠٠ |
| | ٠.٧٢ - ٠.٨٠ | ٥٠ | ١٠٠ |
| | ٠.٨٠ - ١.١٠ | ٥٠ | ١٠٠ |
| VTIR | ٠.٥٠ - ٠.٧٠ | ٩٠٠ | ١٥٠٠ |
| | ٦.٠ - ٧.٠ | ٢٧٠٠ | ١٥٠٠ |
| | ١٠.٥ - ١١.٥ | ٢٧٠٠ | ١٥٠٠ |
| | ١١.٥ - ١٢.٥ | ٢٧٠٠ | ١٥٠٠ |

## مستشعر SeaWiFS:

تم تصميم هذا المستشعر (اختصار المستشعر عريض المجال لرؤية البحار Sea-Viewing Wide-Field-of View Sensor) خصيصا لمراقبة المحيطات وتم وضعه علي متن القمر الصناعي SeaStar في مدار يرتفع ٧٠٥ كيلومتر عن سطح الأرض. وتسمح البيانات المستشعرة في ثمانية قنوات ضيقة بدراسة عناصر مناخية محددة في المحيطات (مثل المخزون الحراري وتكون الضباب) وبدرجة وضوح مكانية عالية تبلغ ١.١ كيلومتر عند النذير من خلال مسار يبلغ عرضه ٢٨٠٠ كيلومتر، وأيضا بدرجة وضوح مكانية أقل تبلغ ٤.٥ كيلومتر لمسار عرضه ١٥٠٠ كيلومتر.

**نطاقات الاستشعار لمستشعر SeaWiFS**

| القناة | طول الموجة (مايكرومتر) |
|---|---|
| ١ | ٠.٤٠٢ - ٠.٤٢٢ |
| ٢ | ٠.٤٣٣ - ٠.٤٥٣ |
| ٣ | ٠.٤٨٠ - ٠.٥٠٠ |
| ٤ | ٠.٥٠٠ - ٠.٥٢٠ |
| ٥ | ٠.٥٤٥ - ٠.٥٦٥ |
| ٦ | ٠.٦٦٠ - ٠.٦٨٠ |
| ٧ | ٠.٧٤٥ - ٠.٧٨٥ |
| ٨ | ٠.٨٤٥ - ٠.٨٨٥ |

## ٢-١٤ مستشعرات أخري

قدمت الاجزاء الثلاثة السابقة نبذة عن أشهر المستشعرات و الأقمار الصناعية المستخدمة في تطبيقات الاستشعار عن بعد الشائعة. الا أنه يوجد أنواع أخري من المستشعرات الأقل شيوعا لأغراض أخري من الاستشعار عن بعد، ومنهم المستشعرات الاتية.

### الفيديو:

مع أنها أقل من حيث درجة الوضوح المكانية من التصوير الجوي التقليدي أو اللاستشعار الرقمي، إلا أن كاميرات الفيديو تقدم وسيلة مفيدة للحصول علي البيانات. ومن التطبيقات التي تستفيد من الفيديو عمليات مراقبة الكوارث الطبيعية (مثل الحرائق و الفيضانات) وتقدير المحاصيل و أمراضها ومراقبة المخاطر البيئية وأيضا المراقبة الأمنية لأجهزة الشرطة. وتسجل كاميرات الفيديو الاشعاع في النطاق المرئي وأيضا الأشعة تحت الحمراء القريبة وفي بعض الأحيان الأشعة تحت الحمراء المتوسطة.

### نظم FLIR:

تعمل نظم FLIR (اختصار الاشعة تحت الحمراء للحركة الأمامية Forward Looking Infrared) مثل المستشعرات الحرارية بنظام ضد المسار، لكنها تقدم منظر مائل وليس منظر النذير لسطح الأرض. وعادة ما تستخدم هذه المستشعرات في الطائرات أو الهليكوبتر لتحسس المنطقة التي تقع أمام الطائرة. ومن أمثلة تطبيقات هذه المستشعرات عمليات البحث و الانقاذ والعمليات العسكرية و أيضا مراقبة حرائق الغابات.

### تقنية LiDAR:

تعمل تقنية التحسس و قياس المسافات بالضوء Light Detection And Ranging كنظام استشعار عن بعد موجب active sensor بطريقة مشابهه للرادار. وهنا يتم اطلاق أشعة ليزر من المستشعر ومن ثم تحسس وقياس الطاقة المنعكسة من الأهداف التي يقع عليها الليزر. وبقياس الزمن المستغرق من لحظة الاطلاق الي لحظة عودة الليزر للمستشعر يمكن حساب المسافة بينهما. وبصورة عالية الكفاءة يتم استخدام هذه التقنية في قياس الارتفاعات و أعماق المياه. كما تستخدم هذه التقنية أيضا في دراسات الغلاف الجوي مثل قياس محتوي الجزئيات في كل طبقة من طبقات الغلاف الجوي و مراقبة التيارات الهوائية وتقدير كثافة الهواء.

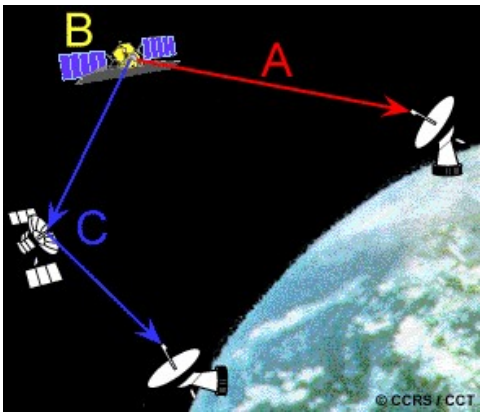
### تقنية RADAR:

تعمل تقنية التحسس و قياس المسافات بالراديو Radio Detection And Ranging (الرادار) كمستشعر موجب active sensor ، حيث يتم اطلاق أشعة قصيرة من المستشعر ومن ثم تحسس وقياس الطاقة المنعكسة من الأهداف. وبقياس الزمن المستغرق من لحظة الاطلاق الي لحظة عودة الليزر للمستشعر وأيضا بقياس كمية الطاقة المنعكسة فيمكن تكوين مرئية ثنائية الأبعاد لسطح

الأرض. ومن مميزات الرادار أنها تقنية تعتمد علي مصدر طاقة خاص بها ومن ثم يمكنها العمل نهارا أو ليلا، كما أن الاشعة القصيرة قادرة علي اختراق السحب والمطر. وسنستعرض هذه التقنية بالتفصيل لاحقا.

## ٢-١٥ استقبال و بث و معالجة البيانات

في الاستشعار عن بعد باستخدام الطائرات فأن البيانات المستشعرة يتم استرجاعها و تحليلها بمجرد هبوط الطائرة. أما بيانات الأقمار الصناعية فتحتاج للبث الرقمي الي سطح الأرض وذلك من خلال ثلاثة بدائل: (A) بث البيانات مباشرة الي محطة استقبال أرضية Ground Receiving Station (اختصارا GRS) اذا كانت في مجال رؤية القمر الصناعي، فان لم تكن المحطة الأرضية في مجال رؤية القمر فيتم تخزين البيانات علي متن القمر ذاته لحين بثها للمحطة الأرضية في وقت لاحق (B)، كما يمكن أيضا ارسال البيانات للمحطة الأرضية من خلال نظام للأقمار الصناعية لحمل و بث البيانات (C)، أي يتم نقل البيانات من قمر صناعي الي اخر لحين بثها للمحطة الأرضية المناسبة.




**شكل (٢-٤٠) طرق بث بيانات الاستشعار عن بعد**

تصل البيانات للمحطة الأرضية في صورة رقمية خام raw digital format، وعند الحاجة يتم معالجة هذه البيانات لتصحيح الأخطاء والتشوهات المنتظمة الهندسية و تشوهات الغلاف الجوي ثم وضعها في صورة قياسية. وعادة ما يتم كتابة البيانات علي وسائط تخزين مثل الاسطوانات المدمجة CD أو الشرائط من خلال نظام أرشيف تفصيلي معين.

للعديد من المستشعرات يمكن امداد العملاء بمرئيات شبه لحظية near real-time اذا كانت الحاجة تتطلب ذلك، وعادة ما يتم استخدام نظم معالجة سريعة لهذا الغرض بهدف انتاج مرئيات قليلة الوضوح بعد ساعات قليلة من استشعار البيانات عن بعد. ومن أمثلة هذه التطبيقات عمليات ابحار السفن في محيطات المناطق القطبية والتي تتطلب معلومات سريعة عن التيارات البحرية وحركة الجبال الثلجية حتى يمكن تحديد مسارات امنة للسفن. كما أن هذه المرئيات قليلة الوضوح تستخدم للمعاينة قبل أن يقوم العملاء بشراء المرئيات الأصلية عالية الجودة.

## ٢-١٦ أسئلة و أجوبة لموضوعات هذا الفصل

س ١: ما هي مميزات و عيوب مستشعرات الأقمار الصناعية بالمقارنة بمستشعرات الطائرات؟

س ٢: كلما تدور الأقمار ذات المدارات شبه القطبية المتزامنة مع الشمس (near-polar sun-synchronous orbits) حول الأرض فأنها تعبر خط الاستواء عند وقت شمسي محلي محدد local sun time كل يوم. و بسبب طبيعة سرعة المدار فأن جميع النقاط الأخرى علي سطح الأرض سيتم عبورها قبل أو بعد هذا الزمن. لمستشعر في النطاق المرئي من الطاقة ما هي مميزات و عيوب زمن المرور (الزمن الشمسي المحلي) في: (أ) الصباح الباكر، (ب) عند الظهر، (ج) بعد الظهر؟

س ٣: بالنظر للمرئيتين في الشكل التالي، فأيهما لها مقياس أصغر؟ وما هي المنصة المستخدمة للمرئية ذات المقياس الأصغر (طائرة أو قمر صناعي)؟

س ٤: اذا أردنا مراقبة صحة الغطاء النباتي في بقعة معينة علي مدار عدة شهور، فأي منصة و أي خصائص للمستشعر المناسب لهذا الغرض (من حيث درجة الوضوح المكانية و الطيفية و الراديومترية) ؟

س ٥: تعد المستشعرات عالية الوضوح الطيفي hyperspectral sensors (المذكورة في الجزء ٢-٤) نوعا خاصا من المستشعرات متعددة النطاقات حيث أنها تستطيع تحسس و تسجيل عدد كبير (قد يصل الي مئات) من النطاقات الطيفية الضيقة. ما هي مميزات و عيوب هذا النوع من المستشعرات؟

س ٦: المجال الطيفي للقنوات المستشعر CASI وعددهم ٢٨٨ قناة يتراوح ما بين ٠.٤٠ و ٠.٩٠ مايكرومتر، وكل نطاق يغطي طول موجة ١.٨ نانومتر (النانومتر = ١٠ $^{-9}$ متر). ألن يوجد تداخل بين هذه النطاقات؟

س.٧: أفترض أن لديك مرئية لها درجة وضوح راديومترية ٦ بت، ما هي أقصي قيمة للرقم الذي يمكن به تمثيل هذه المرئية؟

س .٨: كيف يمكن للمرئيات الحرارية أن تكون مفيدة في البيئة العمرانية؟

س.٩: أي نظم المسح scanning (بالطائرات أم بالأقمار الصناعية) ستكون أفضل لتقليل التشوه الهندسي بقدر الامكان في حالة عمل خرائط منطقة جبلية؟

س.١٠: أشرح لماذا تكون بيانات المستشعر TM مفيدة أكثر من بيانات المستشعر الأصلي MSS في مرئيات القمر الصناعي لاندسات (تذكر درجة الوضوح المكاني و الطيفي و الراديومتري لكلاهما)؟

ج ١: بصفة عامة فأن المستشعرات الموجودة علي متن الأقمار الصناعية تستطيع رؤية (أو تحسس) منطقى أكبر من سطح الأرض من تلك المستشعرات علي متن الطائرات. أيضا وحيث أنها تدور حول الأرض باستمرار فهي تقدم فرصة الحصول علي مرئيات بصورة متكررة و منتظمة لمراقبة التغيرات التي تحدث مع مرور الزمن. كما أن سهولة و دقة حسابات تحديد مدارات الأقمار الصناعية تسهل من تصحيح المرئيات الفضائية. أما مميزات المستشعرات الجوية فتتمثل في امكانية جمع البيانات في أي وقت و لأي منطقة، بينما للأقمار الصناعية قيود علي زمن و تغطية جمع البيانات طبقا لخصائص مدار كل قمر. كما أنه من الصعب جدا اصلاح مستشعر في الفضاء اذا حدثت به أية مشكلة تقنية.

ج ٢: في حالة كون زمن العبور في الصباح الباكر فستكون الشمس في زاوية منخفضة للغاية في السماء مما سيقلل من تشوه الغلاف الجوي، لكن وعلي الجانب الاخر سيكون هناك الكثير من الظلال للمناطق عالية الأهداف. أما في حالة زمن العبور عند الظهر فأن الشمس تكون في أعلي نقطة في السماء و من ثم فيكون توزيع الاضاءة منتظما وهذا مفيد للسطوح ذات الانعكاس القليل، لكن سيكون تحليل انعكاس السطوح الملساء صعبا. وعلي الجانب الاخر فأن ظاهرة التسخين الشمسي solar heating (تسخين الشمس للأهداف) تكون في أقصي قيمها في وقت الظهر، مما يصعب من تسجيل الطاقة المنعكسة. ومن هنا فأن معظم الأقمار الصناعية التي تتحسس الطاقة في النطاق المرئي والأشعة تحت الحمراء المنعكسة و المنبعثة تعتمد علي زمن العبور في الصباح المتوسط (ولبس الصباح الباكر) كحل وسط.

ج ٣: المرئية اليسري مأخوذة من قمر صناعي بينما المرئية اليمني مأخوذة من طائرة، فالمنطقة الظاهرة في المرئية اليمني موجودة أيضا في المرئية اليسري. ويمكن تمييز أو ملاحظة أهداف صغيرة نسبيا (مباني) في المرئية اليمني ولا يمكن تمييزها علي المرئية اليسري، بينما المرئية اليسري تظهر فقط الأهداف العامة مثل أنماط الشوارع و الكباري. وبما أن الأهداف تظهر كبيرة علي المرئية اليمني فيدل ذلك علي أن وحدة قياس معينة (مثلا ١ سنتيمتر) علي المرئية ستمثل مسافة حقيقة (أرضية) أصغر، مما يدل علي أنها مرئية ذات مقياس كبير. فالمرئية اليمني ما هي إلا صورة جوية من الطائرة لمباني البرلمان في مدينة أوتاوا الكندية، بينما المرئية اليسري هي مرئية فضائية من القمر الصناعي لمدينة أوتاوا.

ج ٤: يكون المستشعر المثالي لمراقبة الحالة العامة لصحة النبات هو الذي يقدم تغطية واسعة وبدرجة وضوح خشنة (قليلة) نسبيا. فالتفاصيل الدقيقة لن تكون مطلوبة لمراقبة مجموعة عامة من الغطاء النباتي. أما في حالة استخدام المستشعرات الجوية فأن فترة اعادة الزيارة ستكون أقصر مما سيتيح تغطية متكررة مناسبة لمراقبة التغيرات. وتتيح التغطية المتكررة أن يتمن استبدال المناطق ذات السحب و الغيوم الكثيرة ببيانات أخري لنفس الوقت في وقت قريب نسبيا. أيضا فأن المستشعر يجب أن يكون له درجة وضوح طيفية عالية، فعلي الأقل يجب تجميع بيانات في النطاق المرئي ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة. فالنباتات لها درجة انعكاس قليلة في النطاق المرئي، لكن لها درجة انعكاس كبيرة في نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة. فدرجة الانعكاس تمثل أحد مؤشرات صحة النباتات بصفة عامة. وبصفة عامة فيوجد مستشعر علي متن أحد الأقمار الصناعية لوكالة المحيطات و الغلاف الجوي

## الفصل الخامس

# تطبيقات الاستشعار عن بعد

## ٥-١ مقدمة

لكل مستشعر من المستشعرات هدفا مخصصا، فالمستشعرات البصرية مصممة بالتركيز علي النطاقات الطيفية التي سيتم جمع بياناتها بينما لمستشعرات الرادار فأن زاوية السقوط و نطاق الموجات القصيرة يلعبان دورا حيويا في تحديد التطبيقات المناسبة لهذه المرئيات. ان لكل تطبيق من تطبيقات الاستشعار عن بعد متطلباته في درجة الوضوح المكانية و درجة الوضوح الطيفية و درجة الوضوح الزمنية (فترة اعادة الزيارة). فعلي سبيل المثال فأن مرئية أحادية النطاق (أي غير ملونة) لن تكون حساسة لتمييز صحة النباتات بسبب ان تغير مستوي الكلوروفيل لن يكون كبيرا في النطاق الاحمر من الاشعة المرئية. وكمثال اخر فان تطوير خرائط يتطلب مستوي دقيق من درجات الوضوح المكانية. أيضا فهناك العديد من التطبيقات التي تتطلب فترة قصيرة لإعادة الزيارة مثل تطبيقات متابعة تسرب الزيت وحرائق الغابات وحركة الكتل الجليدية في المحيطات، بينما هناك تطبيقات أخري قد يكون مناسبا لها اعادة الزيارة بصفة موسمية فقط (مثل تمييز المحاصيل الزراعية). بل ربما يتم استخدام أكثر من مستشعر لمعالجة متطلبات تطبيق معين.

## ٥-٢ تطبيقات زراعية

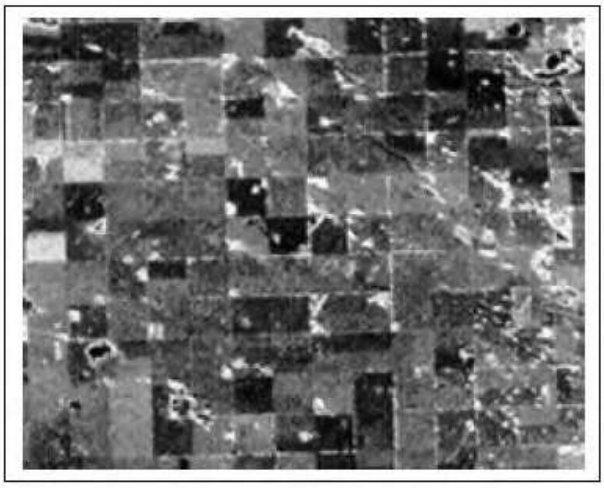
تلعب الزراعة دورا رئيسا في اقتصاد الدول المتقدمة و الدول النامية علي السواء. فإنتاج الغذاء هام لكل فرد، والإنتاج بصورة اقتصادية هو الهدف للمزارع البسيط و للمؤسسات الزراعية الكبري. ومن ثم فهناك حاجة رئيسية لمعرفة او تقدير المنتج (كما و جودة) للتحكم في السعر ومتطلبات التجارة الدولية.

تستخدم الصور الجوية و المرئيات الفضائية كأدوات تقنية لتطوير الخرائط الخاصة بتحديد انواع المحاصيل و فحص صحتها و جودتها ومراقبة العمليات الزراعية، وتضم التطبيقات الزراعية للاستشعار عن بعد:

- تحديد أنواع المحاصيل
- تقييم حالات المحاصيل
- تقدير الانتاج
- خرائط حالات التربة
- خرائط ادارة التربة
- متابعة خطوات الزراعة

يعد تحديد نوع المحصول عاملا هاما لعدة أسباب منها ان معرفة نوع حصول معين سيستخدم في تقدير انتاجه ومعرفة وقت حصاده وأيضا متابعة حالة التربة وتقدير الخسائر في حالة التعرض لعناصر طبيعية مثل العواصف و الفيضانات. وكانت الطرق التقليدية لمعرفة انواع المحاصيل

تعتمد علي السجلات الزراعية و الزيارات الميدانية. والآن اصبح الاستشعار عن بعد وسيلة اقتصادية عالية الكفاءة لتجميع المعلومات وتحديد انواع المحاصيل. بل ان الاستشعار عن بعد يقدم اكثر من ذلك حيث يمكن الحصول علي معلومات عن صحة المحصول ومتابعة مراحل نموه من خلال المرئيات متعددة النطاقات. أيضا فان مرئيات الرادار يمكنها توفير معلومات اضافية عن التوزيع و التركيب و محتوي الرطوبة، ومن ثم فأن دمج بيانات من كلا نوعي المستشعرات (البصرية و الرادارية) يوفر كفاءة افضل في التصنيف الدقيق لأنواع المحاصيل. وتعد نتائج تفسير و تحليل المرئيات كبيانات مدخلة input لنظم المعلومات الجغرافية GIS لتكوين قواعد بيانات زراعية رقمية.

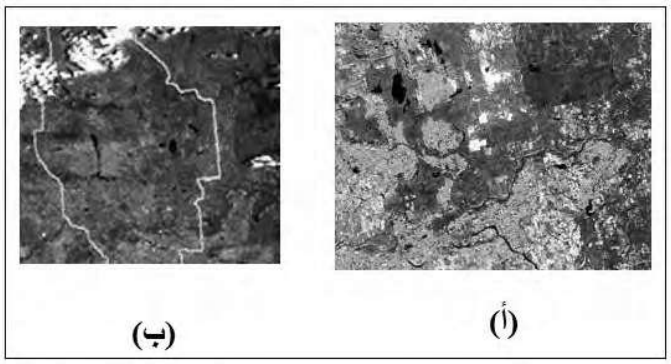


**شكل (٥-١) تحديد أنواع المحاصيل**

يعد تقدير صحة المحصول و الاكتشاف المبكر لأي أمراض من العوامل الهامة للحصول علي انتاج وراعي جيد. فمن الضروري اكتشاف ومعالجة أية عوامل اجهاد ناتجة عن قلة المحتوي المائي بالإضافة لأية أمراض أو اصابات قد تحدث للمحصول. وهذه المراقبة تتطلب الحصول علي مرئيات بصورة متكررة (بحد أقصي أسبوعيا) وتوفيرها للمزارعين بسرعة (عادة في خلال يومين). أيضا تستخدم بيانات الاستشعار عن بعد في تحديد معدلات نمو النباتات فقد تكون هناك معدلات نمو مختلفة في المزرعة الواحدة نتيجة نقص النترات أو الأسمدة علي سبيل المثال. وبتوفير هذه البيانات للمزارعين فيمكنهم اتخاذ القرار السليم وتحديد نوع و كمية السماد المطلوب. أيضا فأن بيانات الاستشعار عن بعد تساعد في تحديد الضرر الناتج عن ظروف الطقس مثل تأثير الجفاف أو الرطوبة العالية. فالمرئيات لا تساعد فقط في اكتشاف المشكلات بل انها تستخدم للإدارة الجيدة للعملية الزراعية.

**شكل (٥-٢) تحديد مشكلات المحاصيل**

تحتوي النباتات الصحيحة (ذات صحة جيدة) علي كميات كبيرة من مادة الكلوروفيل، ومن ثم فأن انعكاساتها في النطاقين الأزرق و الأحمر من الضوء المرئي سيكون قليلا حيث أن الكلوروفيل يمتص الطاقة في هذين النطاقين. إلا أن الانعكاس في اللوم الأخضر و في الأشعة تحت الحمراء القريبة سيكون عاليا. وعلي العكس فأن النبات المريض لن يحتوي علي كم كبير من الكلوروفيل، ومن هنا فأن استخدام النطق الأخضر المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة في المرئيات سيكون مفيدا لاكتشاف أمراض النباتات. ومن خلال فحص المعامل الطبيعي الفرقي للنباتات Normalized Difference Vegetation Index (المعروف اختصارا بمصطلح NDVI كما ذكرنا في الفصل الثالث) بجد أن النبات السليم سيكون له معامل NDVI عالي بينما النبات المريض سيكون معامل NDVI له منخفضا. ففي المثال التالي "أ" (مرئية ملونة) نري أن المنطقة المروية ستظهر بلون أخضر فاتح بينما المنطقة الجافة ستكون بلون غامق. أما المثال الثاني "ب" (مرئية ملونة وأشعة تحت حمراء) فالنبات الصحي السليم سيظهر بلون أحمر فاتح.

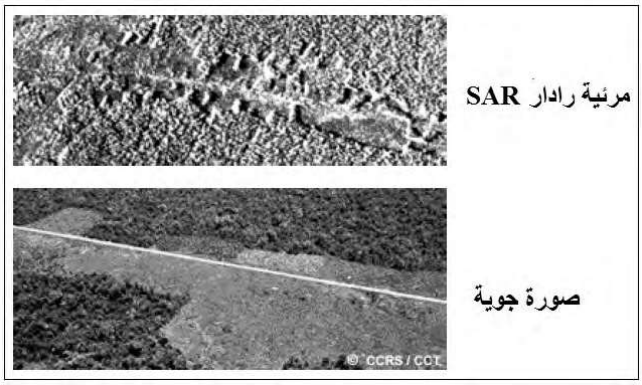



**شكل (٥-٣) تحديد صحة النباتات**

## ٥-٣ تطبيقات مراقبة ازالة الغابات

يعد ازالة الغابات deforestation مشكلة عالمية كبري لها تأثيرات متعددة. فعلي سبيل المثال ففي أوروبا فأن التلوث الصناعي قد دمر نسبة كبيرة من أراضي الغابات وخاصة في جمهوريات التشيك و ألمانيا و بولندا. أيضا ففي البلدان الاستوائية فأن ازالة الغابات قد دمر الكثير من الاراضي الزراعية و المراعي في أفريقيا و اسيا و أمريكا اللاتينية. وجدير بالذكر فأن فقدان الغابات يؤدي الي زيادة تعرية التربة و ملوحة الأنهار ويؤثر علي الحياة البرية ومصادر مياه الشرب بالإضافة للإنتاج الزراعي.

يعد الاستشعار عن بعد - مع أدوات أخري - الي تحليل أفضل لمشكلة ازالة الغابات. فالمرئيات متعددة النطاقات توفر وسيلة جيدة لتحليل التغيرات change detection analysis، حيث يتم دمج مرئيات من سنوات سابقة مع مرئيات حديثة ومن ثم قياس الفروق في مساحة و امتداد الغابات. أيضا يمكن الاستفادة من المرئيات الرادارية في تحديد المناطق الأكثر عرضة لهذه المشكلة وتحديد أسبابها. وفي البلدان التي يسمح بها بقطع الأشجار فأن الاستشعار عن بعد يكون أداة جيدة لمراقبة مناطق و مواصفات هذه الأنشطة. وعلي النطاق العالمي وخاصة لمبادرات منظمة الأمم المتحدة فأن مرئيات الاستشعار عن بعد توفر غطاء مكانيا واسعا كما أنها توفر تكامل البيانات و اتصالها.




**شكل (٥-٤) مراقبة ازالة الغابات حول طريق**

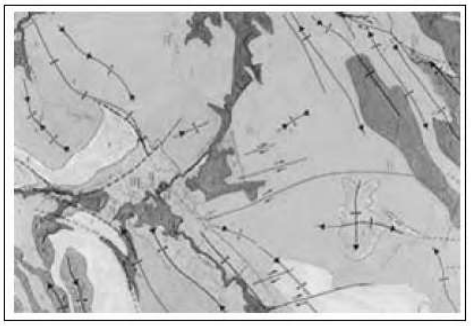
## ٥-٤ تطبيقات جيولوجية

يهتم علم الجيولوجيا بدراسة تراكيب و انواع سطح الارض والأسطح التحتية subsurface بهدف فهم العمليات الفيزيقية للقشرة الارضية. والصورة التقليدية للجيولوجيا هي استكشاف exploration و استخراج exploitation المعادن والموارد الهيدروكربونية مثل البترول. أيضا تشمل الجيولوجيا دراسة المخاطر الطبيعية مثل البراكين و الانزلاقات الارضية و الزلازل، ومن ثم فأن الدراسات الجيوتقنية تعد عاملا مهما في مشروعات الهندسة المدنية.

يقدم الاستشعار عن بعد وسيلة جيدة لاستخراج معلومات عن تراكيب سطح الارض والأسطح التحتية، لكنه عادة ما يكون مدعوما بمصادر أخري للبيانات تقدم قياسات مكملة. وتشمل التطبيقات الجيولوجية للاستشعار عن بعد:

- خرائط طبقة العمق bedrock mapping
- خرائط التراكيب الجيولوجية structural mapping
- استكشاف المعادن mineral exploration
- استكشاف موارد الهيدروكربونات hydrocarbon exploration
- استكشاف و استخراج الرمال والحصى sand and gravel exploration
- الجيولوجيا البيئية environmental geology

تلعب الجيولوجيا الانشائية structural geology دورا هاما في استخراج المعادن و البترول وأيضا في مراقبة المخاطر الطبيعية. وخرائط التراكيب الجيولوجية (الخرائط الانشائية) تحدد خصائص التراكيب مثل الفوالق و الصدوع، وهو ما يفيد في تفسير و مراقبة حركات القشرة الارضية crustal movements. وبالاستعانة بالقياسات التفصيلية للتراكيب الجيولوجية (مثل المسح الزلزالي seismic surveying) فيمكن تحديد الاماكن المحتملة للبترول و الغاز. ويقدم الاستشعار عن بعد رؤية أمثر شمولا لعناصر الخرائط الانشائية في منطقة اقليمية بدلا من مجرد معلومات عند نقاط أرضية محددة. وفي المناطق كثيفة الغطاء النباتي فأن مرئيات الرادار (وبسبب أنها حساسة للتغير في التضاريس) تقدم وسيلة عالية الكفاءة لبيان التراكيب الجيولوجية



**شكل (٥-٥) مثال لخريطة التراكيب الجيولوجية**

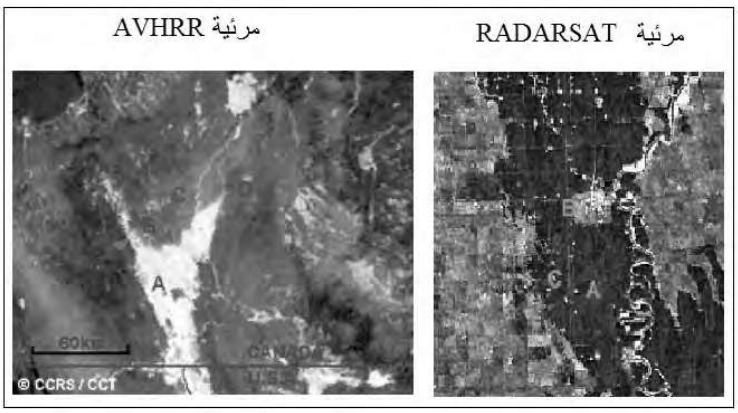
**شكل (٥-٦) مثال لمرئية رادارية تبرز التراكيب الجيولوجية**

## ٥-٥ تطبيقات هيدرولوجية

يهتم علم الهيدرولوجيا بدراسة المياه علي الأرض، سواء كانت مياه جوفية أو سطحية أو أمطار أو ثلوج. وعادة فأن معظم العمليات الهيدرولوجية تكون ديناميكية ليس فقط علي مر السنوات انما أيضا ما بين الفصول، ومن ثم فهي تتطلب أرصاد متكررة. وهذا أحد مميزات استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في الدراسات الهيدرولوجية، بالإضافة الي أن المرئيات قدم صورة واسعة عن طبيعة الظواهر الهيدرولوجية و تغيراتها. وتشمل التطبيقات الهيدرولوجية:

- مراقبة الانهار و البحيرات
- مراقبة و تطوير خرائط الفيضانات
- مراقبة حركة الجبال الثلجية glacier
- تحديد التغيرات في دلتا الأنهار
- تطوير الخرائط و مراقبة الأراضي المبللة
- تقدير رطوبة التربة
- مراقبة امتداد الثلوج
- قياس عمق الثلوج
- تطوير خرائط شبكات التصريف
- نمذجة الأحواض الهيدرولوجية
- اكتشاف التسرب في قنوات الري
- جدولة مواعيد الري

تعد الفيضانات ظاهرة طبيعية في الدورة الهيدرولوجية. والفيضان ضروري لزيادة خصوبة التربة من خلال اضافة مواد مغذية nutrients ورواسب صغيرة. لكن وعلي الجانب الاخر فأن الفيضانات قد تكون مدمرة وتتسبب في وفيات وأضرار كبيرة للبنية التحتية المدنية و الحضرية. وتستخدم تطبيقات الاستشعار عن بعد في مراقبة و قياس الحدود المكانية للمناطق التي تعرضت للفيضان، ومن ثم تحديد طرق الاخلاء والإنقاذ. ومع دمج بيانات الاستشعار عن بعد في اطار نظام معلومات جغرافي GIS فيمكن الحصول علي تقييم دقيق و سريع لمناسيب المياه و الأضرار والمناطق التي تعرضت لمخاطر الفيضانات. وتشمل قائمة المستفيدين من هذه التطبيقات علي سبيل المثال هيئات تخطيط المدن و إدارات الدفاع المدني و إدارات الأرصاد الجوية و شركات النقل و المواصلات و شركات التأمين. ويحتاج معظم هؤلاء المستخدمين الحصول علي البيانات بصورة شبه لحظية near real-time فعادة ما تكون فترة حدوث الفيضان فترة زمنية صغيرة نسبيا ويكون الطقس مشبعا بالغيوم و السحب الكثيفة. وفي مثل هذه الحالات يبرز دور المرئيات الرادارية للاستفادة منها في مراقبة الفيضانات. ومع اسقاط مرئيات تقنية SAR علي مرئيات بصرية سابقة لما قبل حدوث الفيضان، فيمكن تحديد المناطق التي تعرضت للغرق وتقييم مخاطر الفيضان.




**شكل (٥-٧) أمثلة لتطبيقات المرئيات في مراقبة الفيضان**

## ٥-٦ تطبيقات غطاءات و استخدامات الأرض

مع أن مصطلحي غطاء الأرض Land Cover و استخدام الأرض Land Use يستخدمان كما لو كانا يؤديان نفس المعني، إلا أن هناك فارقا بينهما. فغطاء الأرض يشير الي كل غطاء لسطح الأرض مثل النباتات و المنشئات المدنية و المياه و التربة ....الخ. ومن ثم فأن تحديد و تطوير خرائط لغطاء الأرض هام لدراسات المراقبة علي الصعيدين الاقليمي و الدولي ولإدارة الموارد الطبيعية ولأنشطة التخطيط. أما علي الجانب الآخر فأن استخدامات الأرض تشير الي الهدف الذي تخدمه الأرض مثل الزراعة و الحياة البرية. وتشمل تطبيقات استخدامات الأرض المراقبة و وتطوير الخرائط لبيان استخدام كل بقعة أرض وما يطرأ علي هذا الاستخدام من تغير مع مرور الزمن. ومن هنا فأن القياسات الناتجة من بيانات الاستشعار عن بعد تستخدم في استنباط بيانات غطاء الأرض ومنها يمكن استنباط استخدامات الأرض خاصة مع استخدام مصادر أخري من البيانات المكملة و المعرفة السابقة. وتشمل تطبيقات استخدامات الأرض:

- ادارة الموارد الطبيعية
- حماية الحياة البرية
- تطوير الخرائط كمدخل لنظم المعلومات الجغرافية
- التوسعات المدنية و الحضرية
- اكتشاف المخاطر و الأضرار (للحرائق و الفيضانات .... الخ)
- الحدود القانونية وحساب الضرائب

مع زيادة السكان يزداد التوسع العمراني للمدن، ومن ثم تتناقص استخدامات الأرض الزراعية علي أطراف هذه المدن. فتوسع المدن يعد مؤشرا للتمدن urbanization والتوسع الصناعي industrialization (أي التنمية development)، لكنه غادة ما يكون له أثرا سلبيا علي بيئة المنطقة. ويتم قياس التغير في استخدام الأرض (من الحضري الي المدني) بهدف تقدير زيادة السكان و التنبؤ والتخطيط لهذا التوسع العمراني من قبل المخططين. ومن هنا فأن تحليل استخدام الأرض الزراعي و المدني هام للتأكد من أن خطط التنمية العمرانية لا تجير علي الأرض الزراعية. وهنا يأتي دور تحليل بيانات الاستشعار عن بعد متعددة التاريخ، والتي توفر رؤية منطقية لتوسع المدن و امتدادها. والعامل الأساسي هنا في اكتشاف تغير استخدام الأرض (من الحضري الي المدني) هو التمييز بين الاستخدامات الحضرية (المزارع و الغابات) والاستخدامات المدنية للأرض (المناطق السكنية والمناطق الصناعية). وهنا يتم تطبيق طرق الاستشعار عن بعد لتصنيف أنواع استخدامات الأرض بصورة جيدة و دقيقة لمساحات شاسعة من الأرض وبصورة متكررة. وعادة فأن مثل هذه التطبيقات تعتمد علي درجة وضوح مكانية عالية بهدف تحديد التفاصيل المكانية وأيضا بيانات متعددة النطاقات لكي يمكن التمييز بين الاستخدامات المتعددة للأرض.

## ٥-٧ تطوير الخرائط

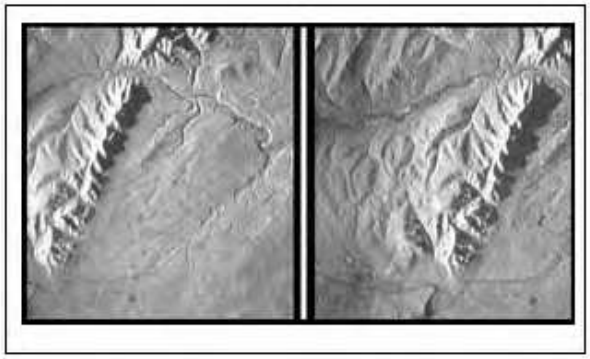
تعد الخرائط مكونا رئيسا من مكونات ادارة موارد الأرض، والخرائط في نفس الوقت هي أحد منتجات عملية تحليل بيانات الاستشعار عن بعد. فالخرائط الجغرافية و الموضوعية وخرائط الأساس لها أهمية كبيرة في عمليات التخطيط و المتابعة و التقييم لعمليات الادارة و الاستكشاف

والتخطيط. كما أن التمثيل الرقمي للارتفاعات و التضاريس (أي نماذج الارتفاعات الرقمية DEM) ودمجها في اطار نظم معلومات جغرافية حيوية في التطبيقات المدنية و العسكرية المعاصرة. والآن هناك طلب متزايد علي منتجات الاستشعار عن بعد للاستخدام في مجال تطوير الخرائط. وتشمل تطبيقات الخرائط:

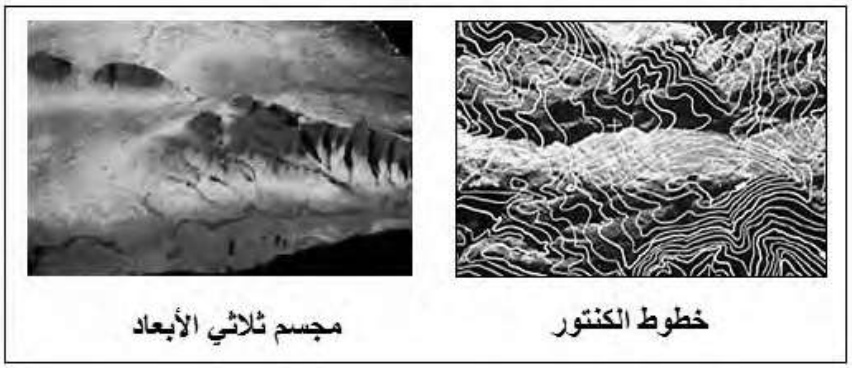
- الخرائط البلانيمترية
- الخرائط الطبوغرافية
- الخرائط الموضوعية
- نماذج الارتفاعات الرقمية

يشمل تطوير الخرائط البلانيمترية planimetry من تحديد و توقيع غطاءات الأرض الاساسية و شبكات الصرف والبنية التحتية و شبكات النقل و المواصلات في المستوي الأفقي x-y. وبصفة عامة فأن البيانات البلانيمترية (ثنائية الأبعاد) ضرورية للتطبيقات علي مستوي كبير large scale مثل التخطيط العمراني و ادارة الخدمات. يمكن استخدام طرق المساحة الأرضية وأيضا طرق الرصد علي الأقمار الصناعية مثل تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS في الحصول علي بيانات و قياسات عالية الدقة. إلا أن هناك قيود عديدة تحد من استخدام هذه التقنيات خاصة أنها طرق مكلفة اقتصادية وتواجه مشاكل في مسح مناطق كبيرة أو مناطق نائية. وهنا يبرز الاستشعار عن بعد كوسيلة تقنية هامة في تطوير هذا النوع من الخرائط. وفي مثل هذا التطبيق فأن المرئيات عالية الوضوح المكاني تكون مطلبا أساسيا للحصول علي دقة عالية لهذه الخرائط. وفي حالة المناطق المغطاة بالسحب و الغيوم فأن المرئيات الرادارية تكون بديلا مناسبا.

يعد توافر نموذج ارتفاعات رقمي DEM مطلبا حيويا لعمل التصحيحات الهندسية و الراديومترية لمرئيات الاستشعار عن بعد، وأيضا لتطوير الخرائط الكنتورية ولتحليل تضاريس سطح الأرض. ففي العصر الحالي فأن معظم التطبيقات الخرائطية لا تعتمد فقط علي الخرائط البلانيمترية ثنائية الأبعاد. وقد تزايد الطلب علي نماذج الارتفاعات الرقمية مع انتشار تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. وتوجد عدة مصادر لتطوير نموذج ارتفاعات رقمي مثل عمل قياسات لعدة نقاط باستخدام طرق المسح الأرضي و GPS، ثم تطبيق الطرق الرياضية لاستنباط interpolation اللارتفاعات بين هذه النقاط. لكن هذه الطرق التقليدية تستهلك الكثير من الوقت ومكلفة اقتصاديا و من الصعب التعامل معها في تطوير الخرائط علي مستوي اقليمي. ومن ثم فأن تطوير نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الاستشعار عن بعد يقدم بديلا عالي الكفاءة. وهناك طريقتين رئيسيتين يتم تطبيقهما وهما: (١) القياس من الصور المزدوجة المتداخلة stereo-grammetry، (٢) التحليل الفرقي لبيانات الرادار Interferometry. فالأسلوب الأول يعتمد علي استخراج معلومات الارتفاعات (المناسيب) من المرئيات المتداخلة سواء من الصور الجوية أو من بعض أنواع المرئيات مثل SPOT و SAR. أما الطريقة الثانية فتعتمد علي تحليل بيانات عدة مسارات متتالية (أو طريقة الأنتنا المزدوجة) لمستشعرات SAR سواء الجوية أو الفضائية. وهذه الطريقة الأخيرة يمكنها توفير مستويات عالية من الدقة قد تصل الي عدة سنتيمترات للرادار الجوي أو عدة ديسيمترات للرادار الفضائي. ومن أمثل تطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية مراقبة تصدعات القشرة الأرضية وانخفاض الأراضي (نتيجة سحب المياه الجوفية) وحركة القشرة الأرضية نتيجة الزلازل و البراكين ومراقبة المنشئات الضخمة مثل السدود.



**شكل (٥-٨) مرئيات رادار متداخلة**




**شكل (٥-٩) طرق تمثيل الارتفاعات**

حديثا تزايد الطلب علي قواعد البيانات الرقمية الجغرافية والخرائط الرقمية سواء الطبوغرافية أو الموضوعية. وتتكون الخريطة الطبوغرافية من خطوط الكنتور بالإضافة للمعلومات البلانيمترية التفصيلية، وتخدم كقاعدة بيانات عامة للاستخدام المدني و العسكري أيضا. تطوير الخريطة الموضوعية الأساسية Baseline Thematic Mapping (أو اختصارا BTM) هي تكامل أو دمج بين مرئيات فضائية رقمية مع استخدامات و غطاءات الأرض ومعلومات طبوغرافية لكي تكون ما يعرف باسم الخريطة المصورة image map. وقد تم تطوير هذا النوع الجديد من الخرائط الموضوعية thematic maps لكي يأخذ في الاعتبار مميزات معالجة المرئيات و مميزات دمج عدة أنواع من المعلومات المكانية من عدة مصادر مما يزيد من امكانية عرض كم أكبر من المعلومات في صورة كارتوجرافية (أو خرائطية). وعادة ما تتكون الخريطة الموضوعية الأساسية (أو خريطة الأساس الموضوعية) من قواعد بيانات طبوغرافية و غطاء أرض و بنية تحتية. ويتم عرض معلومات موضوعية معينة علي خريطة الأساس لكي تخدم نوعا معينا من المستخدمين. أما عن دور الاستشعار عن بعد في هذا الموضوع فأن المرئيات تقدم معلومات مكملة للتفاصيل الموضوعية المعروضة، ومن ثم فتعمل كخريطة أساس base map. فعلي سبيل المثال فأن المرئيات متعددة النطاقات تعد ممتازة لتوفير معلومات تكميلية عن غطاء الأرض.

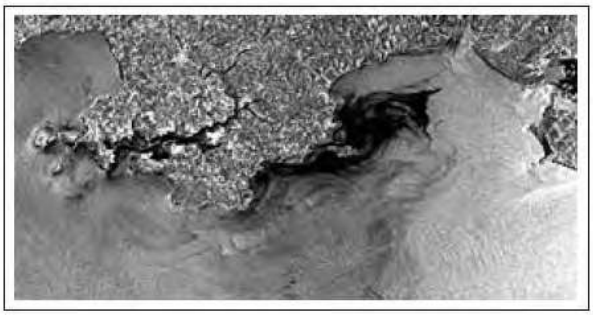
**شكل (٥-١٠) مفهوم خريطة الأساس الموضوعية**

## ٥-٨ تطبيقات مراقبة المحيطات و الشواطئ

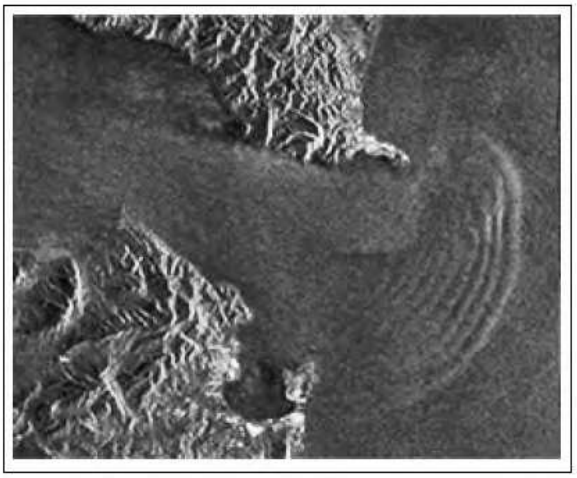
لا يقدم المحيط لنا الطعام فقط انما يعمل كخطوط نقل و مواصلات وله أهمية بالغة في نظام الطقس علي الأرض والحفاظ علي الدورة الهيدرولوجية للمياه. ومن هنا فأن فهم الطبيعة الديناميكية للمحيطات هام لتقدير حجم المخزون السمكي ولخطوط النقل البحرية ودراسة آثار الظواهر المناخية والتنبؤ بالعواصف ومن ثم تقليل مخاطرها. وتشمل دراسات المحيط: دراسة الرياح و التيارات (من حيث الاتجاه و السرعة و الارتفاع) وتحديد الأعماق البحرية bathymetry وأيضا دراسة حرارة المياه. وتشمل تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال مراقبة المحيطات:

- تحديد أنماط المحيط (التيارات، أعماق المحيطات، مناطق المياه الضحلة، الموجات ...الخ).
- التنبؤ بالعواصف
- تقدير المخزون السمكي
- مراقبة درجات حرارة المياه
- مراقبة جودة المياه
- مراقبة تسرب الزيت من مواقع استخراجه البحرية
- الملاحة البحرية
- مراقبة تأثيرات المد و الجزر و العواصف
- تحديد الخط الفاصل بين البحر و الأرض
- مراقبة حركة خطوط الشواطئ
- تطوير خرائط الأهداف الشاطئية

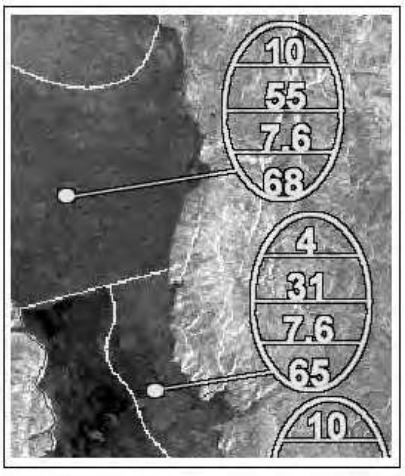
تعد خطوط الشواطئ coastlines فاصلا حساسا بين المياه و الأرض وتتأثر بالتغيرات التي تحدث من العمليات الديناميكية للبحار و المحيطات. ومن المعلوم أن ٦٠% من سكان الأرض يعيشون في مناطق قريبة من المحيطات. ومن ثم فأنه من الضروري متابعة مراقبة تغيرات خطوط الشواطئ مثل التعرية الشاطئية و التمدن و التلوث. وهذه التطبيقات يمكن مراقبتها و اتطوير خرائط لها من خلال بيانات الاستشعار عن بعد.



**شكل (٥-١١) مراقبة تسرب الزيت باستخدام المرئيات**



**شكل (٥-١٢) مراقبة التيارات البحرية باستخدام المرئيات**




**شكل (٥-١٣) تقدير أعماق الثلوج باستخدام المرئيات**

## الفصل الثالث

# تحليل المرئيات

## ٣-١ مقدمة

حتى يمكننا الاستفادة من مميزات الاستشعار عن بعد و الاستفادة من البيانات المستشعرة فيجب أن نكون قادرين علي استخراج المعلومات المفيدة من المرئيات وهو ما يعرف باسم تفسير interpretation و تحليل analysis المرئيات. وهذا هو المكون السادس من مكونات عملية الاستشعار التي ذكرناها في الفصل الأول. وتشمل هذه الخطوة تحديد أو تعريف الأهداف المختلفة و قياسها من أجل استنباط معلومات مفيدة عنهم. وهذه الأهداف التي يمكن ظهورها علي المرئية:

- أهداف قد تكون في صورة نقطة أو خط أو مساحة، أي أنها تأخذ أي صورة مثل أتوبيس في موقف أو طائرة علي مدرج أو كوبري أو طريق وحتى المسطحات المائية و الحقول الزراعية.

- يجب أن تكون الأهداف قابلة للتمييز distinguishable أي أنها مختلفة عن الأهداف المحيطة بها علي نفس المرئية.

يتم معظم تفسير و تحليل المرئيات بصورة بصرية أو بشرية visual interpretation، وعادة ما تتم هذه العملية بعد طباعة المرئيات علي الورق. ومن ثم تسمي هذه الصيغة بالصيغة التناظرية analog format للبيانات، وكما ذكرنا في الفصل الأول أن هناك بيانات استشعار تكون مباشرة في صيغة رقمية digital format. ويمكن للتفسير البصري أو البشري أن يتم لفحص البيانات الرقمية المعروضة علي شاشة الكمبيوتر. وفي حالة توافر البيانات في الصيغة الرقمية فمن الممكن عمل المعالجة و التحليل الرقمي أو الآلي digital processing and analysis باستخدام الكمبيوتر والبرامج المتخصصة. و تاريخيا كانت عملية التفسير و التحليل البشري تتم بداية علي الصور الجوية، ولم تبدأ عمليات التفسير الالي إلا حديثا بعد التوصل لعمليات تسجيل البيانات رقميا و ابتكار الكمبيوتر. ويتميز التفسير البصري بأنه لا يحتاج لأجهزة متقدمة أو غالية الثمن مثل التفسير الرقمي، لكنه عادة مقصور علي تحليل قناة واحدة أو صورة واحدة في نفس الوقت. لكن وعلي الجانب الاخر فأن التحليل الرقمي في بيئة الكمبيوتر يمكننا من التعامل مع مرئيات مركبة من عدة قنوات أو من عدة أزمنة. ومن هنا فأن التحليل الآلي مفيد جدا لتحليل عدة نطاقات و التعامل مع كم هائل من البيانات المستشعرة وبسرعة أكبر كثيرا من التحليل البشري.

## ٣-٢ عناصر التفسير البصري

ان تحديد الأهداف هو مفتاح عملية التفسير و استخراج المعلومات. وتشمل هذه العملية محاولة رصد الاختلافات بين الأهداف و محيطها والمقارنة بين الأهداف المختلفة من خلال رصد بعض العناصر المرئية/البصرية ومنها: درجة اللون، الشكل، الحجم، النمط، النسيج، الظل و التواجد.

درجة اللون tone:

درجة اللون هي اللمعان النسبي (للمرئيات غير الملونة) أو اللون (للمرئيات الملونة) لهدف معين علي المرئية. بصفة عامة فأن درجة اللون هو العامل الرئيسي للتمييز بين عدة أهداف أو عدة معالم.

**شكل (٣-١) درجة اللون**

الشكل shape:

وهو الهيئة العامة أو تكوين أو الاطار الخارجي للهدف، وهو عنصر هام للتمييز بين عدة أهداف. فعلي سبيل المثال فأن الحواف المستقيمة عادة ما تدل علي أهداف عمرانية أو أهداف زراعية (حقول) بينما الأهداف الطبيعية مثل حواف الغابات عادة ما تكون متعرجة في الشكل. وكمثال اخر فأن الحقول الزراعية التي يتم ريها باستخدام نظم الري الدائرية ستظهر علي صورة أشكال دائرية في المرئية.

**شكل (٣-٢) الشكل**

## الحجم size:

يعتمد حجم الأهداف علي المرئية علي مقياس رسمها، لكن بالإضافة للحجم المطلق فأن تقييم أو مقارنة حجم هدف معين بصورة نسبية مع حجم الأهداف المحيطة به علي المرئية يكون عاملا هاما في عملية التفسير. فعلي سبيل المثال فأنه في مرئية تظهر منطقة مدنية بها العديد من المباني فأن الأهداف أو المباني الكبيرة ترجح وجود منشئات صناعية بينما الأهداف الصغيرة قد تشير الي مباني سكنية.

**شكل (٣-٣) الحجم**

## النمط pattern:

النمط هو الترتيب المكاني spatial arrangement للأهداف القابلة للتمييز. عادة فأن التكرار المتماثل لنفس درجات اللون و النسيج ينتج عنه أنماط يمكن تمييزها. فعلي سبيل المثال فأن بساتين الفاكهة تتميز بالأشجار المتباعدة بصورة منتظمة وأيضا الشوارع في مدينة والمساكن منتظمة المسافات تقدم بعض أمثلة للنمط.

**شكل (٣-٤) النمط**

النسيج texture:

يمثل النسيج ترتيب و تكرار الاختلافات في درجة اللون في منطقة معينة علي المرئية. فالنسيج الخشن rough texture يتكون من درجات لون مزركشة أو متعددة حيث تتغير درجة اللون بصورة مفاجئة في منطقة صغيرة، بينما النسيج الناعم smooth texture سيكون له تغير بسيط جدا في درجة اللون. عادة ما يكون النسيج الناعم نتيجة أسطح منتظمة مثل الحقول الزراعية و الأسفلت والأرض العشبية. وعلي الجانب الآخر فأن النسيج الخشن يكون للأسطح الخشنة و التركيبات غير المنتظمة مثل الغابات علي سبيل المثال.

**شكل (٣-٥) النسيج**

الظل shadow:

الظل عامل مهم من عوامل التفسير البصري ويعطينا فكرة عن الارتفاعات النسبية للأهداف علي المرئية، ومن ثم يسهل تمييزها. لكن الظل قد يكون عائقا أيضا في عملية التفسير لأنه قد يؤثر علي الأهداف الواقعة في منطقة الظل ذاتها. أيضا فأن الظلال مفيدة لتفسير التضاريس خاصة في مرئيات الرادار.

**شكل (٣-٦) الظل**

التواجد association:

يؤخذ عامل التواجد أو الترابط أو المصادقة في عملية التفسير حيث يدل علي العلاقة بين الأهداف المحيطة بالهدف المراد تمييزه. فعلي سبيل المثال فأن المنشئات الصناعية عادة ما تتواجد بالقرب من خطوط المواصلات، بينما المناطق السكنية تتواجد أو تترابط مع المدارس و الملاعب. ففي الصورة التالية يمكن تمييز وجود بحيرة مترابطة مع القوارب والمنطقة الترفيهية المجاورة.

**شكل (٣-٧) التواجد**

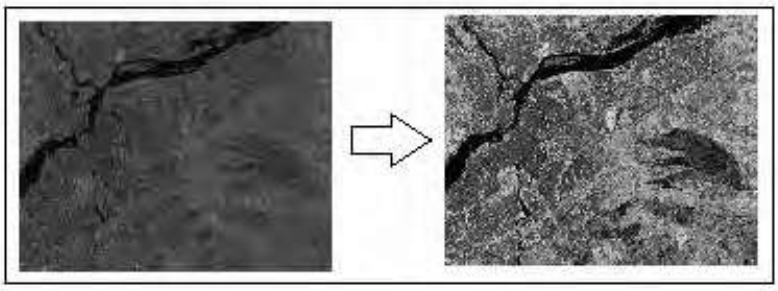
## ٣-٣ المعالجة الرقمية للمرئيات

للاستفادة من التقنيات المتوافرة في عصرنا الحالي فأن معظم بيانات الاستشعار عن بعد يتم تخزينها في صورة رقمية. ومن ثم فأن عملية معالجة المرئيات صارت تتم في صورة رقمية باستخدام أجهزة الكمبيوتر و برامجها المتخصصة. وعادة ما تشمل هذه العملية عدة وظائف أو مراحل يمكن تقسيمها الي أربعة مجموعات رئيسية تشمل:

- المعالجة الأولية pre-processing
- تحسين المرئية image enhancement
- تحويل المرئية image transformation
- تصنيف و تحليل المرئية image classification and analysis

تشمل مرحلة المعالجة الأولية الخطوات اللازمة قبل البدء في التحليل و استنباط المعلومات. وهذه الوظائف تنقسم الي التصحيح الراديومتري و التصحيح الهندسي للمرئية. فالتصحيح الراديومتري radiometric correction يشمل تصحيح التعرجات أو التشوهات لبيانات المستشعر والضجيج أو التشوه الناتج عن طبقات الغلاف الجوي ثم تحويل البيانات لصورة تماثل وبدقة الطاقة المنبعثة أو المنعكسة للمستشعر. أما التصحيح الهندسي فيشمل تصحيح التشوهات الهندسية الناتجة عن العلاقة الهندسية بين الأرض و المستشعر ثم تحويل البيانات الي نظام احداثيات يمثل العالم الحقيقي (خطوط الطول و دوائر العرض) علي سطح الأرض.

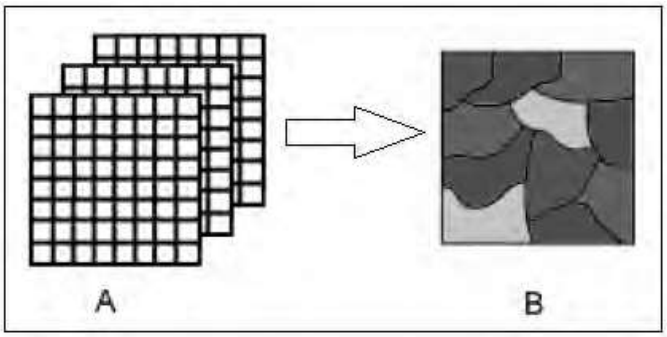
تهدف المرحلة الثانية من مراحل معالجة المرئية - مرحلة تحسين المرئية - تهدف الي تحسين جودة تمثيل المرئية للمساعدة في تفسيرها و تحليلها بصريا. ومن أمثلة وظائف هذه المرحلة وظيفة زيادة تباين contrast stretching المرئية و وظيفة الفلتر (أو المصفاة) المكاني spatial filtering ليسهل التمييز بين الأهداف.



**شكل (٣-٨) تحسين المرئية**

تشبع عمليات تحويل المرئية في مفهومها عمليات تحسين المرئية، إلا أن تحسين المرئية غالبا ما يتم علي مرئية واحدة بينما عادة ما تشتمل عمليات التحويل معالجة بيانات عدة مرئيات. وتتم عمليات رياضية (مثل الجمع و الطرح و الضرب و القسمة) بهدف تكوين و تحويل النطاقات الأصلية للمرئية الي مرئية "جديدة" تمثل مظاهر أو أهداف المرئية بصورة جيدة.

تهدف عمليات مرحلة التصنيف و التحليل الي التحديد الرقمي وتصنيف خلايا (البكسل) البيانات. فعادة ما يتم التصنيف علي بيانات متعددة القنوات (A) وتحديد فئة لكل خلية/بكسل (B) طبقا لخصائص احصائية عن قيمة اللمعان لكل خلية.



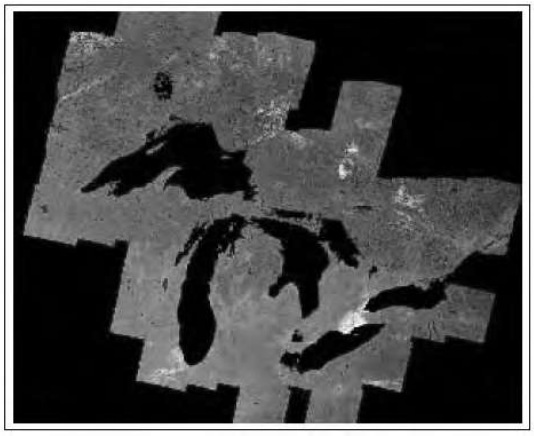

**شكل (٣-٩) تصنيف المرئية**

وفي الاجزاء التالية سنلقي الضوء علي هذه العمليات بتفصيل أكثر.

## ٣-٤ المعالجة الأولية

تهدف عمليات المعالجة الأولية (وتعرف أيضا بعمليات استعادة و تقويم المرئية image restoration and rectification) لتصحيح الأخطاء و التشوهات الراديومترية و الهندسية للمستشعر و الغلاف الجوي المؤثرة علي البيانات. تكون التصحيحات الراديومترية ضرورية بسبب التغير في اضاءة المشهد و هندسة الرؤية و ظروف الطقس وأخطاء المستشعر ذاته. وتختلف هذه الأخطاء بناءا علي المستشعر و المنصة المستخدمين في استشعار البيانات بالإضافة للظروف أثناء عملية الاستشعار. أيضا يكون من المرغوب فيه أن تتم تحويل و معايرة البيانات مقارنة بوحدات مطلقة للإشعاع و الانعكاس وذلك بهدف تسهيل عملية المقارنة بين البيانات.

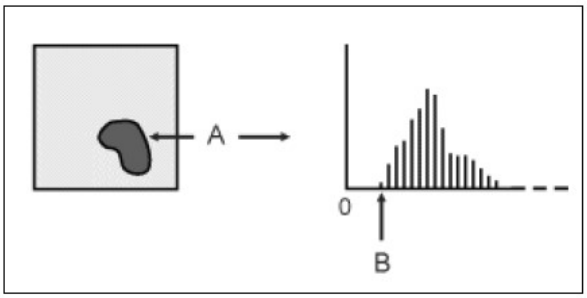
يمكن تصحيح تغيرات الاضاءة و هندسة الرؤية (للمستشعرات البصرية) بعمل نمذجة للعلاقات الهندسية و المسافة بين كلا من المنطقة الأرضية المصورة و الشمس و المستشعر. وهذه غالبا ما يكون مطلوبا ليمكننا مقارنة مرئيات عدة مستشعرات لعدة فترات زمنية أو ليمكننا عمل موزايك مرئيات متعددة لنفس المستشعر مع الاحتفاظ بظروف اضاءة منتظمة من مشهد الي آخر.



**شكل (٣-١٠) المعالجة الأولية للمرئية**

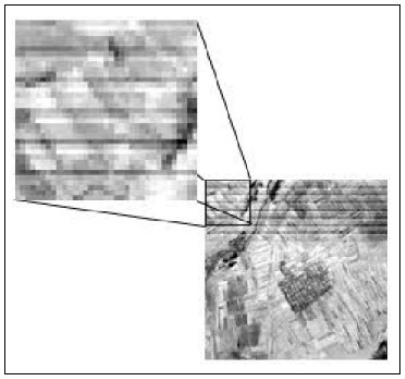
سبق الذكر في الفصل الأول أن تشتت الاشعاع قد يحدث أثناء مرور و تفاعل الاشعاع مع الغلاف الجوي. وقد يؤدي هذا التشتت الي تقليل أو اضعاف جزء من الطاقة التي تضئ المشهد. أيضا فأن طبقات الغلاف الجوي تضعف الأشعة التي تسير من الهدف الي المستشعر. ويمكن تطبيق عدة طرق لتصحيح أخطاء الغلاف الجوي atmospheric correction تتراوح ما بين من خلال النمذجة التفصيلية لظروف الطقس أثناء عملية الاستشعار و الحسابات البسيطة التي تعتمد فقط علي المرئية ذاتها. وكمثال لهذه الطريقة الأخيرة نقوم بفحص قيم الاضاءة المرصودة (أي القيم الرقمية digital numbers) لمنطقة تقع في الظل أو لهدف داكن جدا (مثل بحيرة A) وتحديد أقل قيمة (B). ويتم التصحيح من خلال طرح هذه القيمة (المحسوبة لكل نطاق band) من جميع الخلايا في النطاق المناظر. وحيث أن التشتت يعتمد علي طول الموجة فأن أقل قيمة ستختلف من نطاق الي نطاق اخر. وهذه الطريقة مبنية علي الفرض بأن الانعكاس من هذه الأهداف (في حالة كون الغلاف

الجوي صحو) سيكون صغير جدا (ان لم صفرا). ومن ثم فنحن اذا استطعنا رصد القيم الأكبر كثيرا من الصفر فستكون خالية من التشتت.




**شكل (٣-١١) تصحيح أخطاء تشتت الغلاف الجوي**

يحدث الضجيج noise في المرئية اما بسبب عدم الانتظام أو بسبب أخطاء تحدث في سواء في استجابة المستشعر أو في تسجيل و بث البيانات. ومن الأنواع الشائعة للضجيج الشرائح المنتظمة systematic striping و الخطوط المتساقطة dropped lines. ويجب تصحيح هذين الخطأين قبل البدء في عمليات التحسين و التحليل. كانت الشرائح المنتظمة شائعة في مرئيات مستشعر MSS لأقمار اللاندسات القديمة بسبب خطأ انحراف drift يحدث مع مرور الزمن في المتحسسات الستة لهذا النظام. وكان هذا الانحراف مختلفا في كل متحسس ومن ثم يسبب اختلافا في اللمعان وتمثيله في كل متحسس، ومن هنا فأن المظهر العام أو الاجمالي سيكون هو التأثير الشرائحي striped effect. أما الخطوط المتساقطة فتحدث عند وجود أخطاء منتظمة تتسبب في وجود فجوات أو بيانات معيبة علي خط المسح أثناء عملية الاستشعار. وعادة ما يتم معالجة هذا العين من خلال احلال خلايا الخط المعيب بخلايا الخط الأعلى منه أو الخط الأسفل منه أو بمتوسط كلاهما.



**شكل (٣-١٢) خطأ الشرائح المنتظمة**

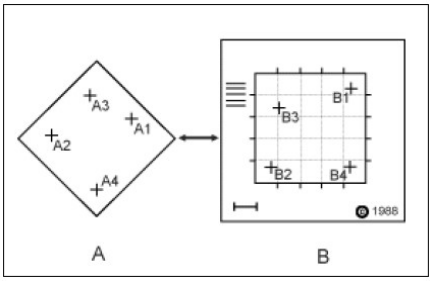
**شكل (٣-١٣) خطأ الخطوط المتساقطة**

للتطبيقات الكمية لبيانات الاستشعار عن بعد فمن الضروري تحويل القيم الرقمية الي قياسات بوحدات تمثل الانعكاس أو الانبعاث الحقيقي من سطح الأرض. ويتم ذلك بالاستعانة بمعلومات تفصيلية عن استجابة المستشعر والطريقة التي يتم بها تحويل الاشارات التناظرية analog

signals (أي الاشعاع المنعكس أو المنبعث) الي القيم الرقمية، وهو ما يعرف بطريقة التحويل تناظري-الي-رقمي analog-to-digital (أو اختصارا A-to-D). وبحل هذه العلاقة بطريقة عكسية فيمكننا حساب قيمة الاشعاع المطلق لكل خلية، وهذا ما يمكننا من عمل مقارنة دقيقة بين عدة مرئيات مختلفة في التاريخ أو من مستشعرات مختلفة.

في الجزء ٢-١ (الفصل الثاني) تعلمنا أن كل المرئيات المستشعرة تتعرض ضمنيا لتشوهات هندسية. وهذه التشوهات ناتجة عن عدة عوامل منها: منظور عدسات المستشعر، حركة نظام المسح، حركة المنصة، ارتفاع و سرعة المنصة، تأثير أو ازاحة التضاريس، وتكور سطح الأرض. وتهدف التصحيحات الهندسية geometric corrections الي التغلب علي هذه الأخطاء أو التشوهات حتى يكون التمثيل الهندسي للمرئية أقرب ما يكون للعالم الحقيقي. والكثير من هذه التشوهات يكون منتظما systematic أو يمكن التنبؤ به predictable في طبيعته ومن ثم يمكن معالجته من خلال النمذجة الدقيقة للعلاقة الهندسية بين المستشعر و المنصة و الأرض. لكن يوجد بعض التشوهات التي تكون غير منتظمة un-systematic أو عشوائية random وهي ما لا يمكن نمذجتها بهذه الطريقة. وهنا يتم ما يعرف بعملية التسجيل الهندسي geometric registration للمرئية لنظام احداثيات أرضية معلوم.

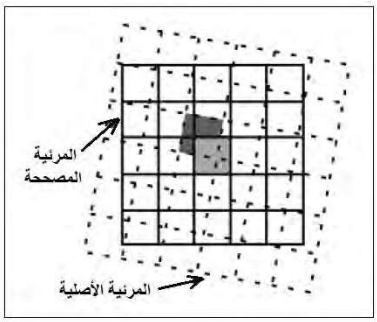
تشمل عملية التسجيل الهندسي تحديد الاحداثيات علي المرئية image coordinates (أي الصف و العمود) لبعض النقاط الواضحة علي المرئية (A) والتي يطلق عليها اسم نقاط الضبط الأرضي ground control points (أو اختصارا GCP) ومطابقة احداثياتهم في نظام احداثيات أرضية (مثلا خط الطول و دائرة العرض). وعادة ما يتم الحصول علي الاحداثيات الأرضية الحقيقية لهذه النقاط من خريطة (B) سواء كانت ورقية أو رقمية، ومن ثم تسمي هذه العملية بالتسجيل من المرئية الي الخريطة image-to-map registration. وبمجرد تحديد مجموعة من نقاط الضبط الموزعة توزيعا جيدا علي المرئية فيقوم برنامج الكمبيوتر بحساب معادلات تحويل الاحداثيات ليمكن بع ذلك تطبيقها علي الاحداثيات الأصلية للمرئية (الصف و العمود) واستنتاج الاحداثيات الأرضية الحقيقية. أيضا يمكن لعملية التسجيل الهندسي أن تتم بتسجيل مرئية الي مرئية أخري سبق تحديد احداثياتها الأرضية الحقيقية. وهذا ما يسمي بالتسجيل من مرئية الي مرئية image-to-image registration.




**شكل (٣-١٤) التسجيل الهندسي من مرئية الي خريطة**

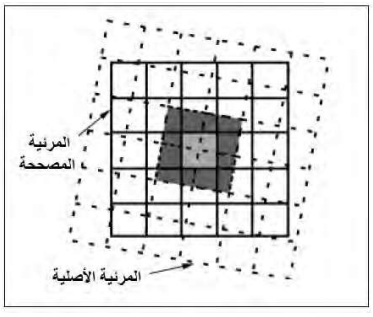
حتى يمكننا اتمام التصحيح الهندسي للمرئية الأصلية المشوهه فأن عملية تسمي اعادة أخذ العينة re-sampling يتم تطبيقها لتحديد القيم الرقمية التي سيتم وضعها في كل خلية أو بكسل للمرئية

الجديدة الناتجة. وهذه العملية تقوم بحساب قيمة الخلايا الجديدة بناءا علي قيم الخلايا في المرئية الأصلية، وهناك ثلاثة طرق شائعة الاستخدام في عملية اعادة أخذ العينة وهي: الجار الأقرب nearest neighbor، الاستنباط الخطي المزدوج bilinear interpolation، الالتفاف التكعيبي cubic convolution. ان طريقة الجار الأقرب تستخدم للخلية الجديدة القيمة الرقمية للخلية التي تكون أقرب ما يكون لها في المرئية الأصلية. وهذه الطريقة هي أبسط طرق اعادة أخذ العينة، وهي لا تقوم بتغيير القيم الأصلية الا أن بعض قيم الخلايا قد تتكرر بينما البعض الاخر قد يفقد.

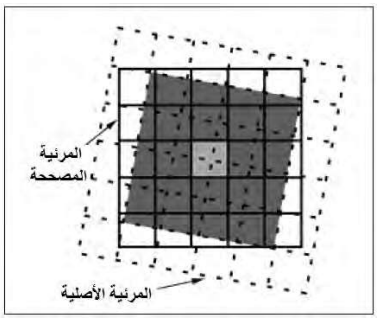



**شكل (٣-١٥) طريقة الاستنباط الخطي المزدوج لإعادة أخذ العينة**

تعتمد طريقة الاستنباط الخطي المزدوج علي حساب المتوسط الموزون لأقرب أربعة خلايا علي المرئية الأصلية لحساب قيمة الخلية في المرئية الجديدة. وبسبب عملية المتوسط فأن المرئية الجديدة ستكون ذات قيم جديدة (مختلفة) تماما. وهذا التأثير قد يكون غير مرغوبا به في حالة اتمام التصنيف و التحليل المعتمد علي الاستجابة الطيفية. وهنا فقد يكون اتمام عملية اعادة أخذ العينة لاحقا بعد اتمام التصنيف. أما طريقة الالتفاف التكعيبي فتقوم بحساب المتوسط لعدد ١٦ خلية مجاورة علي المرئية الأصلية للخلية علي المرئية الجديدة. ومثل الطريقة السابقة فأن المرئية الناتجة عن تطبيق طريقة الالتفاف التكعيبي ستكون جديدة تماما وذات قيم خلية مختلفة تماما عن المرئية الأصلية. لكن كلتا هاتين الطريقتين تتميزان بالنتاج مرئيات أكثر وضوحا و تفاديا المظهر الداكن الذي قد ينتج عن تطبيق طريقة الجار الأقرب.




**شكل (٣-١٦) طريقة الجار الأقرب لإعادة أخذ العينة**

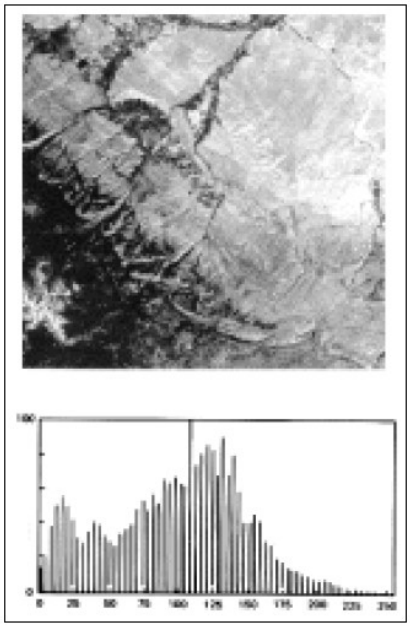



**شكل (٣-١٧) طريقة الالتفاف التكعيبي لإعادة أخذ العينة**

## ٣-٥ تحسين المرئية

يستخدم تحسين المرئية لجعل التفسير البصري أسهل، ومع أن عمليات التصحيحات الراديومترية و الهندسية قد تكون قد تمت قبل أن يتم توفير المرئيات للمستخدم إلا أن المرئية قد تكون مازالت غير ملائمة تماما للتفسير البصري. ان أجهزة الاستشعار عن بعد - خاصة في الأقمار الصناعية - تكون مصممة للتعامل مع مستويات عدة من طاقة الأهداف والتي غالبا تناسب جميع الظروف التي يمكن مواجهتها. ومع التغيرات الكبيرة في الاستجابة الطيفية لمجال واسع من الأهداف (غابات و صحراء و ثلوج و مياه ....الخ) فأنه لا يوجد تصحيح راديومتري يستطيع أن يتعامل مع كل هذه الأنواع ليوفر لنا مجال اضاءة و تباين مناسب لجميع هذه الأهداف. ومن ثم فأن لكل تطبيق و لكل مرئية يكون هناك تصحيح مخصص لجعل قيم الاضاءة أفضل ما يكون.

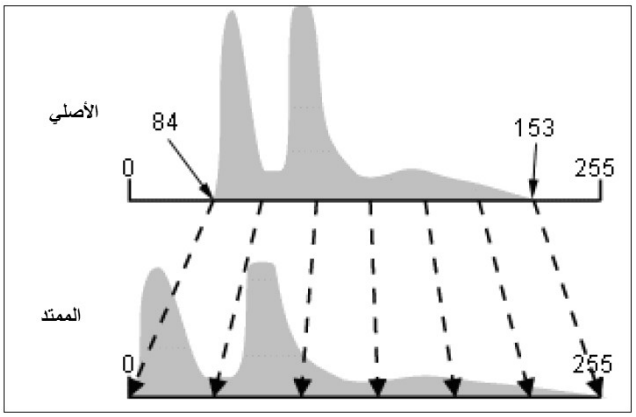
في المرئية الخام raw image فأن البيانات المفيدة تغطي جزء صغير من مجال القيم الرقمية (غالبا ٨ بت أي ٢٥٦ مستوي). يشمل تحسين التباين contrast enhancement تغيير القيم الأصلية ليمكن التعامل مع مجال أكبر ومن ثم زيادة التباين بين الأهداف و خلفياتها. ولكي نفهم تحسين التباين نبدأ أولا بمفهوم الرسم البياني للمرئية image histogram. فالرسم البياني ما هو إلا تمثيل تصويري (أو بياني) لقيم الاضاءة التي تتكون منها المرئية، حيث تكون قيم الاضاءة (أي من صفر الي ٢٥٥) ممثلة علي المحور السيني ويكون عدد مرات تكرار كل قيمة من هذه القيم ممثلا علي المحور الصادي للرسم البياني.



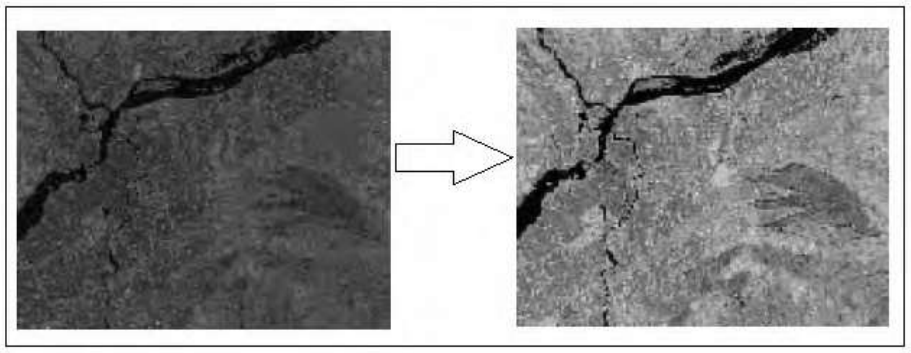
**شكل (٣-١٨) الرسم البياني للمرئية**

توجد عدة طرق لتحسين تباين المرئية، و سنتعرض هنا لبعضها. أبسط طرق التحسين هو طريقة الامتداد الخطي للتباين linear contrast stretch. وتشمل هذه الطريقة تحديد أقل و أعلي قيمة

للرسم البياني للمرئية ثم تطبيق تحويل معين لتمديد هذا المجال لكي يقع داخل المجال الكلي. ففي الشكل التالي فأن المجال الأصلي يتراوح بين ٨٤ و ١٥٣ (أي ٧٠ مستوي) بينما سنحوله لكي يغطي المجال الكلي ما بين الصفر و ٢٥٥. وكنتيجة لتطبيق هذا الأسلوب فأن المناطق الفاتحة علي المرئية ستبدو أفتح و المناطق الداكنة ستبدو أدكن، مما يجعل التفسير البصري للمرئية أسهل.

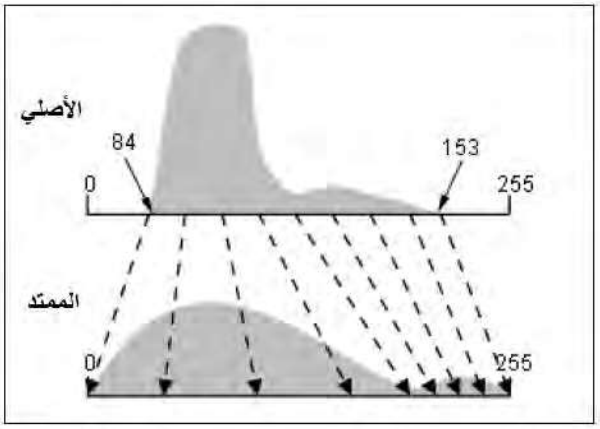



**شكل (٣-١٩) طريقة الامتداد الخطي للتباين**



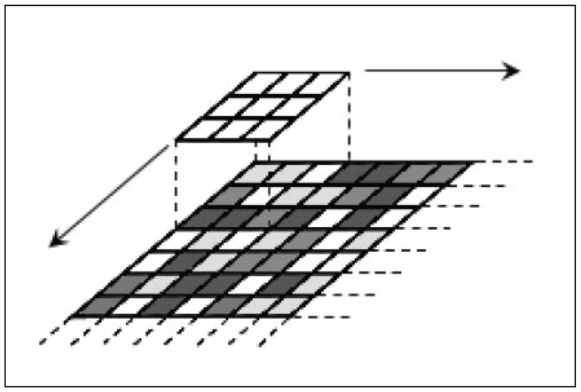
**شكل (٣-٢٠) نتيجة تطبيق الامتداد الخطي للتباين**

ان التوزيع المنتظم للمجال في المرئية الناتجة قد لا يكون هو أفضل طرق تحسين المرئية خاصة اذا كان المرئية الأصلية غير منتظمة التوزيع. وهنا نستخدم طريقة أخري تسمي الامتداد المتساوي البياني histogram-equalized stretch. وهنا فأن الامتداد سيعطي قيم أكثر (أي مجال أكبر) للجزء المتكرر من الرسم البياني. وبهذا الأسلوب فأن تفاصيل هذا الجزء ستكون أكثر تباينا من جزء الرسم البياني الأقل تكرارا أو حدوثا. فعلي سبيل المثال اذا كان لدينا مرئية يظهر بها جزء من نهر والمناطق المحيطة به وكانت المياه تغطي المجال الرقمي من ٤٠ الي ٧٦، فيمكننا عمل امتداد لهذا الجزء فقط لكي يغطي المجال الكلي (من صفر الي ٢٥٥) لكي يمكننا زيادة تباين المنطقة المائية فقط و تفسير ما بها من تفاصيل مثل التغير في الترسيب في قاع النهر. لكن في هذا المثال فأن جميع الخلايا التي لها قيم رقمية أقل من ٤٠ أو أكبر من ٧٦ سيتم تحديد قيم اما صفر أو ٢٥٥ علي الترتيب لها، أي أنها تفاصيل هذه المناطق ستختفي علي المرئية الجديدة.



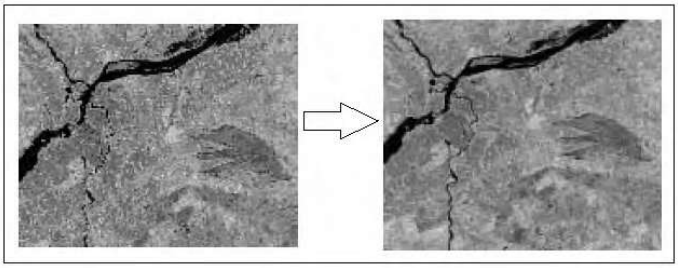

**شكل (٣-٢١) طريقة الامتداد المتساوي البياني للتباين**

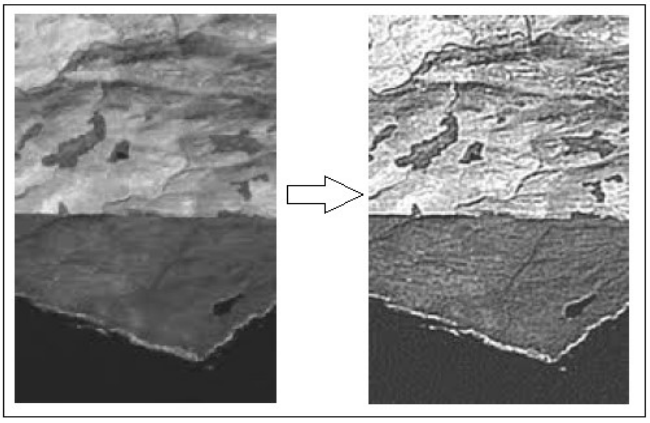
تشمل طريقة التصفية المكانية spatial filtering وظائف أخري للمعالجة بهدف تحسين مظهر المرئية. وتعتمد هذه الطريقة علي تعظيم اظهار أهداف محددة بناءا علي ترددها المكاني spatial frequency، وهي طريقة متعلقة بمفهوم النسيج texture الذي سبق التعرض له (في الجزء ٣-٢). فمناطق النسيج الخشن علي المرئية -حيث يكون التغير في درجة اللون كبيرا وبصورة مفاجئة- يكون لها تردد مكاني عالي بينما مناطق النسيج الناعم يكون لها تردد مكاني منخفض. ومن الطرق الشائعة للتصفية المكانية امرار "نافذة" تتكون من عدد قليل من الصفوف والأعمدة (مثلا ٣×٣ أو ٥×٥) علي كل خلية أو بكسل في المرئية مع تطبيق نموذج رياضي يعتمد علي قيم الخلايا أسفل هذه النافذة. وتتحرك النافذة علي كل صف وعلي كل عمود بحيث تطبق النموذج الرياضي مرة واحدة كل مرة، وتتكرر هذه الحسابات خلية بخلية علي كل أنحاء المرئية. ونتيجة تغير الحسابات وتغير وزن كل خليه في النافذة فأن طريقة التصفية المكانية يمكنها تحسين عدة أنواع من الأهداف علي المرئية.



**شكل (٣-٢٢) طريقة التصفية المكانية**

من طرق التصفية المكانية طريقة الفلتر منخفض المسار low-pass filter والذي يستخدم لتعظيم و تحسين المناطق الكبيرة المتجانسة في درجة اللون وتقليل كم التفاصيل علي المرئية. أي أن هذا الفلتر غالبا ما يقوم بتنعيم مظهر المرئية، ومن أمثلة النماذج الرياضية للفلتر منخفض المسار نماذج المتوسط و الوسيط (عادة ما تستخدم في مرئيات الرادار). وعلي الجانب الاخر فأن الفلتر عالي المسار high-pass filter يهدف تعظيم مظهر تفاصيل المرئية، مثل تعظيم اظهار الطرق والتراكيب الجيولوجية خطية الشكل.





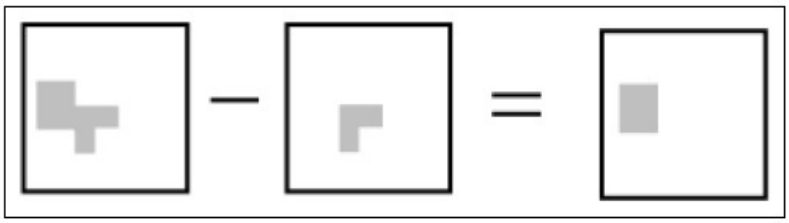
**شكل (٣-٢٣) أمثلة لتطبيق طريقة التصفية المكانية**

## ٣-٦ تحويل المرئية

عادة ما تشتمل عمليات تحويل المرئية علي وظائف ادارة النطاقات المتعددة للبيانات سواء كانت من مرئية واحدة متعددة النطاقات أو من عدة مرئيات لنفس المنطقة تن استشعارها في عدة أزمنة. وفي كلتا الحالتين فأن تحويل المرئية ينتج عنه مرئية "جديدة" تهدف للتركيز علي أهداف محددة أو خصائص هامة وإظهارها بصورة أفضل من المرئية (أو المرئيات) الأصلية.

تقوم الوظائف الأساسية لتحويل المرئية بتطبيق عمليات حسابية بسيطة علي بيانات المرئية. فعلي سبيل المثال فأن طرح المرئيات image subtraction عادة ما يستخدم لبيان التغيرات التي حدثت لمرئيات متعددة التاريخ. ففي الشكل التالي يتم طرح قيمة اضاءة الخلية في المرئية الأولي من قيمة اضاءة الخلية للمرئية الثانية. وبإعادة المقياس scaling للمرئية الناتجة بإضافة قيمة ثابتة (١٢٧ في حالتنا وهي قيمة الاضاءة للون الرمادي المتوسط) الي القيم الناتجة من عملية الطرح،

فأننا علي مرئية جديدة مختلفة. ففي هذه المرئية فأن الخلايا التي لها تغير بسيط أو لا يوجد بها تغير بين المرئيتين الأصليتين سيكون لها قيمة اضاءة حول ١٢٧، بينما المناطق أو الخلايا التي لها تغير كبير سيكون لها قيم أعلي أو أقل من ١٢٧. وكأمثلة فأن هذا النوع من حالات تحويل المرئية يستخدم في اكتشاف التغيرات في التنمية العمرانية حول المدن وفي اكتشاف مناطق التصحر.



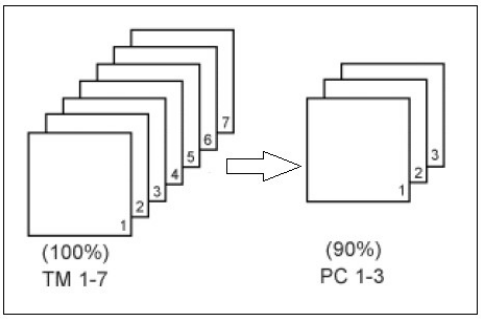
**شكل (٣-٢٤) طرح مرئيتين**

أيضا يعد قسمة المرئيات image division (ويعرف أيضا باسم التنسيب [من النسبة] الطيفي spectral rationing) من الطرق الشائعة في تحويل المرئيات، وهو يهدف الي القاء الضوء علي التغيرات الدقيقة في الاستجابة الطيفية لغطاءات السطح المختلفة. بقسمة بيانات نطاقين طيفين مختلفين فأن المرئية الناتجة تحسن التغيرات في ميول منحنيات الانعكاس الطيفي بين النطاقين المختلفين والتي قد تكون في الأساس غير ظاهرة نتيجة تغير الاضاءة أو اللمعان في كل نطاق منهما. المثال التالي يوضح هذا المفهوم: النباتات الصحية تعكس الطاقة بقوة في نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة وتمتص بقوة الاشعة الحمراء المرئية، بينما الاسطح الأخرى مثل الرطوبة و المياه تظهر انعكاسات متساوية تقريبا في كلا هذين النطاقين. أي أن قسمة النطاق ٧ من مرئية لاندسات MSS (نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة من ٠.٨ الي ١.١ ملليمتر) علي النطاق ٥ (نطاق اللون الأحمر من الضوء المرئي من ٠.٦ الي ٠.٧ ملليمتر) سينتج لنا الأقسام الأكبر من ١.٠ للنباتات و الاقسام القريبة من ١.٠ للتربة و المياه. ومن ثم فأن التمييز بين النباتات و الأسطح الأخرى سيتحسن بصورة ملموسة. أيضا فربما يكون ممكنا لدينا أن نميز بين مناطق النباتات المريضة أو غير الصحية والتي سيكون قسمها أقل من ذلك للنباتات الصحية.

**شكل (٣-٢٥) مثال لقسمة نطاقين**

من المميزات الأخرى للتنسيب الطيفي أننا و بسبب أننا ننظر للقيم النسبية (أي النسب ratios) بدلا من قيمها المطلقة فأن التغيرات في اضاءة المشهد بسبب التأثيرات الطبوغرافية تنقص. ومن ثم فأنه وبالرغم من أن الانعكاس المطلق لغطاء الغابات في منطقة متغيرة الميول سيعتمد علي الاتجاه لمصدر الاضاءة و هو الشمس، إلا أن نسبة الانعكاسات بين نطاقين ستكون متقاربة جدا. أما التنسيب باستخدام مجموع أو الفرق بين نطاقين من عدة مستشعرات فقد تم تطويره لمراقبة ظروف وحالة النباتات.ومن أشهر طرق تحويل المرئيات ما يعرف باسم المعامل الطبيعي الفرقي للنباتات Normalized Difference Vegetation Index (أو اختصارا NDVI) والذي يتم استخدامه لمراقبة الغطاء النباتي علي مستوي اقليمي و مستوي عالمي باستخدام مستشعر الراديومتر المتقدم عالي الوضوح جدا Advanced Very High Resolution Radiometer (اختصارا AVHRR) الموجود في سلسلة أقمار NOAA (أرجع للجزء ٢-١ من الفصل الثاني).

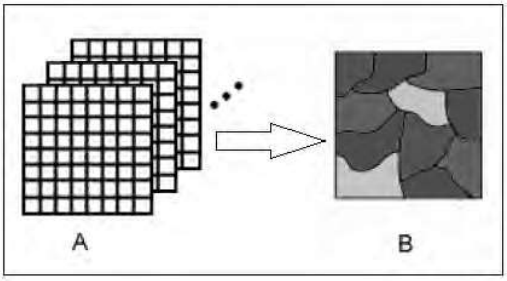
عادة ما تكون بيانات النطاقات المختلفة مرتبطة correlated (أي بينها ارتباط احصائي) ومن ثم فهي تحتوي معلومات متشابهه. فعلي سبيل المثال فأن بيانات النطاقين ٤ و ٥ لمستشعر MSS في مرئيات القمر لاندسات (أي النطاقين الأخضر و الأحمر بالترتيب) عادة ما تحتوي مظاهر بصرية متشابهه حيث أن انعكاسات نفس الأهداف عادة ما ستكون متساوية. ومن هنا فأن طرق تحويل المرئيات من الممكن استخدامها امعالجة الخصائص الاحصائية للبيانات متعددة النطاقات بهدف تقليل التكرار و الارتباط بين النطاقات. ومن هذه الطرق تحليل المركبات الرئيسية principal components analysis والذي يهدف أساسا الي تقليل عدد نطاقات هذه البيانات و ضم أكبر كم ممكن من البيانات في عدد صغير من النطاقات. ففي الشكل التالي يمكن تحويل بيانات النطاقات السبعة لمستشعر TM بحيث أن المكونات الرئيسية الثلاثة الاولي تحتوي تقريبا ٩٠% من البيانات الأصلية. وبالطبع فأن تفسير و تحليل بيانات هذه النطاقات الثلاثة (سواء بصريا أو رقميا) سيكون أبسط و أكثر كفاءة من تحليل النطاقات الأصلية السبعة.




**شكل (٣-٢٦) تحليل المركبات الرئيسية**

## ٣-٧ تصنيف و تحليل المرئيات

يهدف المحلل البشري الي تقسيم الاهداف علي المرئية باستخدام عوامل التفسير البصري (أرجع للجزء ٣-٢) لكي يقوم بتحديد مجموعات متجانسة من الخلايا أو البكسل تمثل الأهداف المختلفة أو غطاءات الأرض. ويستخدم التصنيف الرقمي للمرئيات Digital Image Classification معلومات طيفية تمثل القيم الرقمية لنطاق أو أكثر ومن ثم يحاول تقسيم كل خلية أو بكسل طبقا لهذه المعلومات الطيفية. ويسمي هذا النوع من التصنيف الرقمي باسم ادراك الأنماط الطيفية Spectral Pattern Recognition، أي أنه يهدف الي اعطاء مجموعة محددة لجميع الخلايا التي تنتمي لنمط طيفي معين علي المرئية (مياه، غابات، قمح ذرة ...الخ). ومن هنا فأن المرئية المصنفة تتكون من موزايك من الخلايا كلا منها تمثل موضوع theme معين ولذلك فهي تمثل خريطة موضوعية thematic map من المرئية الأصلية.

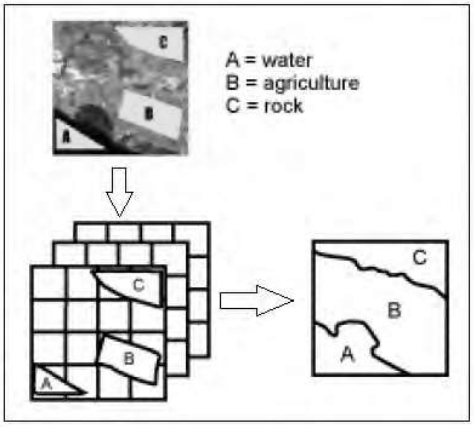



**شكل (٣-٢٧) تصنيف المرئيات**

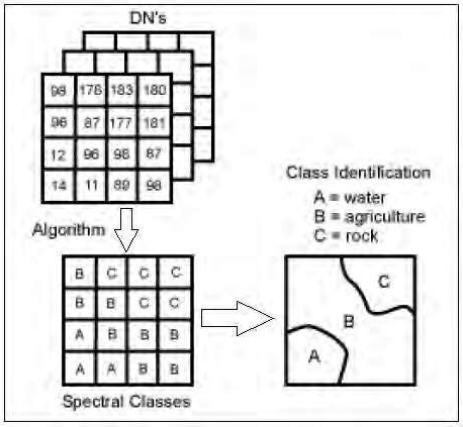
عندما نتحدث عن الفئات أو المجموعات فيجب أن نفرق بين أصناف أو طبقات المعلومات information classes و الأصناف أو الطبقات الطيفية spectral classes. فطبقات المعلومات هي الفئات التي يهدف التحليل الي تحديدها علي المرئية مثل أنواع المحاصيل المختلفة والأنواع المختلفة من الأشجار وأنواع الصخور المختلفة ... الخ. أما الطبقات الطيفية فهي مجموعات من الخلايا المتجانسة (أو القريبة) بالنسبة لدرجات الاضاءة في القنوات الطيفية المختلفة للبيانات. والهدف هنا هو المزاوجة أو الملائمة بين الطبقات الطيفية لبيانات المرئية و طبقات المعلومات المطلوبة. ومن الصعب أن يوجد ملائمة دقيقة كاملة بين طبقتين محددتين. فقد توجد طبقة معلومات واسعة (مثل الغابات) تتكون من عدة طبقات طيفية فرعية spectral sub-classes. ففي مثالنا هذا فأن الطبقات الطيفية الفرعية قد تعود الي التغير في العمر و الكثافة والنوع و الشكل. ومن هنا فيكون هدف المحلل أن يقرر كيف يزاوج ما بين الطبقات أو الفئات الطيفية وطبقات المعلومات.

يمكن تقسيم أنواع التصنيف الي مجموعتين رئيسيتين وهما التصنيف المراقب supervised classification و التصنيف غير المراقب unsupervised classification. ففي التصنيف المراقب يقوم المفسر بتحديد عينات متجانسة (علي المرئية) لأنواع الغطاءات أو طبقات المعلومات المنشودة. ويطلق علي هذه العينات اسم منطقة التدريب training areas. ويكون اختيار منطقة التدريب قائما علي معرفة المفسر بالمنطقة الجغرافية لهذه المرئية ومعلوماته عن الغطاءات الأرضية الظاهرة علي المرئية. ومن هنا فأن المفسر يقوم بمراقبة supervise عملية

تقسيم أو تصنيف الطبقات. ثم يتم استخدام المعلومات لكافة النطاقات في هذه المنطقة "لتدريب" الكمبيوتر علي كيفية تمييز المناطق المتشابهه لكل مجموعة أو فئة. ومن هنا فيقوم الكمبيوتر من خلال برامج معينة متخصصة لتحديد البصمة الرقمية numerical signature لكل منطقة تدريب، ثم يقوم بتحديد أي فئة (من فئات هذه البصمة) أقرب لكل خلية أو بكسل علي المرئية. أي أننا في التصنيف المراقب نقوم أولا بتحديد طبقات المعلومات التي يتم استخدامها لاحقا لتحديد الطبقات الطيفية التي تمثلها.




**شكل (٣-٢٨) التصنيف المراقب**

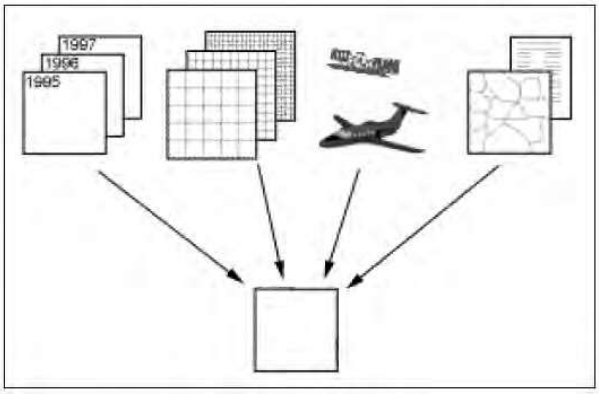



**شكل (٣-٢٩) التصنيف غير المراقب**

أما التصنيف غير المراقب فهو عكس التصنيف المراقب من حيث أن الطبقات الطيفية يتم تجميعها أولا طبقا لمعلومات المرئيات فقط ثم لاحقا يتم ملائمتها أو مزاوجتها لطبقات المعلومات. وتستخدم برامج كمبيوتر تسمي برامج أو طرق التجميع clustering algorithms لتحديد المجموعات الرقمية (أو الاحصائية) في البيانات. وعادة ما يحدد المفسر عدد المجموعات التي سيتم البحث عنها أو تصنيفها، وقد يحدد أيضا الحدود الفاصلة بين هذه المجموعات والتغير داخل كل مجموعة. ويكون المنتج النهائي لهذه العملية التكرارية هو مجموعة من المجموعات أو الطبقات التي قد يرغب المفسر في دمجها معا أو مجموعة من الطبقات التي يرغب في تقسيمها الي طبقات فرعية لاحقا (من خلال تطبيق برنامج التجميع مرة أخري). ومن ثم فأن التصنيف غير المراقب لا ينتهي بدون تدخل بشري، لكنه في نفس الوقت لا يبدأ بمعرفة تقسيم مبدئي للبيانات كما في حالة التصنيف المراقب.

## ٣-٨ دمج و تكامل و تحليل البيانات

في الأيام الاولي للاستشعار عن بعد التناظري (عندما كان مصدر البيانات الوحيد هو التصوير الجوي) كان دمج و تكامل البيانات من المصادر المتعددة صعبا. بينما في وقتنا المعاصر فأن معظم البيانات تكون في صورة رقمية ومن عدة مستشعرات مما يجعل دمج البيانات طريقة معتادة للتفسير و التحليل. يشمل دمج و تكامل البيانات Data integration دمج عدة أنواع من البيانات مختلفة المصادر في محاولة لاستخراج معلومات جديدة أو معلومات أفضل. وقد يشمل الدمج بيانات تكون في طبيعتها متعددة النطاقات و متعددة الفترة الزمنية و متعددة الوضوح المكاني و متعددة المستشعرات.

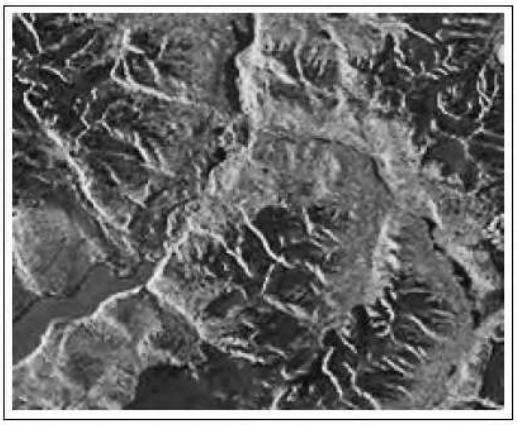



**شكل (٣-٣٠) دمج و تكامل البيانات**

سبق التعرض لدمج البيانات متعددة التاريخ في الجزء ٣-٦ عندما شرحنا طرح المرئيات. ان المرئيات المستشعرة في تواريخ مختلفة multi-temporal images يمكن تطبيقها لبيان التغيرات الزمنية من خلال طرق بسيطة مثل طرح البيانات أو من خلال طرق أكثر تعقيدا مثل المقارنات المتعددة لتصنيفات مختلفة. أيضا فأن دمج و تكامل المرئيات متعددة الوضوح المكاني multi-resolution images يكون مفيدا في عدد من التطبيقات. فدمج بيانات عالية الوضوح المكاني مع بيانات منخفضة الوضوح يزيد بدرجة ملحوظة من وضوح التفاصيل المكانية مما يزيد من القدرة علي تمييز الأهداف. وتعد بيانات القمر سبوت مناسبة لمثل هذا التطبيق حيث يتم دمج البيانات أحادية النطاق أو الأبيض و أسود panchromatic ذات الوضوح المكاني ١٠ أمتار مع البيانات متعددة النطاقات ذات الوضوح المكاني ٢٠ متر. فهنا فأن البيانات متعددة النطاق تؤمن الوضوح الطيفي الجيد بينما البيانات أحادية النطاق تؤمن وضوحا مكانيا أفضل.

**شكل (٣-٣١) دمج البيانات متعددة الوضوح المكاني**

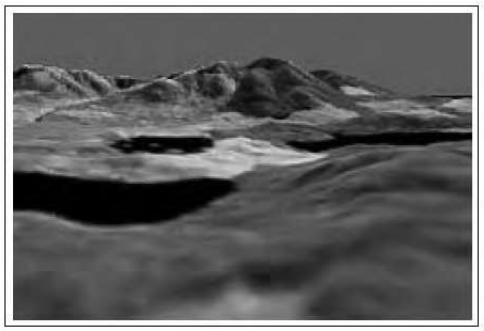
أيضا يمكن دمج بيانات من عدة مستشعرات، ومن أمثلة هذا التطبيق دمج بيانات بصرية متعددة النطاقات مع بيانات مرئيات الرادار. فهذين المصدرين من مصادر البيانات يقدمان لنا كما هائلا من البيانات عن السطح، فالبيانات البصرية تؤمن لنا معلومات طيفية تفصيلية تفيدينا في التمييز بين أنواع غطاءات السطح بينما المرئيات ارادارية تركز علي التفاصيل التركيبية في المرئية.



**شكل (٣-٣٢) دمج مرئيات استشعار بصرية و مرئيات رادارية**

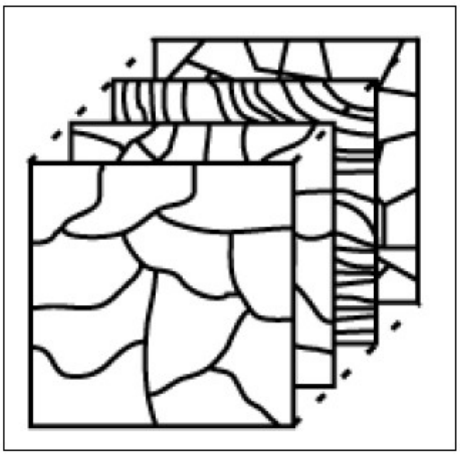
يتطلب دمج بيانات متعددة المصادر أن تكون هذه البيانات مسجلة هندسيا (أي مرجعة جغرافية) سواء بتسجيل كل مصدر الي المصادر الأخرى أو بتسجيلهم الي نظام احداثيات جغرافية واحد أو الي خريطة أساس base map. أيضا يمكن دمج مصادر أخري من البيانات مع بيانات الاستشعار عن بعد. فعلي سبيل المثال يمكن دمج بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models (أو اختصارا DEM) أو نماذج التضاريس الرقمية Digital Terrain Models (أو اختصارا DTM) مع بيانات المرئيات ليخدم هذا الدمج عدة تطبيقات. فنماذج الارتفاعات الرقمية قد تكون مفيدة في عمليات تصنيف المرئية حيث يمكن تصحيح تغيرات التضاريس و الميول باستخدام هذه النماذج مما يزيد من دقة تصنيف المرئية. أيضا فأن نماذج

الارتفاعات و التضاريس الرقمية تكون مفيدة في تطوير المشاهد ثلاثية الأبعاد (المجسمات) من خلال اسقاط مرئية الاستشعار عن بعد علي بيانات الارتفاعات لتحسين رؤية المنطقة الجغرافية بصورة مجسمة.



**شكل (٣-٣٣) دمج بيانات الاستشعار مع نماذج الارتفاعات الرقمية**

يعد دمج بيانات متعددة الأنواع و من مصادر مختلفة هو ذروة تحليل البيانات. ففي بيئة رقمية حيث تكون كافة البيانات مرجعة هندسيا (أو جغرافيا) فأن امكانيات استخراج و استنباط المعلومات تكون أعلي بكثير. وهذا المفهوم هو أساس التحليل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (أو اختصارا GIS). فأي نوع معلومات يمكن ارجاعه هندسيا/جغرافيا يمكن من ثم وضعه داخل هذا الاطار الرقمي/ كما في مثال بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية. وكمثال اخر فيمكن دمج الخرائط الرقمية للتربة و غطاءات الأرض و شبكات الطرق و المواصلات ... الخ طبقا للهدف المنشود. أيضا فأن نتائج تصنيف مرئية فضائية يمكن أن يستخدم لاحقا كمصدر جديد داخل نظام المعلومات الجغرافية ومن ثم يمكن تحديث الخرائط الموجودة بالفعل. وكقاعدة عامة فأنه كلما زادت البيانات أثناء التحليل تحسنت النتائج وزادت دقتها بدرجة أكثر كثيرا من استخدام مصدر واحد للبيانات.



**شكل (٣-٣٤) مفهوم تعدد أنواع البيانات داخل نظم المعلومات الجغرافية**

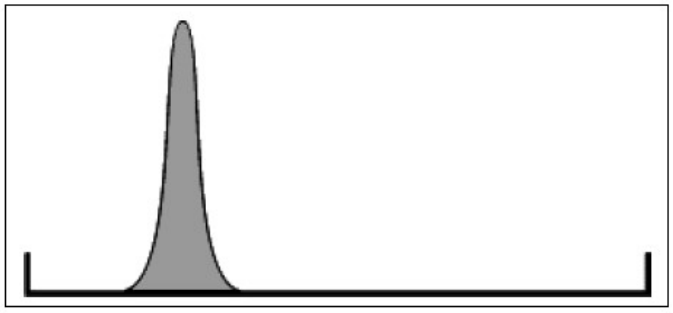
## ٣-٩ أسئلة و أجوبة لموضوعات هذا الفصل:

س ١: في الصورة الجوية التالية قم بتحديد الأهداف التالية باستخدام عناصر التفسير البصري السابق شرحها: مضمار سباق، نهر، طرق، كباري، منطقة سكنية، سد:

س ٢: تحتل خلية أو بكسل من نوع ٨ بت علي القرص الصلب للكمبيوتر بايت byte واحد. والكيلوبايت kilobyte (Kb) الواحد يساوي ١٠٢٤ بايت، بينما الميجابايت Megabyte (Mb) يساوي ١٠٢٤ كيلوبايت. أحسب عدد الميجابايت المطلوب اتخزين مرئية لاندسات من نوع TM (٧ نطاقات) والتي يبلغ حجمها ٦٠٠٠×٦٠٠٠ سطر؟.

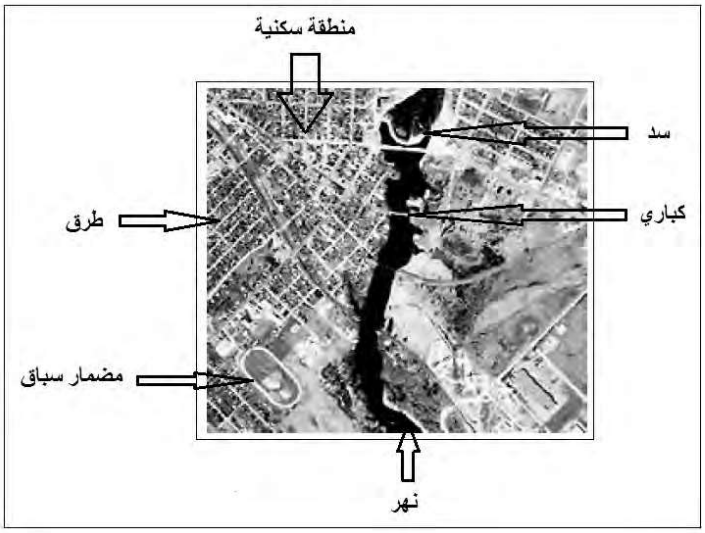
س ٣: ما مميزات التصحيح الهندسي للمرئية وإرجاعها الي نظام احداثيات جغرافية قبل البدء في التفسير و التحليل؟

س ٤: نريد عمل تحليل لمرئية فضائية لكن بالنظر الي الرسم البياني لها histogram لاحظنا أن مجال البيانات المفيدة صغير للغاية. كيف يمكنك تحسين هذه المرئية باستخدام طريقة الامتداد الخطي للتباين linear contrast stretch قبل محاولة تصنيفها؟.



ج ١:

- مضمار السبق موجود في الطرف العلوي علي اليسار ويمكن بسهوله تحديده باستخدام عنصر الشكل.
- يمكن بسهوله تحديد النهر باستخدام خاصية التباين ما بينه و بين الأهداف المحيطة به، وأيضا باستخدام خاصية الشكل.
- أما الطرق فتبدو واضحة علي الصورة من خلال شكلها (مستقيمة في معظم الأحوال) وأيضا بسبب درجة لونها اللامعة بالمقارنة بما حولها من أهداف أغمق.
- الكباري يسهل تحديدها بناءا علي شكلها و درجة لونها وخاصية التواجد مع النهر الذي تعبره.
- المناطق السكنية في يسار الصورة والجزء العلوي منها أيضا يمكن تمييزها من خلال خاصية النمط. أيضا يمكن تمييز المساكن و المباني الأخرى من خلال درجات اللون الغامقة و الفاتحة.
- يوجد السد في منتصف الجزء العلوي من الصورة ويمكن تمييزه من خلال تباين لونه مع اللون الغامق للنهر و أيضا من خلال شكله وخاصية التواجد مع النهر.



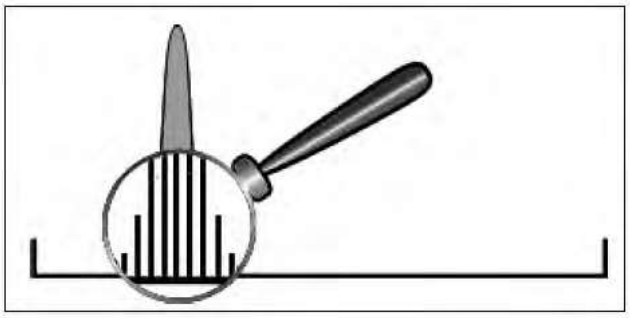

ج ٢:

- اذا كان لدينا ٧ نطاقات كلا منها ٦٠٠٠×٦٠٠٠ سطر ونعرف أن الخلية الواحدة تأخذ بايت واحد علي القرص الصلب، فأنه يكون لدينا:
- ٧ × ٦٠٠٠ × ٦٠٠٠ = ٢٥٢،٠٠٠،٠٠٠ بايت
- ولنحول هذا الرقم الي كيلوبايت سنقسم علي ١٠٢٤ ، ثم لنحول الناتج الي ميجا بايت سنقسم علي ١٠٢٤ مرة أخري:
- ٢٥٢،٠٠٠،٠٠٠ ÷ ( ١٠٢٤ × ١٠٢٤ ) = ٢٤٠.٣٣ ميجابايت.

أي أننا سنحتاج لمساحة أكبر من ٢٤٠ ميجابايت علي القرص الصلب لتخزين مرئية TM واحدة فقط. أما لتحليل هذه المرئية فسنحتاج لمساحة أكبر و لخصائص كمبيوتر أكبر، وهذا فقط مثال لما تقدمه لنا أجهزة الكمبيوتر عندما نتعامل مع بيانات الاستشعار عن بعد في عصرنا الحالي.

ج ٣: تشمل مميزات التصحيح الهندسي للمرئية وإرجاعها الي نظام احداثيات جغرافية (قبل البدء في تفسيرها و تحليلها) أنه يتيح لنا القياسات الصحيحة للمسافات و المساحات للأهداف علي المرئية. وهذا قد يكون هاما في العديد من التطبيقات التي تعتمد علي القياسات مثل تطبيقات التخطيط العمراني علي سبيل المثال. أيضا فأن الاحداثيات الجغرافية لأهداف المرئية تصبح متاحة و يمكن تحديدها. هذا بالإضافة الي أن أي مصدر بيانات مرجع هندسيا/جغرافيا يمكن دمجه بيانات أخري في بيئة رقمية مما يتيح تحليلا أكثر دقة.

ج ٤: يفيد تحسين المرئية باستخدام الكمبيوتر في تمييز الفروق بين درجات اللمعان المختلفة حتى وان كان مجالها قليل:



ومن ثم فأن المرئية بعد تحسينها قد تستخدم في اختيار منطقة التدريب لإتمام عملية التصنيف.