د. حسين الشافعى
م. محمد نجيب

الاستشعار من البُعد ورادارات اختراق التربة

دار الهلال

obeikan.com

بدعـــم مـــــن

الهيئة القومية للاستشعار
من البعد وعلوم الفضاء NARSS

الشركة المصرية لتطبيقات الفضاء
والاستشعار من البعد

KISR

معهد الكويت
للأبحاث العلمية

المؤسسة المصرية الروسية
للثقافة و العلوم

При содействии
египетско- российского
фонд культуры и наук

شكر وتقدير

يتقدم مُعدو هذا الكتاب بكل الشكر والتقدير لكلٍ من : أ.د. / مدحت مختار ، أ.د. / أحمد صديق ، أ.د. / سيد صابر ، أ.د. / حمدي الجميلي ، على الجهد المشكور الذي بذلوه من أجل خروج هذا العمل إلى النور بهذا الشكل.

obeikan.com

الاستشعار من البُعد
ورادارات اختراق التربة

د. حسين الشافعى

2016

obeikan.com

obeikan.com

تصميم الغلاف والإخراج الفني / أحمد عثمان .

مقدمـــة

obeikan.com

obeikan.com

مقدمـــــة

هناك تعاريف عدّة لمصطلح الاستشعار من بُعد، جميعها تدور حول المفهوم الأساسي، وهو جمع المعلومات، والبيانات من مسافة (بعد) ..

من أبرز هذه التعاريف :

أنه علم استخلاص المعلومات والبيانات عن سطح الأرض ، والمسطحات المائية باستخدام صور ملتقطة من أعلى، بواسطة تسجيل الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من سطح الأرض، أو أنه علم يهتم بمعرفة ماهية الأجسام دون تماس فيزيائي أو كيميائي مباشر مع هذه الأجسام، أو تعبير يشير لأنشطة تسجيل / مراقبة / إدراك الأشياء أو الأحداث في أماكن بعيدة (عن بعد) دون أن تكون الأجهزة التي تقوم بالاستشعار على اتصال مباشر مع هذه الأشياء.

و يحاكي أسلوب عمل أنظمة الاستشعار (المستشعرات) أسلوب أداء الحواس البشرية لوظائفها، وخاصةً «العين»، وإن كان بعضها يؤدى وظائف تتماثل ، وحاستى «السمع والشم».

وعلى الرغم من تعدد أنواع وسائل الاستشعار والرصد ، ومنها (المستشعرات البصرية والكهروبصرية- الرادارية- الصوتية (السونار) - والمغناطيسية - والسيزمية.....) ومعظمها يمكن استخدامه من بعد ، إلا أن المفهوم الحديث لمصطلح الاستشعار عن بعد (أحياناً يتداول لفظ الاستشعار من البعد) أصبح يتبلور فى استخدام وسائل التصوير المختلفة المحمولة جواً أو على متن الأقمار الصناعية فى المراقبة، والدراسة لسطح الأرض والمحيطات والأرصاد الجوية.

فى نظرة تاريخية، فإن ظهور هذا التوجه فى استخدام التصوير من بعد بدأ عام (١٨٥٨) بالتقاط أول صورة من على بالون حَلق فوق «باريس» على ارتفاع (١٢٠٠) قدم ، وقام (Gasper Felix) بالتقاط صور لباريس بواسطة كاميرا محمولة باليد .

وعام (١٨٦٠) كان أول تطبيق عملي للاستطلاع الجوي بالنظر، والتصوير من بالون خلال الحرب الأهلية.... وعام (١٩٠٦) جرى تنفيذ أول عملية تصوير بكاميرا مجهزة على صاروخ (يستخدم الهواء المضغوط فى الدفع) ، حيث تم التصوير من على ارتفاع (٢٦٠٠) قدم، وتم قذف الكاميرا بواسطة «باراشوت».. وفي عام (١٩٣٦) ، تم التقاط صورة تظهر انحناء سطح الأرض من بالون على ارتفاع ٧٢ ألف قدم بواسطة (Albert W.Steven) .

بدايةً من «الحرب العالمية الثانية» تسارعت وتيرة التطوير بغية تحقيق الاستغلال الأمثل للفضاء فى أغراض الاستشعار عن بعد....، حيث شهد عام (١٩٤٦) التقاط أول صور جوية للأرض بواسطة طائرة الاستطلاع (V-2) ، وشهد عام (1954) أول طيران لطائرة الاستطلاع الأمريكية (U-2) .

وعام (١٩٥٧)، أطلق «الاتحاد السوفيتى» (روسيا الاتحادية حالياً) Extra Space أول قمر صناعى. سبوتنك ١ – ليبدأ عصر اقتحام الفضاء، بما فتحه من آفاق واسعة لتطوير علوم وتكنولوجيات الاستشعار عن بعد.

وقد ارتبط تزايد الاهتمام بمجال الاستشعار عن بعد بالتطور التكنولوجي في العديد من المجالات، منها صناعة المكونات الإلكترونية الدقيقة، والعدسات الذي انعكس على تطوير الأنظمة الكهروبصرية والأنظمة الرادارية التي تستخدم في عمليات الرصد والتصوير (كما سيتم إيضاحه تفصيلاً خلال فصول هذا الكتاب) .. وكذا التطور في أساليب معالجة الصور الضوئية، اعتماداً على اكتشاف مركبات كيميائية معينة ذات حساسية للضوء ..... هذا إلى جانب تطور الحواسب الآلية، وأساليب تسجيل البيانات، وبرامج معالجة البيانات .... وقبل هذه العناصر جميعها، يأتى تطور منصات الحمل الجوية (طائرات مجنحة، طائرات عمودية «هليكوبترات»، طائرات موجهة بدون طيار)، ... فضلاً عن التطور في بناء الأقمار الصناعية، ووسائل إطلاقها.

ولم يقتصر استغلال تكنولوجيا المستشعرات على دراسة سطح الأرض كتطبيق لمفهوم الاستشعار عن بعد، بل بدأ استغلال حيزات محددة من الترددات داخل حيز الطيف «الكهرومغناطيسى» فى دراسة أعماق الأرض من خلال تطوير أنظمة رادارية، توفر قدرات إختراق تسمح بتصوير أعماق التربة، وإنتاج صورة لباطن الأرض (مقاطع عرضية). تتوقف أعماق القدرة على الكشف عن تفاصيل ما تحت التربة- ودقة هذا الكشف- على المواءمة ما بين التردد المستخدم ونوعية الهوائي لكل نوعية من أنواع التربة...، وتستخدم هذه النوعية من الرادارات فى الأبحاث الجيولوجية وأعمال البحث عن المياه والتنقيب عن البترول، واكتشاف الشقوق والفراغات، إلى جانب أعمال البحث والتنقيب عن الآثار.

السادس عشر من أبريل عام ٢٠١٤، أطلقت «مصر» بنجاح قمرها للاستشعار عن بُعد «إيجيبت سات» من قاعدة «بايكانور» الفضائية «بكازاخستان»، تتويجاً لمرحلة هامة من مراحل التعاون المصري – الروسي لنقل تكنولوجيات الفضاء للجانب المصرى.

صار موضوع استخدامات الفضاء لصالح خطط التنمية والتخطيط بالبلدان العربية يطرح تساؤلات مهمة على كل الدوائر التنفيذية، والبحثية، بل والتعليمية عما تم اتخاذه من إجراءات وبرامج لتأهيل الكوادر الفنية لتعظيم الاستفادة من الإمكانيات الضخمة التى يقدمها الفضاء من صور فضائية – لمصر ولدول كثيرة عربية، وإفريقية، ودولية.

ليس بنافل القول أن نذكر أن جُلّ عمليات التخطيط، والتنمية، وإدارة الثروات والموارد في العالم تعتمد – أول ما تعتمد – على الصور الفضائية.

تحفيزاً للمجتمع العربي .. ولمكوناته الشابة الواعدة التي ستنهض – حتماً – فى القريب العاجل بمهام تطوير بلادها، وإعادة رسم معالمها، وتخطيط مستقبلها نقدم هذا الكتاب ليقص بشكل سهل التطبيقات التي يمكن أن تستخدم للصور الفضائية في الاستشعار عن بُعد، والأسس العلمية التى نصل بها إلى القراءة المطلوبة للصور الفضائية، طبقاً للاحتياجات التي ننشدها.

وإذا كانت الأقمار الصناعية للاستشعار عن بُعد – بشكل عام – تكشف لنا ما على سطح الأرض من معالم، وظواهر، فماذا بشأن ما هو تحت باطن الأرض؟

تظهر هنا أهمية الجزء الثاني من الكتاب، والذي يستعرض أحدث التكنولوجيات المتاحة لتحليل التربة في باطن الأرض باستخدام أجهزة رادارات اختراق التربة، وطرق ونظم دراسة باطن الأرض، لاكستشاف ما يمكن أن يكون بها من ثروات (مياه ومعادن وغاز ونفط) أو من آثار. وبذلك تكتمل المفاهيم التى تسمح لنا باستخدام العلم لسبر أغوار ما على سطح الأرض، كذا يتعرض الكتاب لتكنولوجيات المسح الحرارى، وهي أحدث التكنولوجيات التي تسمح بالمسح لباطن الأرض بمستشعرات حرارية تستطيع تحديد المناطق الهيدروكربونية- وهي المناطق المرتفعة حرارتها في باطن الأرض عن غيرها - وهو مؤشر هام يدل على وجود الغاز أو النفط بها.

الجيوفيزيائية التطبيقية:

المسح الجيوفيزيائى لبيئة الطبقات وتراكيب المكامن البترولية.

المسح السيزمى / المغناطيسى.

والذي يعد من أهم علوم الأرض، التي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء، وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية، ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة، وما تحتويه من كهوف وصدوع وفراغات. لقد ساهم تطور هذا العلم في كشف دول كبرى لثروات في باطن الأرض، جعلت من ثقتها بمستقبل أبنائها أمرا مؤكدا.

إذاً يعتبر «المسح السيزمى» الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة عن بيئة الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، والحصول على معلومات عنها في المناطق صعبة التضاريس، كالمناطق «البحرية والصحارى». وقد شهدت برامج تحليل الطبقات تحت الأرض تطوراً كبيراً جعل من هذه التكنولوجيا نافذة حقيقية لكشف ما تحت الأرض.

«المسح السيزمى» يعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبة من السطح ينتج عنها صدمة، أو هزة، أو موجة سيزمية تعود للسطح بعد انعكاسها، تتلقاها أجهزة تنتشر على أبعاد محددة من نقطة التفجير التي تقيس زمن ارتداد هذه الموجات، وبرامج حسابية، حيث يتم حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها، ومن ثم إنتاج خرائط تركيبية.

المسح الرادارى:

باستخدام الخصائص الكهرومغناطيسية لمواد الأرض (والتي تتغير موصليتها من ١ للهواء وتصل إلى ٨٠ لمياه البحار)، ويتم استخدامه فيما يلي:

- الاستقصاء الهندسي الجيولوجي.
- رسم الخرائط الـ 3D.
- تحديد المواقع الأثرية.

- فحص التربة قبل مد خطوط الغاز ، السكك الحديدية، أو الطرق السريعة .
- البحث عن الفراغات الطبيعية أو الصناعية تحت الأرض .

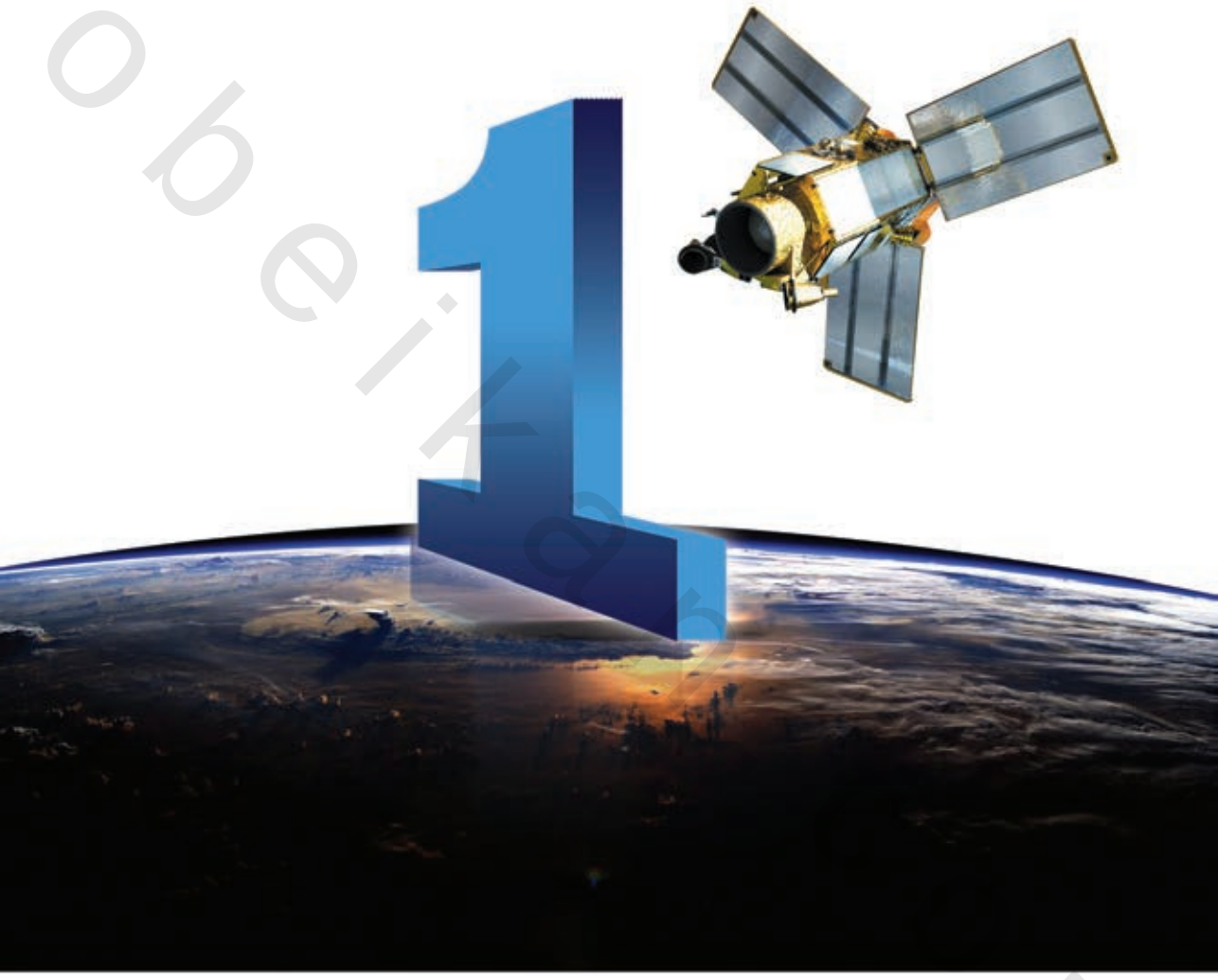
استخدم الرادار في مصر مع البعثة الأثرية الروسية التابعة لمعهد الاستشراق الروسي لإجراء أعمال تنقيب فى هضبة الجيزة . وخلال نوفمبر ٢٠٠٩، تم اكتشاف مكامن لمقبرة «خفرع عنخ» الكاهن الأكبر لمعبد هرم الملك خفرع ، كما تم الكشف أيضاً عن مقابر ظل العلماء يحفرون بها على مدى أكثر من مائة عام، حيث تم العثور على ٤ مقابر مرة واحدة، من بينها اثنتان لم تكونا معروفتين من قبل، واثنتان كانتا في عداد المقابر المفقودة، كذا فقد أستخدم الرادار في فحص منطقة المياه الجوفية بمدينة العبور بالقاهرة في ديسمبر ٢٠١٥، حيث أمكن تحديد معالم خزان المياه السطحية بالمنطقة، لقد جرت أعمال المسح والتنقيب والعثور على آثار بدول عديدة بالعالم منها «السودان»، كما تمت أعمال المسح الرادارى الذي نجم عنه العثور على المياه فى «بيرو».

عمل أساتذة أفاضل على مراجعة هذا الكتاب ، وقد استغرق منهم ذلك الأمر جهداً ، ووقتاً نشكرهم جزيل الشكر عليه ، وعلى تطوعهم للقيام به ، وفي مقدمتهم الأستاذ الدكتور / مدحت مختار، رئيس الهيئة القومية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء، والأستاذ الدكتور / أحمد صديق، الأستاذ بالجامعة المصرية الروسية، والأستاذ الدكتور/ السيد صابر ، استشارى الاستشعار عن بعد، والأستاذ الدكتور / حمدى الجميلي، رئيس قسم المعلومات الجغرافية بمعهد الكويت للأبحاث العلمية.. وقد كان إهتمامهم بمراجعة هذا العمل من منطلق الإصرار على إخراج أول مرجع بالعربية عن الإستشعار من البعد ورادارات اختراق التربة بالشكل اللائق، لتحقيق النفع المنشود منه للمتخصصين والمهتمين. فلعله يكون كذلك .

م . محمد نجيب

د. حسين الشافعى

الفصل الأول



أساسيات الاستشعار عن بعد

obeikan.com

obeikan.com

١ـ١ ماهو الاستشعار عن البعد؟

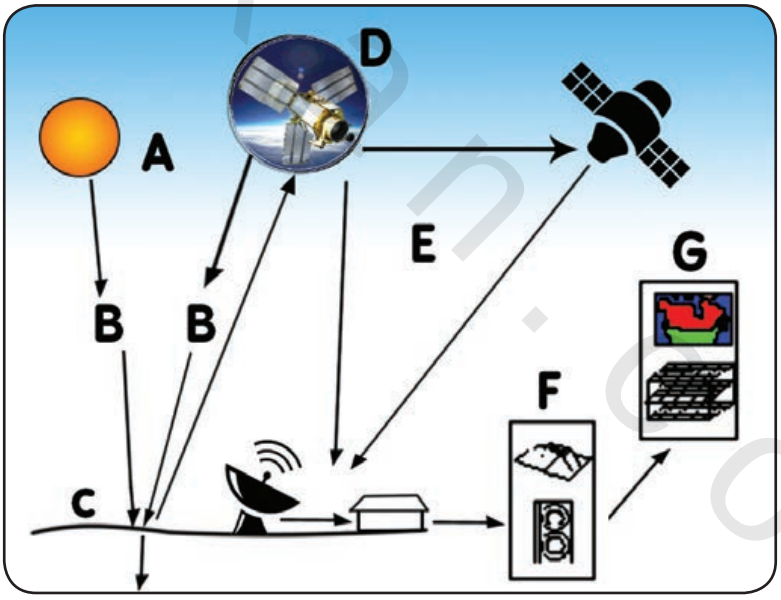
الاستشعار عن البعد: هو علم الحصول على معلومات عن سطح الأرض بدون الاقتراب منه، و يتم ذلك عن طريق استشعار و تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من سطح الأرض ومعالجتها وتحليلها لاستخراج ما بها من معلومات للتطبيقات المختلفة .

وتتضمن عملية الاستشعار التفاعل بين الأشعة الساقطة و الأهداف المقصودة ..، ومن أبسط الأمثلة في هذا المجال، استخدام أنظمة التصوير المختلفة (مع الإشارة إلى أن الاستشعار عن البعد يمكن أن يتم أيضاً بنوعيات أخرى من المستشعرات).

وهناك سبعة عناصر تتضمنها عملية استخدام أنظمة التصوير فى الاستشعار عن البعد، وهى :

١ـ مصدر الطاقة /الإضاءة (A):

مصدر لإضاءة المنطقة المستهدفة (A) أو بث طاقة كهرومغناطيسية في اتجاهها، هو أول العناصر التي يجب توافرها لتنفيذ عملية الاستشعار عن البعد.



٢.الغلاف الجوى (B):

خلال مسار الطاقة من مصدرها، فإنها تمر عبر الغلاف الجوى (B)، و تتفاعل مع الهدف... كما أنها قد تمر خلاله مرة أخرى أثناء مسارها (انعكاسها) من الهدف إلى جهاز الاستشعار.

٣. الهدف (المنطقة المستهدفة) (C):

بمجرد وصول الإشعاع إلى الهدف C ، فإنه يتفاعل معه، و يختلف أسلوب وطريقة التفاعل طبقا لطبيعة كلا من الهدف ونوعية الأشعة.

٤. تسجيل الطاقة (D):

بعد سقوط الأشعة على الهدف ، فإنها تتشتت أو تنعكس، حيث يتم التقاط هذه الأشعة (جمعها) بواسطة جهاز الاستشعار ، وقد يكون الهدف نفسه هو مصدر انبعاث هذه الأشعة التي تصل إلى جهاز الاستشعار الذي يقوم بتجميع و تسجيل هذا الإشعاع الكهرومغناطيسي.

٥. الإرسال والاستقبال ومعالجة البيانات (E):

الطاقة التي يقوم المستشعر بتسجيلها (E) يتم إرسالها (غالباً بصورة إلكترونية) للمحطة الأرضية التي تقوم باستقبال و معالجة البيانات و تحويلها إلى صور مرئية.

٦. تحليل واستنتاج المعلومات (F):

بعد الحصول على الصورة الناتجة، يجب أن يتم تحليلها للحصول على المعلومات المطلوبة عن المنطقة التي تم تصويرها.

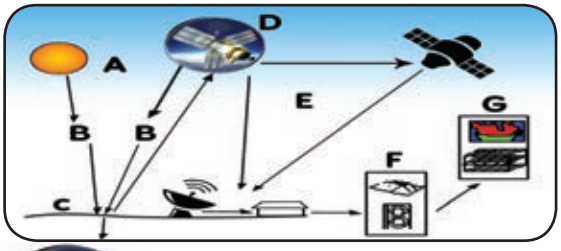
٧. التطبيقات (G):

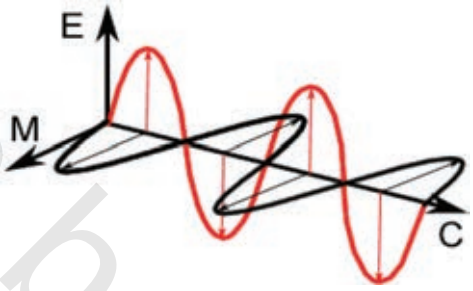
آخر مرحلة من عملية الاستشعار عن بعد، هي استخدام المعلومات التي تم الحصول عليها في فهم طبيعة المنطقة المستهدفة، أو اكتشاف بعض المعلومات الجديدة عنها، أو المساهمة في حل مشكلة معينة.

تلك هي العناصر السبعة لعملية الاستشعار عن بعد، من أول خطوة و حتى المرحلة الأخيرة.
و سوف نقوم في هذا الكتاب بتغطية هذه العناصر بشكل مفصل و بالترتيب.

٢.١ الإشعاع الكهرومغناطيسي:

مصدر الطاقة يمثل أول عنصر من عناصر الاستشعار عن بعد، حيث يقوم بإرسال الإشعاع للهدف (إلا إذا كانت الطاقة التي يتم استشعارها منبعثة من الهدف نفسه). وتكون هذه الطاقة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسي.

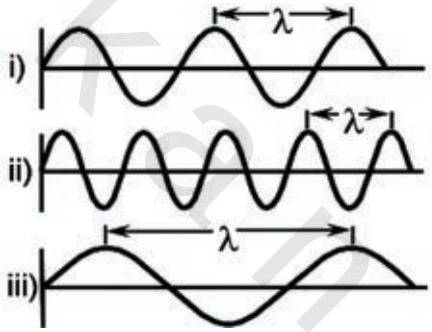




الإشعاع الكهرومغناطيسي بشكل عام لـه خصائص معروفة طبقا للنظرية الموجية، حيث إنه يتكون من مجالين، مجال كهربي (E)، و هو يختلف في مقداره و لكن اتجاهه عمودي على اتجاه حركة الأشعة نفسها، ومجال مغناطيسي (M) .

يكون اتجاهه عمودياً على اتجاه المجال الكهربي ، و سرعة كلا المجالين تساوي سرعة الضوء .

من أهم الخصائص التي يجب العلم بها لفهم عملية الاستشعار عن بعد، هما خاصيتا الطول الموجي و التردد:



الطول الموجي: هو طول دورة موجية واحدة، و يمثل المسافة بين قمتين موجيتين متتاليتين ، ويرمز لـه بالرمز (λ) ، ويقاس الطول الموجي بالمتر أو مشتقاته كالنانومتر (nm) ، ميكرومتر (μm)، ملليمتر (mm) ، سنتيمتر (cm) .

التردد: عدد الدورات الموجية التي تمر بنقطة محددة خلال وحدة زمنية واحدة، ويقاس التردد بالهرتز (Hz) ومضاعفاته ، ويكافئ الهرتز دورة موجية واحدة في الثانية .

هناك علاقة تربط بين الطول الموجي و التردد ..... $C = \upsilon * \lambda$

حيث إن (C) هي سرعة الضوء و تساوى (3×10^8 م/ث)

υ تمثل التردد (دورة / ث).

λ تمثل الطول الموجي (متر).

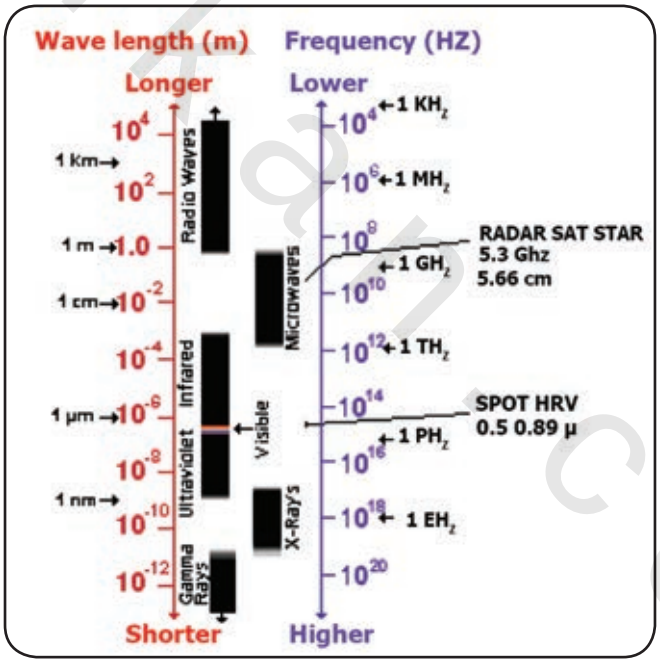
من هذه المعادلة يتضح أن العلاقة بين الطول الموجي و التردد هي علاقة عكسية، فكلمًا زاد الطول الموجي قل التردد، و العكس صحيح .

يجب فهم خواص الأشعة «الكهرومغناطيسية» عن طريق خاصيتي الطول الموجي و التردد، و ذلك لفهم المعلومات المستخرجة من بيانات الاستشعار عن بعد .

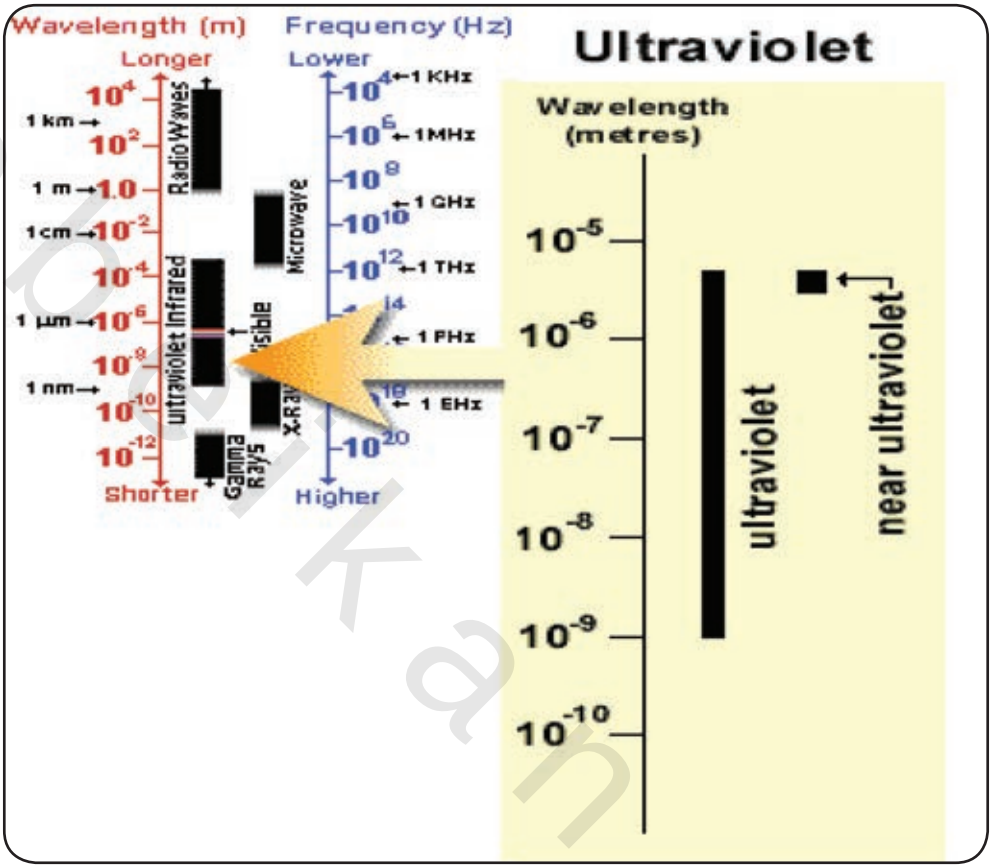
فيما يلي سوف نقوم بتصنيف الموجات الكهرومغناطيسية بناءً على تلك الخواص :

١-٣ الطيف الكهرومغناطيسي :

يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي من الأشعة ذات الأطوال الموجية القصيرة (مثل أشعة جاما و الأشعة السينية) إلى الأشعة ذات الأطوال الموجية الأكبر (مثل أشعة الميكروويف ، وموجات البث الإذاعي). هناك أكثر من نطاق في الطيف الكهرومغناطيسي مستخدم في مجال الاستشعار عن بعد .



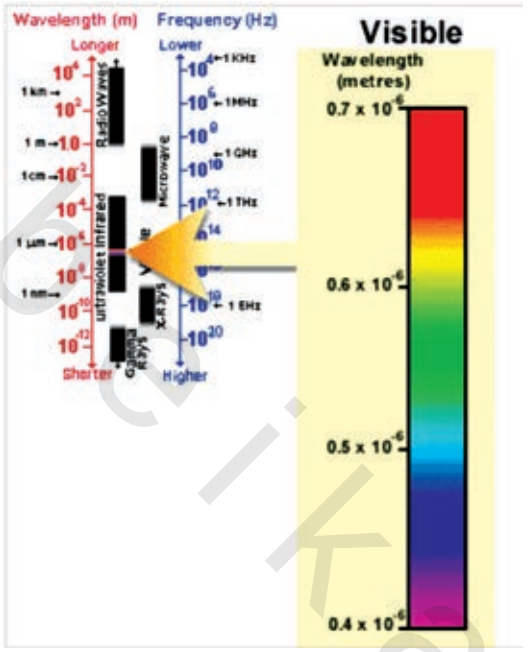
الأشعة فوق البنفسجية (UV) لها أقصر طول موجي فى الطيف الكهرومغناطيسى ، و هي ذات قيمة عملية في معظم أغراض الاستشعار عن بعد ، و تقع في النطاق التالي لنطاق اللون البنفسجي من الضوء المرئي مباشرة، وهناك بعض المواد الموجودة على سطح الأرض، مثل الصخور و المعادن ، تبث (تشع) ضوء مرئيا إذا ما تمت إضاءتها بالأشعة فوق البنفسجية .



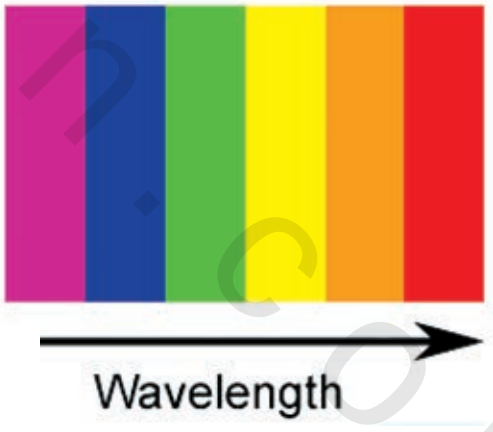
الضوء المرئي : هو الجزء الذي تستطيع أن تميزه أعيننا من الطيف الكهرومغناطيسي، ويمثل الضوء المرئي جزءا صغيراً جداً بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي بشكل عام .

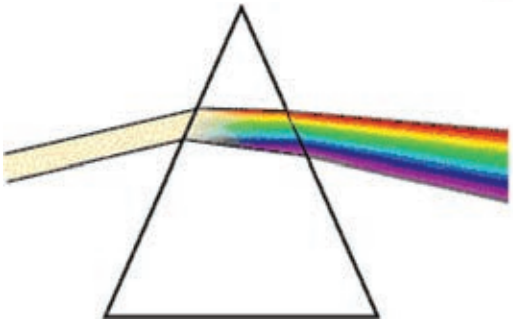
حيث يوجد حولنا الكثير من الإشعاعات غير المرئية يمكن استشعارها بواسطة أجهزة استشعار عن بعد ...

وتتراوح قيم الأطوال الموجية التي تقع في نطاق الضوء المرئي ما بين (٠,٤ ـ ٠,٧) ميكرومتر تقريباً، ويعتبر اللون الأحمر هو أطول طول موجي في الحيز المرئي، واللون البنفسجي هو أقصرها، فالضوء المرئي هو الجزء الوحيد في الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن أن نعبر عنه باستخدام الألوان .



البنفسجي: ٠,٤٠٠ - ٠,٤٤٦ ميكرومتر
الأزرق: ٠,٤٤٦ – ٠,٥ ميكرومتر
الأخضر: ٠,٥ – ٠,٥٧٨ ميكرومتر
الأصفر: ٠,٥٧٨ – ٠,٥٩٢ميكرومتر
البرتقالي: ٠,٥٩٢ – ٠,٦٢٠ ميكرومتر
الأحمر: ٠,٦٢٠ – ٠,٧ ميكرومتر

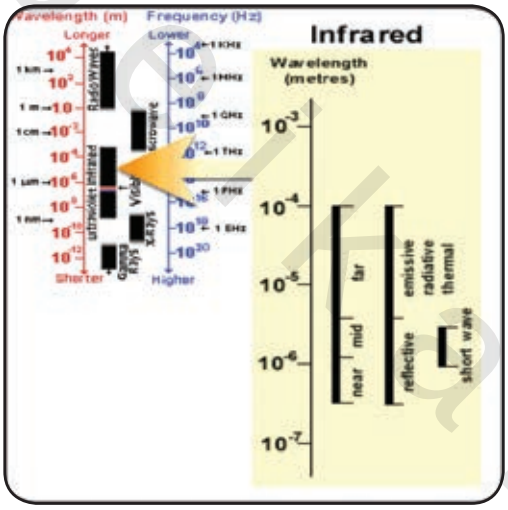




البنفسجي: ٠,٤٠٠ـ ٠,٤٤٦ ميكرومتر
الأزرق: ٠,٤٤٦ – ٠,٥ ميكرومتر
الأخضر: ٠,٥ – ٠,٥٧٨ ميكرومتر
الأصفر: ٠,٥٧٨ – ٠,٥٩٢ ميكرومتر
البرتقالي: ٠,٥٩٢ – ٠,٦٢٠ ميكرومتر
الأحمر: ٠,٦٢٠ – ٠,٧ ميكرومتر

الألـوان الأوليـة للطيف المرئي : وتتمثـل في «الأزرق و الأخضر و الأحمـر»، حيث إنه لا يمكن تكويـن أي لون منها من اللونين الآخرين، و لكن جميع الألوان الأخرى يمكن تكوينها من دمج الألوان الرئيسية الثلاثة بنسب مختلفة.

ورغم أننا نرى ضوء الشـمس كلون واحد متناسق، إلا أنه فى الحقيقة يتكون من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة، تتمثل في الأشعة فوق البنفسجية، و الضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء... الجزء المرئي من تلك الأشـعة يمكن رؤية مكوناته من الألوان إذا ما تم تمرير ضوء الشـمس خلال منشـور زجاجي، حيث يقوم بكسر أشعة الضـوء ممـا يـؤدي إلى خـروج الألـوان من الجهة الأخرى للمنشـور، كل منها بزاوية انحـراف مختلفـة حسـب طولهـا الموجـى، وبالتالي نستطيع رؤيتها متفرقة.



المنطقـــة التاليـــة مـن الطيـف الكهرومغناطيسـي الـتي لها أهميـة، هـي «منطقـة الأشـعة تحـت الحمـراء»، والتي تغطـي منطقة كبيرة مـن الأطوال الموجية، تمتد من ٠,٧ ميكرومتر إلـى ١٠٠ ميكرومـتر ، والـتي تعتبر أكثـر من مئة ضعف مساحة النطاق المرئي .

ويمكـن تقسـيم نطـاق الأشـعة تحـت الحمـراء إلى فئتـين طبقـاً لخواصها الإشـعاعية، همـا الأشـعة تحـت الحمـراء المنعكسـة، والأشـعة تحـت الحمـراء الحرارية (أو المنبعثة) .

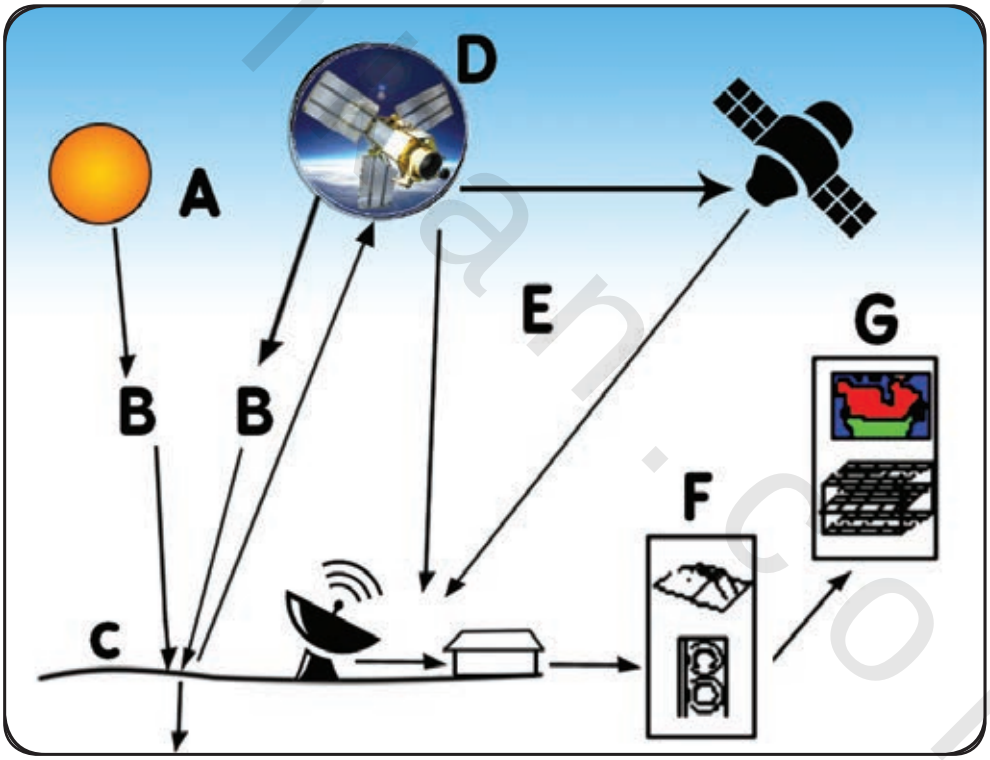
تسـتخدم الأشـعة تحت الحمراء المنعكسـة في أغراض الاستشـعار عن بعد بأسـاليب تماثل اسـتخدام الجـزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسـي، و تغطي الأطوال الموجيـة (من ٠,٧ – إلى ٣) ميكـرومتر.

الأشـعة تحت الحمراء الحرارية تختلف عن الأشـعة المرئية، والأشعة تحت الحمراء المنعكسة، فهـى تمثـل الطاقـة المنبعثة من سـطح الأرض على هيئة حـرارة، و تغطي منطقة الأطـوال الموجية من ٣ ميكـرومتر إلى ١٠٠ ميكـرومتر.

يوجد حيز آخر من الطيف بدأ مؤخراً يلقى الاهتمام في مجال الاستشعار عن بُعد هو «حيز أشعة الميكروويف»، و الذي يمتد من ١ ملليمتر إلى ١ متر. و يمثل أكبر أطوال موجية مستخدمة في الاستشعار عن بعد. و الأطوال الموجية القصيرة في هذا الحيز لها خواص قريبة من خواص الأشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما الأطوال الموجية الأطول لها خواص قريبة من موجات إذاعة الراديو .

١ – ٤ التفاعلات مع الغلاف الجوي:

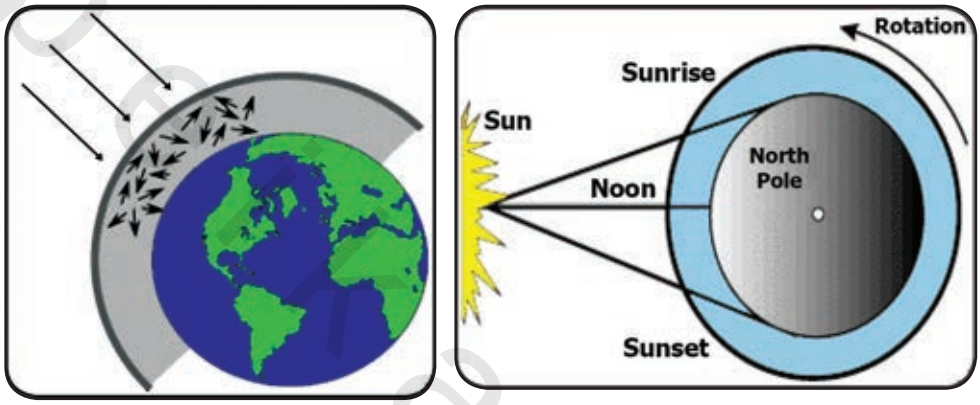
قبل أن تصل الأشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد إلى سطح الأرض ، فإنها تمر عبر الغلاف الجوي، الجسيمات و الغازات الموجودة بالغلاف الجوي يمكنها أن تؤثر على الضوء و الإشعاع القادمين من الخارج، هذه التأثيرات تحدث نتيجة خواص التشتت (Scattering) والامتصاص (absorption) .



التشتت (Scattering) يحدث عندما تصطدم الجسيمات و جزيئات الغاز الكبيرة الموجودة في الغلاف الجوي بالأشعة الكهرومغناطيسية، و تتسبب في انحرافها عن مسارها الأصلي .

يتوقف مقدار «التشتت» على عدة عوامل منها «الطول الموجي» للإشعاع، و كمية الجسيمات و الغازات الموجودة بالغلاف الجوي، و المسافة التي تقطعها الأشعة خلال الغلاف الجوي .

يوجد ثلاثة أنواع من التشتت تحدث، سوف نتكلم عن كل منها:



تشتت رايليه (Rayleigh Scattering): سمي باسم العالم البريطاني «جون ويليم رايليه» .

يحدث هذا النوع من التشتت عندما تكون الجسيمات الموجودة بالغلاف الجوي صغيرة جداً بالمقارنة مع الطول الموجي للإشعاع ، و هذه الجسيمات قد تكون ذرات من الغبار أو جزيئات أوكسجين و نيتروجين .

يؤثر تشتت رايليه على الأطوال الموجية القصيرة هذه أكثر من الطويلة ، و يعتبر هو أكثر أنواع التشتت تأثيراً في طبقات الغلاف الجوي العليا، بسبب هذه الظاهرة فإن «السماء» تظهر زرقاء أثناء النهار ، فعندما تمر أشعة الشمس خلال الغلاف الجوي، تتشتت الأطوال الموجية القصيرة للضوء المرئي (الطول الموجي للون الأزرق) أكثر من باقي الأطوال الموجية للضوء المرئي .

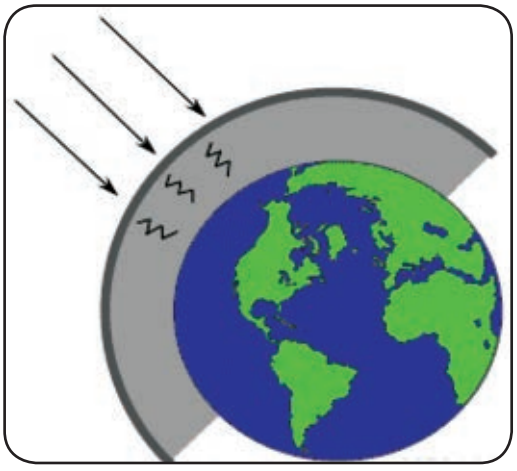
عند شروق الشمس و غروبها، فإن الضوء يقطع مسافة أكبر من تلك التي يقطعها في منتصف النهار، و بالتالي يكون التشتت للأطوال الموجية القصيرة تم بالكامل، و بالتالي جزء أكبر من الأطوال الموجية الأكبر يخترق الغلاف الجوي، و بالتالي يتغير لون السماء إلى لون مائل «للحمرة».

تشتت ماى (Scattering) Mie: سمي بذلك نسبة للعالم "جوستاف مای» يحدث عندما يكون حجم الجسيمات يساوي تقريبا حجم الطول الموجي للإشعاع، تعتبر المسببات الأساسية له هي جزيئات الغبار و الملوثات و الدخان و بخار الماء، و يؤثر بشكل أكبر في أطوال موجية أطول من تلك التي يؤثر فيها تشتت رايليه، و يحدث بشكل أكبر في الطبقات الدنيا من الغلاف الجوي، حيث تتواجد الجسيمات الكبيرة بكثرة، و يتضح تأثيره أكثر كلما كانت السماء ملبدة بالغيوم.

التشتت الغير انتقائي (Nonselective Scattering): و يحدث عندما تكون الجسيمات بالغلاف الجوي أكبر من الطول الموجي للإشعاع، و تتسبب في هذا النوع من الإشعاع قطرات الماء وجسيمات الغبار الكبيرة.

جاءت تسميته من كونه يؤثر على جميع الأطوال الموجية بشكل متساو تقريباً، هذا النوع من التشتت هو المسئول عن ظهور «الضباب و الغيوم» باللون الأبيض، و ذلك لأن الألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر يحدث لها تشتت بشكل متساو، مما يؤدي لظهور اللون الأبيض (أزرق + أخضر + أحمر = أبيض).

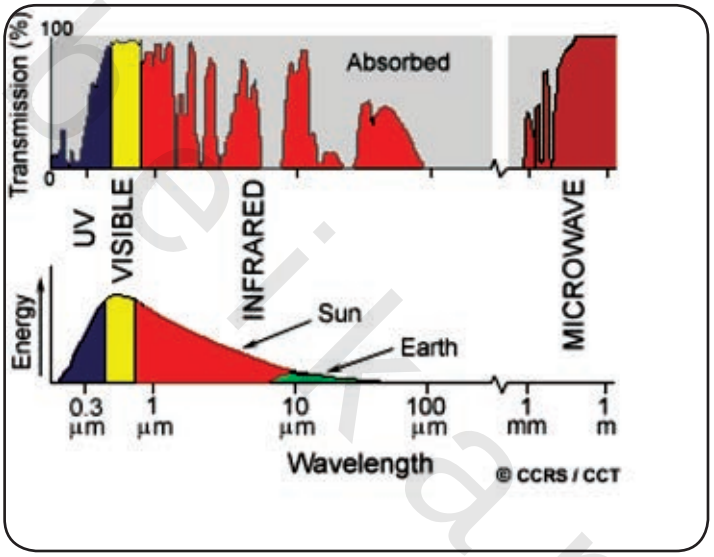
الإمتصاص "Absorption": هو الخاصية الرئيسية الثانية التي تؤثر على الموجات الكهرومغناطيسية في الغلاف الجوي.



وعلى عكس التشتت، فإن هذه الظاهرة تجعل الجزيئات في الغلاف الجوي تمتص الطاقة بمختلف أطوالها الموجية... ويعتبر «غاز الأوزون و ثاني أوكسيد الكربون و بخار الماء» هي أهم وأكثر مكونات الغلاف الجوي التي تمتص الإشعاعات.

«الأوزون» يقوم بامتصاص الجزء الضار من الأشعة فوق البنفسجية (الذي يؤثر على الكائنات الحية) القادمة من الشمس، فبدون هذه الطبقة الواقية في الغلاف الجوي سوف تحترق بشرتنا بمجرد تعرضها لأشعة الشمس.

«غاز ثاني أوكسيد الكربون» عادة ما يشار إليه بغاز الصوبات الزجاجية، وذلك لأنه يمتص الإشعاع خاصة في الجزء البعيد من نطاق الأشعة تحت الحمراء (الأشعة تحت الحمراء الحرارية)، مما يؤدي إلى احتباس تلك الحرارة داخل الغلاف الجوي و عدم تسربها للفضاء الخارجي .



«بخار الماء» الموجود بالغلاف الجوي يمتص معظم الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية الكبيرة، و كذلك أشعة الميكروويف ذات الأطوال الموجية القصيرة. ويختلف وجود بخار الماء في الطبقات الدنيا من الغلاف الجوي كثيراً من مكان لمكان وأيضاً باختلاف الوقت من السنة، فعلى سبيل المثال ، كتلة الهواء فوق «الصحراء» بها كمية بسيطة من بخار الماء الذي يمتص الطاقة ، بينما في المناطق «الاستوائية» يتركز بخار الماء بشكل كبير (مناطق عالية الرطوبة) .

لأن تلك الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية لمناطق معينة من الطيف، بالتالي فإننا لا نستطيع استخدام كل مناطق الطيف في عملية الاستشعار عن بعد.

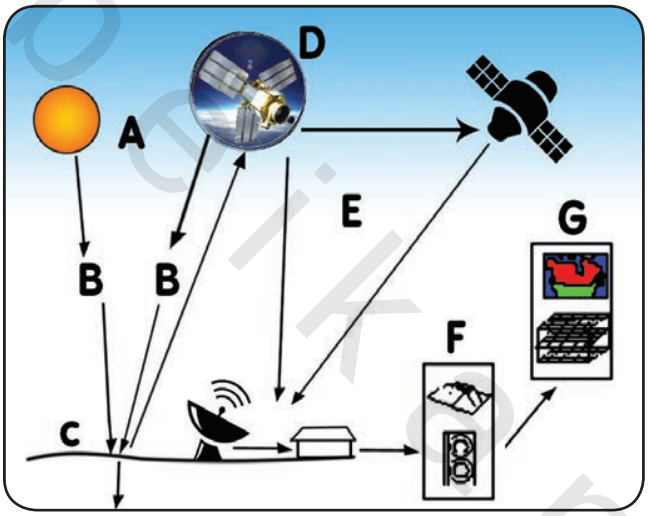
المناطق التي لا تؤثر فيها ظاهرة الامتصاص بشكل كبير ، هي التي تستخدم في الاستشعار عن بعد، و تسمى " نوافذ الغلاف الجوي"، و بمقارنة الخصائص الطبيعية لأهم مصدري طاقة، و هما الشمس و الأرض، بنوافذ الغلاف الجوي المتاحة لنا، نستطيع تحديد الأطوال الموجية الملائمة أكثر لعملية الاستشعار عن بعد .

فالجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي ، ملائم لطبيعة الغلاف الجوي، و أقصى مستويات طاقة الشمس، و الحرارة المنبعثة من الأرض ملائمة للطول الموجي الذي يساوي تقريباً ١٠ ميكرومتر في مجال طيف الأشعة تحت الحمراء الحرارية .

وبذلك نكون وصلنا لنهاية رحلة الطاقة الكهرومغناطيسية من مصدرها إلى سطح الأرض، سوف نتعرض فيما يلي لما يحدث لتلك الأشعة عندما تصل إلى سطح الأرض:

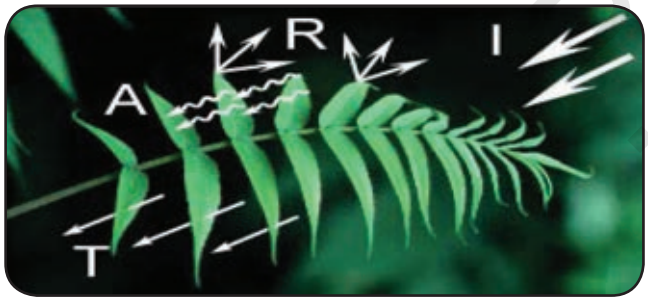
١ـ٥ تفاعل الإشعاع مع الهدف:

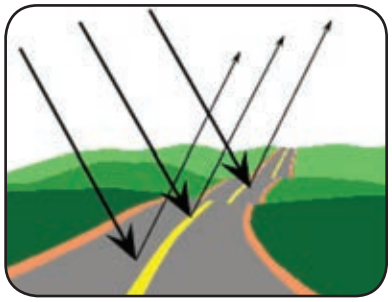
الإشعاع الذي لم يمتص أو يتشتت يستطيع الوصول لسطح الأرض، توجد ثلاث صور من التفاعلات تحدث بين الإشعاع الساقط (I) و الهدف، و هي: الامتصاص (A) ، الانتقال (T)، و الانعكاس (R)، كل الأشعة الساقطة تتفاعل مع السطح الذي سقطت عليه بواحدة أو أكثر من تلك الصور، نسبة حدوث كل واحدة منها تعتمد على الطول الموجي للأشعة الساقطة و نوع المادة التي سقط عليها الإشعاع و الظروف المحيطة .

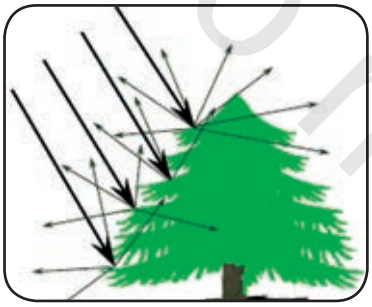


الامتصاص (A) يحدث عندما يمتص الهدف الأشعة (الطاقة) الساقطة عليه، ويحدث الانتقال (T) عندما يمر الإشعاع الساقط خلال الهدف، ويحدث الانعكاس (R) عندما يرتد الإشعاع الساقط عن الهدف و يغير اتجاهه، في مجال الاستشعار عن بعد، نهتم أكثر بقياس الأشعة المنعكسة عن الهدف .

يوجد نوعان من الانعكاس هنا، الانعكاس المنتظم (انعكاس شبيه بالمرآة)، و الانعكاس العشوائي.



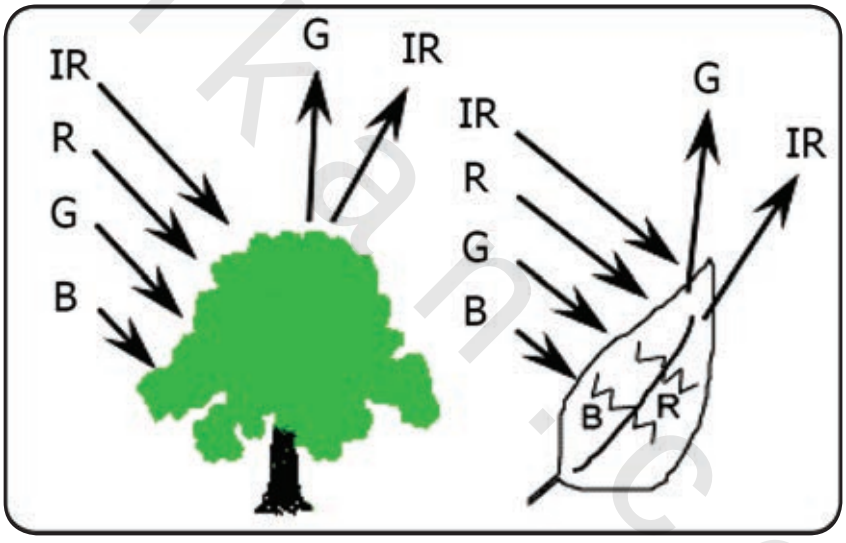




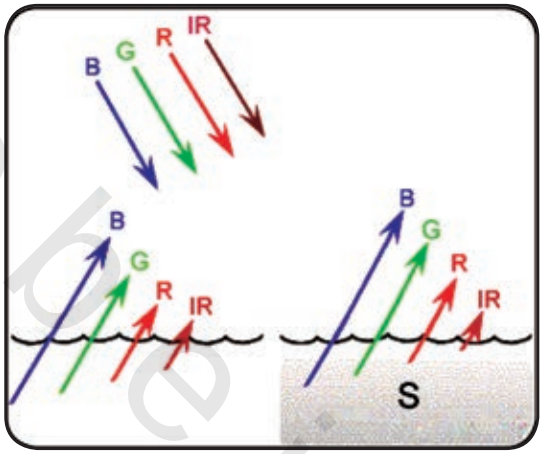
عندما يكون السطح ناعماً (منتظماً) ، نحصل على انعكاس منتظم، و الذي تكون فيه معظم الطاقة المنعكسة عن السطح موجهة إلى اتجاه واحد فقط .

عندما يكون السطح خشناً (غير منتظم)، تتجه الأشعة المنعكسة تقريباً في كل الاتجاهات بشكل متساو، معظم ظواهر سطح الأرض تتراوح بين السطح المنتظم تماماً وغير منتظم تماماً، و ذلك يعتمد على وعورة السطح و الطول الموجي للإشعاع القادم. فإذا كانت الأطوال الموجية للإشعاع أصغر من تفاصيل السطح أو الأجزاء المكونة له، فإن الانعكاس غير المنتظم سيكون هو الأكثر ظهوراً، مثال على ذلك ، الرمال ذات الحبيبات الناعمة سوف تظهر كسطح ناعم متساوي بالنسبة للأطوال الموجية الطويلة لأشعة الميكروويف ، و لكنها ستظهر بشكل أقل انتظاماً و نعومة بالنسبة للأطوال الموجية للضوء المرئي .

فيما يلي سنعرض مثالين للأهداف الموجودة على سطح الأرض ، و كيف تتفاعل معها الطاقة الخاصة بالأطوال الموجية للضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء:



أوراق الشجر: تمتص مادة «الكلوروفيل الكيميائية» الموجودة بأوراق الشجر إشعاع اللونين الأحمر و الأزرق بقوة و لكنها تعكس الأطوال الموجية للون الأخضر، و بالتالي تظهر أوراق الشجر شديدة الخضرة في فصل الصيف حيث تكون مادة الكلوروفيل آنذاك في أقصى قيمة لها، أما في فصل الخريف، فتقل مادة الكلوروفيل بالأوراق، و بالتالي يقل امتصاص اللون الأحمر و تزيد كمية اللون المنعكسة، فتظهر الأوراق حمراء أو صفراء (الأصفر هو خليط من اللونين الأحمر و الأخضر) . كما أن التكوين الداخلي لورقة الشجر السليمة، يعمل كسطح عاكس غير منتظم تماماً ، و ذلك للأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء القريبة، فلو كانت أعيننا تستطيع الإحساس بها ، كانت ستبدو الأشجار ساطعة جداً بالنسبة لنا عند تلك الأطوال الموجية، و بالتالي يستخدم العلماء تلك الأشعة لمعرفة إذا كانت الأشجار سليمة أم لا.



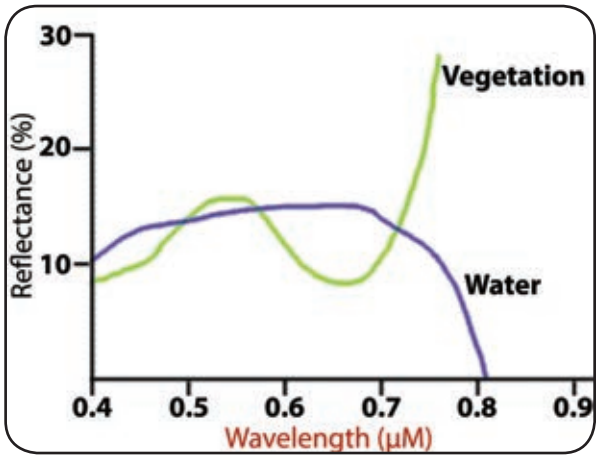
المياه: تمتص المياه الأطوال الموجية الكبيرة في حيزي الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة بدرجة أكثر من امتصاصها للأطوال الموجية القصيرة في حيز الضوء المرئي .

لذلك تظهر المسطحات المائية «بلون أزرق أو لون أزرق مائل للخضرة»، نتيجة الانعكاس القوي لتلك الأطوال الموجية القصيرة، و تظهر بلون «داكن» إذا استخدمنا اللون الأحمر أو الأشعة تحت الحمراء لرؤيتها، أما إذا كانت هناك بعض الرواسب العالقة في الطبقات العليا للماء، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الانعكاس و ظهور الماء بشكل أكثر سطوعاً.

وجود الرواسب العالقة (S) يمكن أن يؤدي إلى تشابه و اختلاط بينها و بين المسطحات المائية الضحلة و لكنها نقية، و ذلك نظراً للتشابه الكبير بين تلك الظاهرتين، كما أن وجود مادة الكلوروفيل في الطحالب البحرية يؤدى إلى امتصاص الأطوال الموجية للون الأزرق ، و يعكس اللون الأخضر ، مما يجعل المياه تظهر باللون الأخضر عند وجود الطحالب، بالتالي فإن أي تغيير في سطح المياه يؤثر على اللون المنعكس عنها .

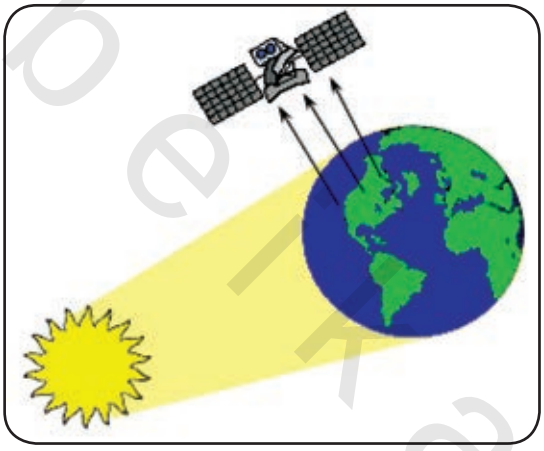
مما سبق نستنتج أن الاستجابة للإشعاعات تختلف حسب تكوين الهدف المراد تصويره ، والأطوال الموجية المستخدمة .

يمكن تحديد الاستجابة الطيفية لمعظم الأهداف على سطح الأرض عن طريق قياس الطاقة المنعكسة أو المنبعثة منها عند استخدام أطوال موجية مختلفة . ويمكن التمييز بين الأهداف المختلفة عن طريق مقارنة أنماط الاستجابة الخاصة بها، و لكن قد لا نستطيع التمييز بينها إذا استخدمنا طولاً موجياً واحداً. فعلى سبيل المثال، المسطحات المائية و المزروعات قد تتشابه عند استخدام الضوء المرئي، و لكن دائماً يمكن التمييز بينهما عند استخدام الأشعة تحت الحمراء .

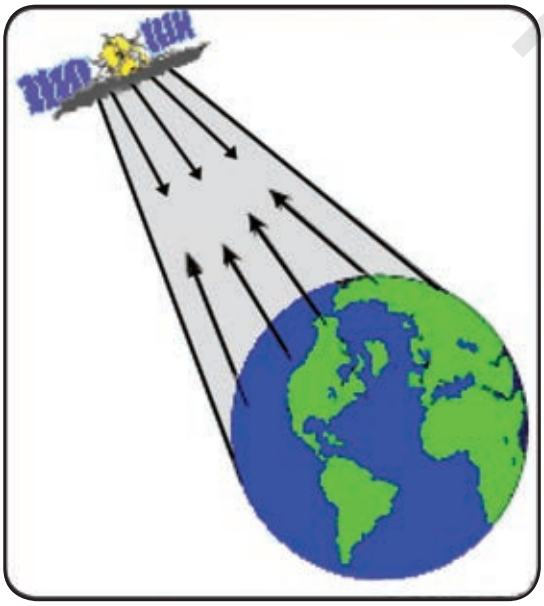


ولكن ذلك لا يعني أن الاستجابة الطيفية ثابتة دائماً لنفس الهدف ، فهي تختلف باختلاف الوقت (كدرجة خضرة أوراق الأشجار) و المكان، و لذلك فإن فهم العوامل المؤثرة على الاستجابة الطيفية ، و كذلك معرفة أي جزء من الطيف يجب استخدامه، ضروريتان للفهم الصحيح لتفاعلات الأشعة الكهرومغناطيسية مع الأسطح .

١ – ٦ الاستشعار السلبي و الإيجابي:



ذكرنا أكثر من مرة خلال هذا الفصل أن «الشمس» هي مصدر الطاقة و الإشعاع، حيث تمدنا الشمس بمصدر طاقة ملائم جداً لعملية الاستشعار عن بعد، فطاقة الشمس إما أن تنعكس كما يحدث مع الأطوال الموجية للضوء المرئي ، أو تمتص و يعاد انبعاثها من جديد، كما يحدث مع الأشعة تحت الحمراء الحرارية .



أنظمة الاستشعار عن بعد التي تقيس الطاقة الموجودة طبيعياً تسمي "مستشعرات سلبية"، ويمكنها فقط قياس الطاقة الموجودة بالفعل ، و بالتالي لا يمكن استخدامها إلا في الوقت الذي تضئ فيه الشمس الأرض، لأنه لا توجد طاقة منعكسة عن سطح الأرض أثناء الليل، أما الطاقة المنبعثة بشكل طبيعي من الأرض (مثل الأشعة تحت الحمراء الحرارية) ، فيمكن استشعارها نهاراً أو ليلاً، طالما كانت كمية الطاقة المنبعثة كبيرة بما يكفي لاستشعارها وتسجيلها .

على الجانب الآخر يوجد نوع ثان من المستشعرات و هو «المستشعرات الإيجابية»، و التي تمتلك مصدر الطاقة الخاص بها . يقوم المستشعر بإرسال الطاقة باتجاه الهدف المراد استكشافه، ثم يقوم باستشعار و قياس الطاقة المنعكسة عن الهدف، من مميزات استخدام هذا النوع من المستشعرات،

القدرة على استخدامه في أي وقت بغض النظر عمَّا إذا كان الوقت نهاراً أو فصلاً معيناً من فصول السنة، و كذلك استشعار بعض الأطوال الموجية التي لا توفرها الشمس بكفاءة كبيرة مثل «أشعة الميكروويف»، و كذلك التحكم بشكل أكبر في الطريقة التي يضاء بها الهدف، ولكن المستشعرات الإيجابية تحتاج أن تولد كمية كبيرة من الطاقة الملائمة لإضاءة الأهداف المراد تصويرها .

١ـ٧ خصائص الصور :

قبل أن ننتقل للفصل التالي، و الذي يتعرض بالتفصيل للمستشعرات و خصائصها ، يجب أن نفهم بعض المصطلحات و المفاهيم الأساسية المرتبطة بصور الاستشعار عن بعد .

الطاقة الكهرومغناطيسية يمكن استشعارها عن طريق التصوير الفوتوغرافي أو استشعارها إلكترونياً .

عملية التصوير الفوتوغرافي تستخدم تفاعلات كيميائية على سطح فيلم حساس للضوء لتسجيل التغيرات في الطاقة .

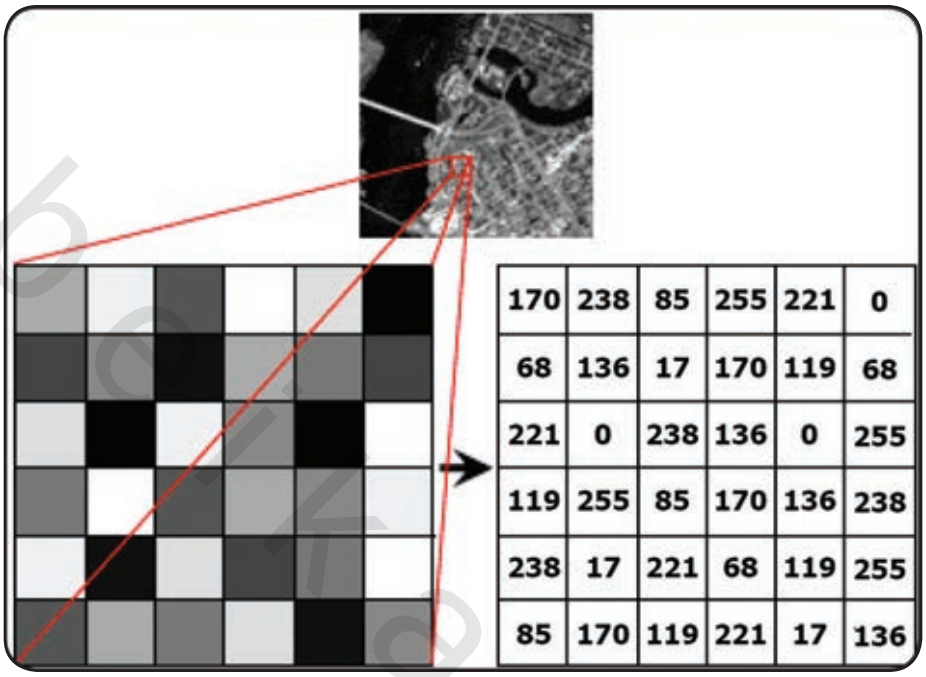
يجب التمييز بين مصطلح «صورة» (Image) و مصطلح "صورة فوتوغرافية" (Photograph) في مجال الاستشعار عن بعد .

الصور (Images): تدل على أي تمثيل صوري ، بغض النظر عن الأطوال الموجية أو أجهزة الاستشعار عن بعد المستخدمة لاستشعار و تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية .

الصور الفوتوغرافية (Photographs): تستخدم بشكل خاص للدلالة على الصور التي تسجل على فيلم فوتوغرافي.

الصورة الموجودة بالأعلى هي صورة باللونين «الأبيض و الأسود» لمدينة «أوتاوا بكندا» ، تم التقاطها في المجال المرئي للطيف، في حزمة الأطوال الموجية من ٠,٣ ميكرومتر إلى ٠,٩ ميكرومتر .

بناءً على التعريفات السابقة ، يمكننا القول : بأن كل الصور الفوتوغرافية هي صور، ولكن ليست كل الصور هي صور فوتوغرافية. و لذلك سوف نستخدم مصطلح صورة (Image) دائماً ما لم يذكر غير ذلك .



يمكن كذلك تمثيل الصور الفوتوغرافية رقمياً عن طريق تقسيم الصورة إلى أجزاء صغيرة متساوية في المساحة، تسمى عناصر الصورة أو «البكسل» (Pixels)، و تمثل شدة اللون وسطوعه لكل جزء من أجزاء الصورة ، و تعبر عنها بقيمة عددية. و هو ما يمثله الشكل بالأعلى.

باستخدام التعريفات السابقة ، فإن تلك الصورة هي صورة رقمية للصورة الفوتوغرافية الأصلية، فيتم عمل مسح ضوئي للصورة، ثم تقسم إلى أجزاء صغيرة (Pixels)، و يكون لكل «بكسل» قيمة عددية تمثل شدة اللون، ويقوم «الكمبيوتر» بتمثيل كل رقم كدرجة لونية محددة.

المستشعرات التي تقوم بتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية، تسجل الطاقة على شكل مصفوفة من الأرقام .

وبذلك فإنه توجد طريقتان لتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية، إمًا عن طريق تمثيلها على هيئة صورة، أو تمثيلها رقمياً، و يتم استخدام الطريقتين بالتبادل مع بعضهما .

في الجزء السابق ، تكلمنا عن الجزء المرئي من الطيف، و الألوان . و تستطيع أعيننا تمييز الألوان، لأن بإمكانها تمييز كافة الأطوال الموجية للضوء المرئي، و تقوم عقولنا بمعالجة تلك المعلومات لنتمكن من رؤية الألوان المختلفة.

هل يمكننا تخيل شكل العالم لو كانت أعيننا تميز قدراً صغيراً من الأطوال الموجية فقط؟ ذلك هو حال الكثير من المستشعرات، فإن المعلومات التي يتم الحصول عليها باستخدام نطاق صغير من الأطوال الموجية، يتم تخزينها في قناة أو نطاق (Channels or Bands) . و نقوم بدمج عدة قنوات معاً ، ممثلين في الألوان الثلاثة الأساسية (الأزرق ، الأخضر ، الأحمر)، و كل قناة تمثل أحد الألوان الأساسية، و القيمة الرقمية لكل «بكسل» تمثل شدة اللون و سطوعه، وبالتالي نحصل على صورة ملونة .

عندما نستخدم الطريقة السابقة ، لتمثيل قناة واحدة ، فإننا نكون في الحقيقة نمثل هذه القناة عبر الألوان الأساسية الثلاثة، و لأن شدة اللون لكل بكسل ستكون واحدة في الألوان الثلاثة، فبالتالي نحصل على صورة من تدرجات اللون الرمادي من اللون الأسود و حتى الأبيض .

الفصل الثاني

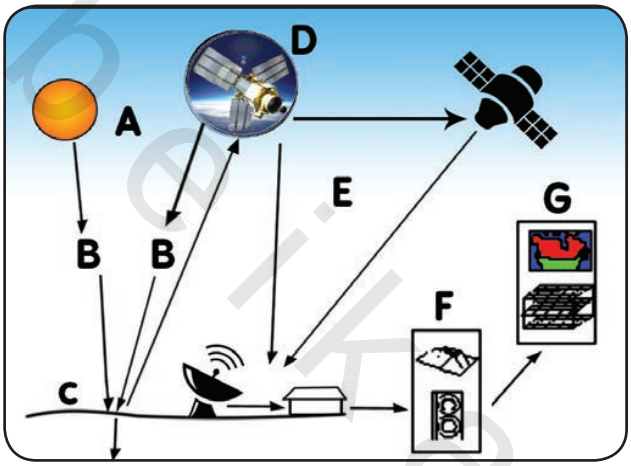
الأقمار الصناعية والمستشعرات

obeikan.com

obeikan.com

٢-١ المستشعرات

في الفصل الأول تم تناول بعض المفاهيم الأساسية، الضرورية لفهم عملية الاستشعار عن بعد، وتعرضنا بالتفصيل للعناصر الثلاثة الأساسية (مصدر الطاقة- تفاعل الطاقة مع الغلاف الجوي- تفاعل الطاقة مع الهدف)....كما تم التعرض لرابع عنصر، وهو تسجيل الطاقة بواسطة المستشعر (جهاز الاستشعار) من خلال تناول أسلوب عمل المستشعرات الإيجابية والسلبية، وكذا خصائص الصور.



في هذا الفصل سوف نتناول مكونات عملية الاستشعار عن بعد من خلال الدراسة التفصيلية لخصائص منصات الحمل.. والمستشعرات (أجهزة الاستشعار عن بعد).. وكذا البيانات التي تقوم بجمعها مع التعرض بإيجاز لكيفية معالجة تلك البيانات، بعد أن يقوم المستشعر بتسجيلها.

كي يتمكن المستشعر (جهاز الاستشعار) من تجميع وتسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الهدف يجب أن يكون مجهزاً على منصة ثابتة تبعد عن الهدف (السطح المطلوب مراقبته).. قد تكون تلك المنصة تجهيزه أرضية.. أو طائرة .. أو منطاد (أي منصة داخل الغلاف الجوي) ...أو مركبة فضائية/ قمر صناعي للاستشعار من خارج الغلاف الجوي (outside of the Earth's atmosphere).

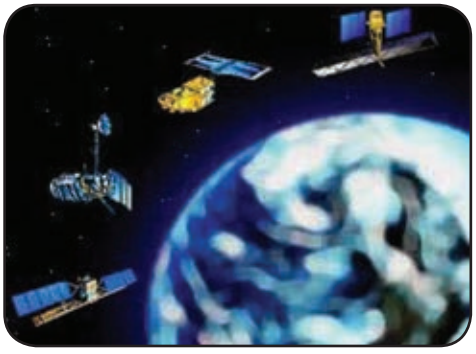
مستشعرات أرضية :

عـادة يـتم تجهيزها على أبراج أو مبان عالية ، و تسـتخدم لجمع معلومات تفصيلية عن الهدف لتتـم مقارنتها بالمعلومات التي يتم الحصول عليها بواسـطة أجهزة الاستشـعار الجوية أو الفضائية، في بعض الحالات ، يتم اسـتخدامها لوصف الأهداف التي تم تصويرها بواسطة أجهزة استشعار أخرى، و ذلك لاستنتاج معلومات أكثر دقة من الصور الملتقطة .

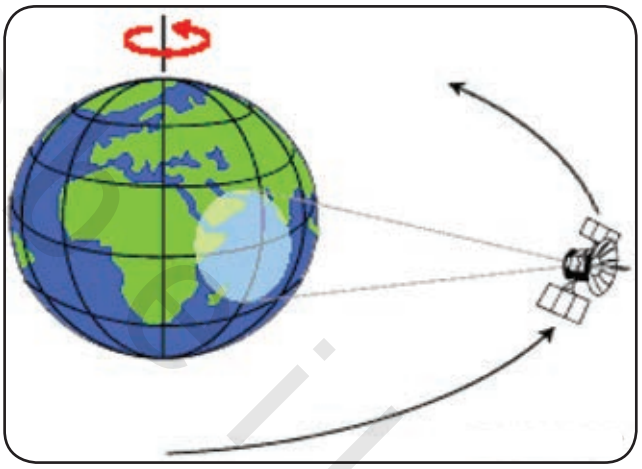
مستشـعرات محمولـة جواً: يـتم تجهيزها على طائـرات ذات أجنحـة / طائرات مروحيـة /طائرات موجهة بدون طيار لجمع تفاصيل دقيقة ، و تسهيل مهمة جمع البيانات عن أي منطقة على سطح الأرض في أي وقت .

مستشعرات محمولة على مركبات فضائية / أقمار صناعية:

وتسـتخدم لتنفيـذ عمليـة الاستشـعار مـن خـارج الغـلاف الجـوى (outside of the Earth atmosphere) ، وتعتـبر الأقمـار الصناعيـة الأكثـر شـيوعاً في هذا المجـال .. ويمكن تعريف الأقمار الصناعية بأنها أجسـام تدور حول أجسام أخرى، و في حالتنا فإنها تدور حول الأرض،حيث يتم إطلاقها لأغراض مختلفة ، مثل الاستشعار عن بعد، و الاتصالات، و تحديد المواقع و الملاحة . وتدور الأقمـار الصناعيـة في مـدارات حـول الأرض ، و بالتالي فهي تسـمح بوجود تغطية مستمرة لسطح الأرض.



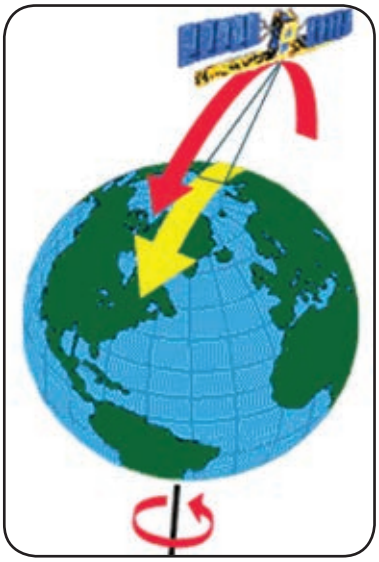
٢-٢ خصائص الأقمار الصناعية.. مداراتها ونطاق تغطيتها:



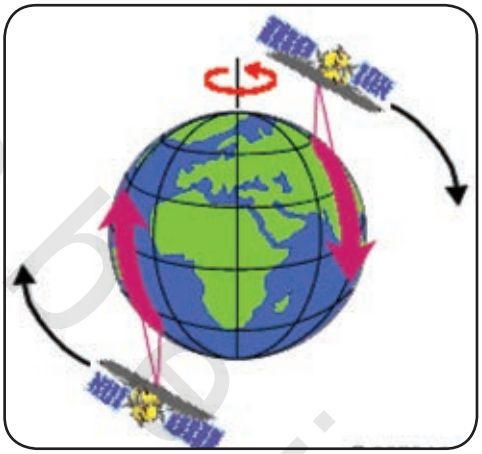
المدارات : هى المسارات التي تدور فيها الأقمار حول الأرض، ويتم تصميم مدارات الأقمار بما يتناسب وقدرات المستشعرات المجهزة بها والغرض منها.. وتختلف المدارات من حيث ارتفاعاتها عن سطح الأرض (altitude) وتوجيهها ودورانها بالنسبة للأرض .

المدرات الجغرافية الثابتة (GEO) :

مدارات على ارتفاع عالياً جداً (تقريباً ٣٦٠٠٠ كم عن سطح الأرض) «والأقمار الموجودة» بتلك المدارات تدور بسرعة تساوي تقريباً سرعة «دوران الأرض»، و بالتالي تبدو كأنها ثابتة بالنسبة لسطح الأرض، بمايتيح لها أن تراقب مناطق معينة بشكل مستمر....وتعمل أقمار الطقس و الاتصالات عادة بتلك المدارات . ونظراً لارتفاعاتها العالية، فإن بعض أقمار الطقس تتمكن من ملاحظة التغيرات في السحب والغيوم لنصف الكرة الأرضية كاملاً .

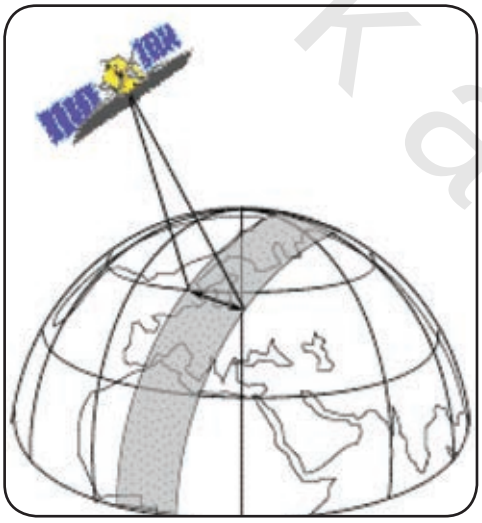


معظم الأقمار المجهزة للاستشعار عن بعد يتم تصميمها لتتخذ مدارات من الشمال للجنوب (north ـ south) بالتزامن مع اتجاه دوران الأرض من الغرب إلى الشرق (west ـ east)، مما يسمح لها بتغطية معظم سطح الأرض خلال فترة زمنية محددة، وهذه المدارات تعرف بالمدارات القطبية (near polar orbits)، وقد سميت بذلك نظراً لميل المدار بالنسبة للخط الواصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي، والعديد من تلك المدارات متزامنة مع الشمس، أي أنها تغطي أي منطقة من العالم في فترة النهار (الخاصة بتلك المنطقة، فيما يعرف باسم توقيت الشمس المحلي، ويكون وضع الشمس في السماء عند مرور القمر الصناعي ، ثابتاً بالنسبة لذلك الفصل من السنة ، و ذلك عند أي ارتفاع محدد ، مما يضمن ظروف إضاءة ثابتة ، عند التقاط الصورفي فصل معين على مدار سنوات متتالية ، أو عند مراقبة منطقة معينة لعدة أيام، ويعتبر ذلك عاملاً مهماً عند



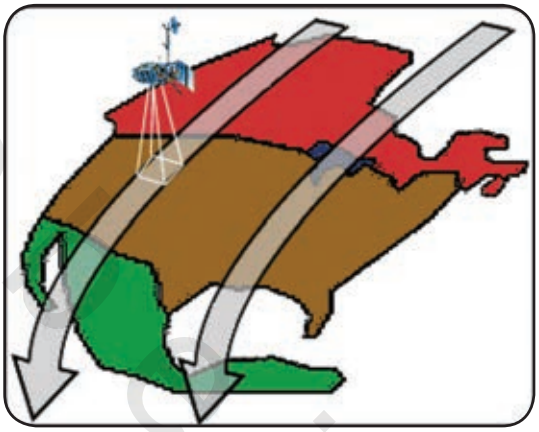
المقارنة بين الصور لرصد التغيرات ، أو عند تجميع عدة صور لمناطق متجاورة لتكوين صورة واحدة أكبر ، ففي تلك الحالة لن نحتاج لتصحيح ظروف الإضاءة للصورة .

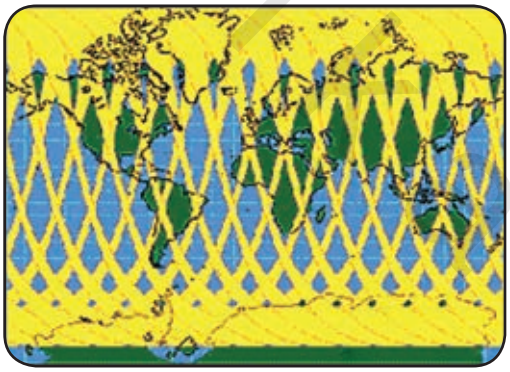
معظم الأقمار الصناعية حالياً توجد في المدارات القطبية، مما يعني أن القمر الصناعي يتحرك شمالاً بطول جانب واحد من الأرض، ويطلق على هذا التحرك «المسار الصاعد» (ascending pass)، ثم يتحرك باتجاه الجنوب في النصف الثاني من مداره فيما يعرف «بالمسار الهابط» (descending pass) . وإذا كان المدار أيضاً متزامناً مع الشمس ، فإن المرور الصاعد يكون في الغالب في النصف المظلم من الأرض، و المرور النازل في الجزء المضاء من الأرض ، المستشعرات التي تعتمد على ضوء الشمس المنعكس من الأرض (مستشعرات سلبية) ، تقوم بتصوير سطح الأرض في أثناء مرورها نزولاً فقط، عندما تكون الإضاءة الشمسية متوافرة...أما المستشعرات الإيجابية، التي تقوم ببث إشعاع أو المستشعرات السلبية التي تسجل الإشعاع (الحراري) المنبعث من سطح الأرض، وتستطيع التصوير أثناء مرورها صعوداً.



عند دوران القمر الصناعي حول الأرض، فإن جهاز الاستشعار يرى جزء محدد من سطح الأرض و هو الجزء المراد تصويره، و نعبر عنه بمصطلح «الرقعة/الشريحة» (Swath) ويتراوح اتساع الشريحة بين عشرات ومئات الكيلومترات .

وبما أن "القمر" يتحرك فى مدار من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، و بما أن "الأرض" تدور من الغرب إلى الشرق ، فإن القمر يظهر و كأنه تحدث له إزاحة باتجاه الغرب عند مشاهدته من سطح الأرض، وهذه الحركة تسمح للقمر بتغطية مساحة جديدة مع كل مرور له، فمدار القمر وحركة الأرض معاً، يسمحان للقمر بتغطية سطح الأرض بالكامل، بعدما يكمل دورة مدارية كاملة .





ويمكن توضيح مفهوم الدورة المدارية للقمر باختيار أي مسار في مدار القمر، وتحديد نقطة على سطح الأرض كبداية فإن القمر يكمل دورته المدارية عندما يعيد مساره ماراً بنفس النقطة المحددة ـ على سطح الأرض، بحيث تكون تحت القمر مباشرة في اتجاه عمودي منه إلى سطح الأرض، و تسمى تلك النقطة (Nadir point) .

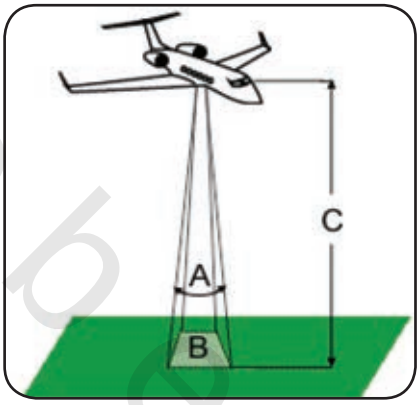
و يجب ملاحظة أن الفترة التي يستغرقها القمر ليكمل دورة مدارية، قد تختلف عن «زمن إعادة الزيارة» (Revisit Period)، فعند استخدام أجهزة استشعار قابلة للتوجيه، يستطيع القمر أن يرى مساحة من الأرض قبل و بعد المرور بالهدف، و بالتالي يكون زمن إعادة الزيارة أصغر من الفترة المدارية للقمر .

زمن إعادة الزيارة يعتبر عنصراً هاماً لعدة تطبيقات ، خاصة عندما يتطلب الأمر تصوير منطقة عدة مرات، مثل مراقبة انتشار بقعة بترول، أو متابعة انتشار فيضان .

في المدارات القطبية، المناطق التي تقع على ارتفاعات أكبر يتم تصويرها بشكل أكبر من المناطق الاستوائية، و ذلك نتيجة تقاطع الشرائح المتجاورة التي يتم تصويرها، حيث إن المدارات تقترب من بعضها عند الأقطاب .

٢ـ٣ الدقة المكانية، وحجم البكسل ، والمقياس:

في بعض أجهزة الاستشعار ، تلعب المسافة بين الهدف المراد تصويره ومنصة الاستشعار دوراً هاماً في تحديد التفاصيل التي يمكن الحصول عليها ، و كذلك المساحة الكلية التي يمكن تصويرها، المستشعرات التي تكون على مسافة كبيرة من الأرض ، تستطيع أن ترصد مساحة كبيرة من الأرض، و لكنها بتفاصيل أقل ، قارن بين ما يستطيع رائد الفضاء رؤيته من على متن مركبته الفضائية، بما تستطيع أنت رؤيته من على متن طائرة ستجد أن «رائد الفضاء» قد يرى دولة بأكملها بنظرة واحدة، و لكنه لا يستطيع تمييز المنازل مثلاً، و لكن إذا سافرت على متن طائرة ، فإنك تستطيع تمييز المباني و السيارات، و لكن المساحة التي تستطيع رؤيتها ستكون أقل بكثير ، وهذا هو الفرق بين صور الأقمار الصناعية و التصوير الجوي .



التفاصيل التي يمكن تمييزها في صورة ما تعتمد على ما يسمى بالدقة المكانية (Spatial Resolution)، وتشير إلى حجم أصغر عنصر يمكن تمييزه في الصورة، الدقة المكانية للمستشعرات السلبية تعتمد على مجال الرؤية عند لحظة معينة، و تسمى مجال الرؤية اللحظي (Instantaneous Field Of View - IFOV)، و يعبر عنه المخروط الذي يمثل مجال رؤية المستشعر (A) و يحدد المساحة على سطح الأرض (B) التي يمكن رؤيتها من ارتفاع معين في تلك اللحظة. يتم حساب مساحة تلك المنطقة على سطح الأرض عن طريق المعادلة : IFOV * C حيث C تمثل المسافة من الأرض لجهاز الاستشعار، و IFOV هو مجال الرؤية اللحظي.

تسمى هذه المساحة «بوحدة الدقة» (Resolution Cell)، و تحدد أقصى دقة مكانية للمستشعر، و لذلك يجب أن يكون حجم الهدف المراد تصويره مساوياً لحجم وحدة الدقة أو أكبر منه. أما إذا كان حجمه أصغر من وحدة الدقة، فقد يكون من الصعب تمييزه.

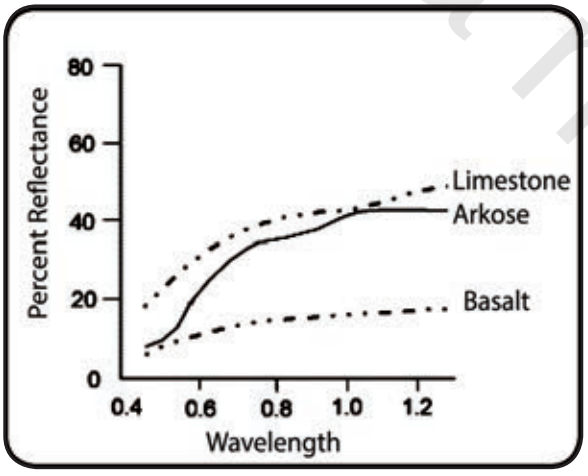
كما ذكرنا في الفصل الأول، فإن معظم صور الاستشعار عن بعد تتكون من مصفوفة من عناصر الصورة أو "البكسل"، و هي أصغر وحدة تتكون منها الصورة. و تكون البكسل على شكل مربع و تمثل مساحة معينة من الصورة، و يجب ملاحظة أن مصطلح حجم البكسل (Pixel Size) يختلف عن مصطلح الدقة المكانية (Spatial resolution). فعلى سبيل المثال، إذا كانت الدقة المكانية لمستشعر ما هي ٢٠ مترا، و تم عرض الصورة الملتقطة بواسطته بدقتها الكاملة، فسوف تكون كل بكسل في الصورة تعبر عن مساحة ٢٠م ×٢٠م على الأرض، وبالتالي في هذه الحالة فإن حجم البكسل و الدقة المكانية يمثلان نفس القيمة، أما في حالات أخرى، فيمكن أن يتم عرض الصورة بحجم بكسل مختلف عن الدقة.

الصور التي لا نستطيع منها أن نميز سوى الأهداف الكبيرة، يقال إنها صور رديئة أو ذات دقة منخفضة (low resolution)، أما الصور التي تمكننا من تمييز تفاصيل صغيرة فيقال إنها صور جيدة أو ذات دقة عالية (high resolution). فعلى سبيل المثال، أجهزة الاستشعار المستخدمة في أغراض عسكرية يتم تصميمها بحيث تعرض أكبر قدر ممكن من التفاصيل ، و بالتالي فإنها ذات دقة عالية جداً (تصل إلى عشرات السنتيمترات) . أما "الأقمار الصناعية التجارية" ، فإن لها دقة تتراوح بين عدة أمتار (حالياً تصل إلى "١" متر) إلى عدة كيلومترات ، و بشكل عام ، كلما زادت الدقة قلت مساحة الأرض التي يمكن رؤيتها .

أما النسبة بين المسافات في الصورة أو الخريطة والمسافات الحقيقية على الأرض ، تسمى بمقياس الرسم أو مقياس الصورة، فإذا كانت هناك خريطة مرسومة بمقياس ١:١٠٠,٠٠٠ فذلك يعني أن أي عنصر في الخريطة طوله ١سم يكون طوله الحقيقي على الأرض ١٠٠٠٠٠ سم أي ١ كم. الصور و الخرائط ذات النسب الصغيرة بين الأرض و الخريطة، يقال إن لها مقياساً صغيراً (مثل ١:١٠٠٠٠٠) ، و تلك التي لها نسب كبيرة يكون لها مقياس كبير (مثل: ١:٥٠٠٠).

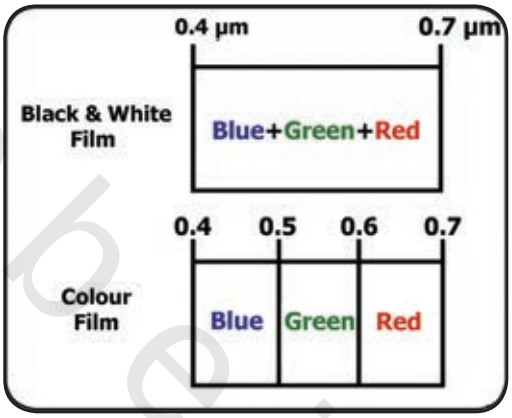
٢ـ ٤ الدقة الطيفية (Spectral Resolution):

في الفصل الأول ، تكلمنا عن الاستجابة الطيفية ، و الانبعاث الطيفي لخصائص سطح الأرض و الأهداف المطلوبة، كما ذكرنا أن العديد من التفاصيل و الخصائص في الصورة يمكن تمييزها عن طريق مقارنة استجابته عند استخدام أطوال موجية مختلفة .



هناك بعض الفئات التي يمكن تمييزها بسهولة حتى عند استخدام نطاق واسع من الأطوال الموجية ، مثل المسطحات المائية و الغطاء النباتي ـ يمكن تمييزها، باستخدام الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة ـ كما ذكرنا سابقاً.

بعض الفئات الأدق، مثل أنواع الصخور المختلفة، قد لا نتمكن من تمييزها بسهولة باستخدام نفس النطاقات الواسعة من الأطوال الموجية، و لكنها تحتاج إلى استخدام نطاق أدق من الأطوال الموجية للتمييز بينها، لذلك نكون بحاجة إلى استخدام جهاز استشعار ذي دقة طيفية (SpectralResolution) أعلى. الدقة الطيفية تعبر عن قدرة جهاز الاستشعار على استخدام نطاقات أطوال موجية دقيقة. فكلما زادت الدقة الطيفية للمستشعر، كلما كان نطاق الأطوال الموجية أدق (أقل) .



أفلام التصوير غير الملونة، تسجل الأطوال الموجية على مدى نطاق الضوء المرئي بالكامل . الدقة الطيفية لتلك الصور منخفضة، نظراً لأن الأطوال الموجية المستخدمة لا يتم تمييزها عن بعضها، ولكن يتم تسجيل الانعكاس الكلي للضوء المرئي، أما الأفلام الملونة، فهي أيضاً تسجل الطاقة المنعكسة في نطاق الضوء المرئي ، و لكنها تتميز بأن لها دقة طيفية أعلى، حيث إنها تسجل الطاقة الخاصة بالأطوال الموجية للألوان الأساسية كل على حدة، و بالتالي يمكنها تمثيل الألوان المختلفة .

معظم أجهزة الاستشعار عن بعد، لها القدرة على تسجيل الطاقة الخاصة بنطاقات مختلفة من الأطوال الموجية ، و تسمى أجهزة استشعار «متعددة الأطياف»، و سوف نتكلم عنها لاحقاً. هناك جيل أحدث من أجهزة الاستشعار تسمى أجهزة الاستشعار الطيفية الفائقة (hype spectral) ، و هي تستطيع تسجيل مئات النطاقات الطيفية الضيقة ، على مدى الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة تحت الحمراء المتوسطة، نتيجة الدقة الطيفية العالية لتلك المستشعرات، فإنها تستطيع التمييز بين العديد من الأهداف المختلفة، بناءً على استجابتها الطيفية.

٥.٢ دقة القياسات الإشعاعية:

إذا كان ترتيب عناصر الصورة «البكسل» يعبر عن الدقة المكانية للصورة (Spatial Resolution) ، فإن دقة القياسات الإشعاعية (Radiometric Resolution) تعبر عن المحتوى الحقيقي للصورة، فحساسية المستشعر تجاه الطاقة الكهرومغناطيسية تحدد تلك الدقة. دقة القياسات الإشعاعية لجهاز التصوير تعبر عن قدرته على تمييز الاختلافات البسيطة في الطاقة. كلما زادت دقة القياسات الإشعاعية، زادت قدرة الجهاز على تحديد الاختلافات البسيطة في الطاقة المنعكسة أو المنبعثة .

البيانات الموجودة بالصور، يتم التعبير عنها بالتمثيل الرقمي، و ذلك بواسطة أرقام موجبة من ٠ إلى (٢ن-١)، حيث ن هو أي رقم موجب .

هذا المدى من الأرقام يقابل عدد الوحدات (bits) المستخدمة لتمثيل الأعداد بالنظام الثنائي (Binary System) .

فكل «بت» تستخدم للتعبير عن عدد من الأرقام، يتم حسابه بواسطة هذه المعادلة : إذا استخدمنا ١ بت فإننا يمكننا تمثيل عدد من الأرقام يساوي = ٢^١=٢، إذا يمكننا التعبير عن رقمين باستخدام بت واحدة .

أقصى عدد من مستويات السطوع المتاحة تعتمد على عدد الوحدات (bits) المستخدمة لتسجيل الطاقة .

فإذا استخدم المستشعر "٨ بت" لتسجيل البيانات ، فسوف يكون هناك ٢^٨=٢٥٦ قيمة رقمية متاحة، تتراوح بين صفر و ٢٥٥ .

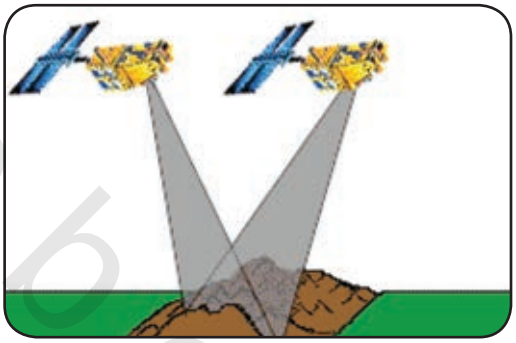
ولكن إذا استخدم "٤ بت" فقط ، فبالتالي القيم المتاحة سوف تكون ٢^٤=١٦ قيمة رقمية، وبالتالي تقل دقة القياسات الإشعاعية بدرجة كبيرة .

بيانات الصورة يتم تمثيلها بتدرجات مختلفة من اللون «الرمادي» ، و يعبر عن اللون الأسود بالرقم "٠" و اللون الأبيض يمثل بأكبر قيمة رقمية متاحة (وهي ٢٥٥ في حالة استخدام ٨ بت لتسجيل الطاقة). عند مقارنة صورة تستخدم ٢ بت بصورة تستخدم ٨ بت لتسجيل الطاقة، نجد اختلافاً كبيراً في كمية التفاصيل التي يمكن تمييزها، و ذلك نظراً لاختلاف دقة القياسات الإشعاعية .

٦-٢ الدقة الزمنية :

تعرضنا سابقاً لتلك النقطة عندما ذكرنا مصطلح «زمن إعادة الزيارة» (Revisit Period)، و الذي يعبر عن طول المدة الزمنية التي يستغرقها «القمر» لإكمال دورة مدارية واحدة، و عادة ما تكون تلك المدة عدة أيام. و بالتالي فإن الدقة الزمنية لنظام الاستشعار عن بعد لتصوير نفس المنطقة بنفس زاوية التصوير مرة أخرى تساوي تلك المدة. و لكن نتيجة تداخل الشرائح - التي يتم رصدها - للمدارات المتجاورة، وزيادة مساحة التداخل بازدياد الارتفاع، فإن بعض المناطق يتم تصويرها أكثر من غيرها. كذلك توجد بعض الأقمار الصناعية التي يمكنها توجيه أجهزة الاستشعار الخاصة بها، لتصوير نفس المنطقة بين دورتين مختلفتين للقمر، بفاصل زمني يساوي يوماً إلى خمسة أيام .

وبالتالي، فإن الدقة الزمنية لجهاز الاستشعار تعتمد على عدة عوامل، منها: قدرات القمر الصناعي أو المستشعر، و التداخل بين الشرائح التي يتم تصويرها، و الارتفاع .

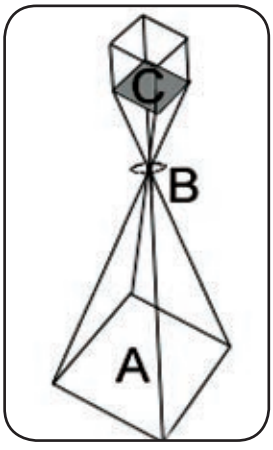


القدرة على تصوير نفس المنطقة من سطح الأرض على فترات زمنية مختلفة، تعتبر من أهم عوامل الاستشعار عن بعد. حيث إن الصفات الطيفية لخصائص سطح الأرض قد تتغير بمرور الوقت، و يمكن رصد تلك التغيرات عن طريق التقاط صور في فترات زمنية مختلفة و مقارنتها ببعضها، فعلى سبيل المثال: في فترة «نمو النباتات»، تكون معظم أنواع النباتات في حالة تغير مستمر، و قدرتنا على رصد تلك التغيرات الطفيفة، باستخدام الاستشعار عن بعد، تعتمد على التوقيت الذي يمكننا التقاط الصور فيه.

عن طريق التصوير المستمر لسطح الأرض في أوقات مختلفة، نستطيع مراقبة التغيرات التي تحدث به، سواء كانت تغيرات طبيعية (مثل الغطاء النباتي و الفيضانات)، أو بفعل البشر (مثل الزحف العمراني أو إزالة الغابات).

وتظهر أهمية عامل الزمن في التصوير عند :

- وجود غيوم بصفة مستمرة مما يحد من رؤية سطح الأرض (عادة ما يحدث ذلك في المناطق الاستوائية).
- الظواهر قصيرة الأجل مثل: الفيضانات و البقع النفطية.
- الحاجة لمقارنة صور بتوقيتات مختلفة، مثل مراقبة انتشار أمراض الغابات من عام لآخر.
- يمكن استخدام تغير شكل أحد العناصر للتمييز بينه، و بين آخر قريب الشبه منه (مثل القمح و الذرة).



٢ـ٧ آلات التصوير والتصوير الجوي:

يعتبر استخدام آلات التصوير (Cameras) في مجال الاستشعار عن بعد من أبسط و أقدم الوسائل في هذا المجال. تحتاج آلات التصوير لأن تكون قريبة من سطح الأرض حتى تتمكن من تصويره، و هي أنظمة سلبية (لا تمتلك مصدر إشعاع خاص بها)، تستخدم عدسة للتصوير (أو مجموعة عدسات تسمى بالبصريات "Optics")، و تتكون الصورة بواسطة العدسة على المستوى البؤري (focal plane).

الأفلام الفوتوغرافية حساسة للضوء من الطول الموجي (٠,٣ـ٠,٩) ميكرومتر، أي تغطي الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة.

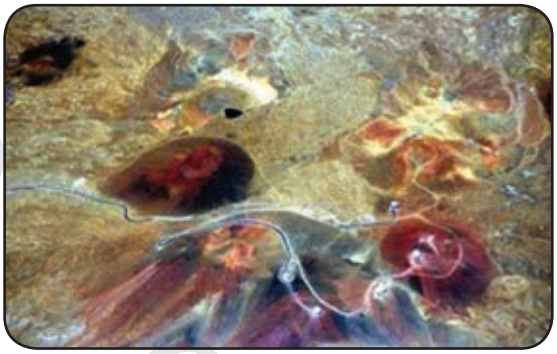
أما الأفلام «البانوكروماتية» فهي حساسة للضوء المرئي و الأشعة فوق البنفسجية ، و تنتج تلك الأفلام صورا غير ملونة (بتدرجات اللون الرمادي)، و هي أكثر أنواع الأفلام شيوعا في التصوير الجوي .

كذلك فإن التصوير بالأشعة فوق البنفسجية يستخدم نفس نوع الأفلام، ولكن مع وجود مُرشح (filter) لامتصاص ومنع الضوء المرئي من الوصول للفيلم، وبالتالي يتم تسجيل الأشعة فوق البنفسجية المنعكسة عن الأهداف فقط. التصوير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية هو نوع غير شائع ، و ذلك نظراً لظاهرتي الامتصاص و التشتت اللتين تحدثان في الغلاف الجوي لذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي . التصوير غير الملون باستخدام الأشعة تحت الحمراء يستخدم فيلم حساس للأطوال الموجية من (٠,٣ – ٠,٩) ميكرمتر و تفيد في تسجيل الاختلافات في الغطاء النباتي، نظرا لحساسيتها للأشعة تحت الحمراء المنعكسة .

في التصوير الملون سواء كان عادياً أو بالأشعة تحت الحمراء ، وهو ما يطلق عليه التصوير «الملون الزائف»، (Color Infrared, CIR)، يتم استخدام فيلم من ثلاث طبقات ، كل منها تكون حساسة لنطاق مختلف من الضوء .

فعند استخدام التصوير الملون العادي، تكون الطبقات الثلاثة للألوان حساسة للون الأزرق والأخضر والأحمر، تماماً مثل حساسية أعيننا للضوء، و بالتالي تظهر لنا تلك الصور بنفس الشكل الذي ترى به أعيننا البيئة المحيطة بنا (تظهر الأشجار باللون الأخضر و هكذا...) .

أما في التصوير الملون بالأشعة تحت الحمراء (CIR)، تكون الطبقات الثلاث حساسة للونين الأخضر و الأحمر و الجزء الفوتوغرافي من نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة، والتى تتم معالجتها لتظهر بالألوان الأزرق، الأخضر، والأحمر على الترتيب، بالتالي تظهر الأهداف التي تعكس الأشعة تحت الحمراء القريبة بلون أحمر في الصور، و تظهر الأهداف التي تعكس الضوء الأحمر بلون أخضر في الصور، أما التي تعكس الضوء الأخضر فتظهر باللون الأزرق، مما يعطينا تمثيلاً زائفاً لألوان الأهداف بالنسبة للألوان الطبيعية لها، و التي تألفها أعيننا، و لذلك يسمى ذلك التصوير بالتصوير اللوني الزائف.



يمكن استخدام آلات التصوير مع منصات مختلفة من ضمنها المنصات الأرضية ، الطائرات المروحية، الطائرات المجنحة ،و الطائرات الموجهة بدون طيار، والمركبات الفضائية .

الصور الفوتوغرافية الملتقطة بواسطة الطائرات تحتوي على العديد من التفاصيل ، و تستخدم في التطبيقات التي تكون بحاجة إلى تفاصيل دقيقة ، أو صور لأهداف صغيرة. تتوقف مساحة الأرض التي تغطيها الصورة على عدة عوامل، منها البعد البؤري للعدسة، و ارتفاع الطائرة أثناء التصوير عن الأرض، و تصميم و حجم فيلم التصوير المستخدم .

«البعد البؤري للعدسة» هو الذي يحدد مجال الرؤية لآلة التصوير، و البعد البؤري الأكثر استخداماً هو ١٥٢ ملليمتراً و كذلك ٩٠ مم و ٢١٠مم، كلما زاد البعد البؤري للعدسة قلت المساحة التي يمكن تغطيتها من الأرض، و لكن تزداد التفاصيل التي يمكن رصدها .

كذلك تعتمد تلك المساحة على ارتفاع الطائرة المجهزة بآلة التصوير، فبازدياد الارتفاع تزداد مساحة الأرض التي يمكن رؤيتها، ولكن تقل التفاصيل في الصورة. تستطيع الصور الجوية أن ترصد تفاصيل دقيقة حتى أقل من ٥٠ سم ، و تتغير الدقة المكانية للصورة (Spatial Resolution) تبعاً لعدة عوامل تتغير عند كل مرة يتم التقاط الصور فيها .

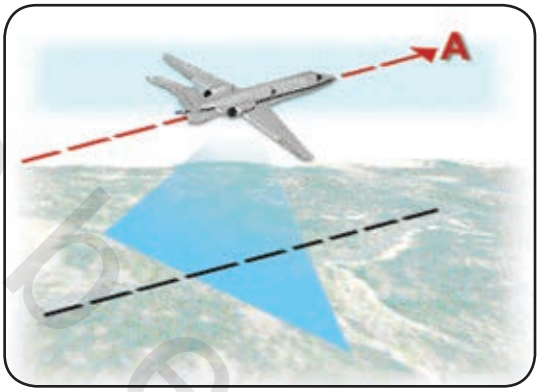
تصنف معظم الصور الجوية لقسمين : «مائلة و رأسية»، و ذلك تبعاً لوضع آلة التصوير بالنسبة للأرض أثناء التصوير .

الصور الجوية «المائلة» (Oblique aerial photographs) : هي الصور التي تلتقط عندما يكون محور آلة التصوير مائلا، و تنقسم الصور المائلة إلى صور شديدة الميل (عادة يظهر بها خط الأفق) ، و صور قليلة الميل (لا يظهر بها خط الأفق) .

هذا النوع من التصوير يستطيع تغطية مساحات كبيرة في صورة واحدة ، كذلك يستخدم لتصوير تضاريس الأرض، و بالرغم من ذلك فهي لا تستخدم على نطاق واسع في رسم الخرائط، وذلك نظراً لاختلاف المقياس في أول الصورة عن آخرها مما يعوق قياس المسافات و المساحات والمساقط ، كما يظهر في الصورة التالية .

الصور الجوية الرأسية (Vertical aerial photographs): هي التي يتم التقاطها عندما يكون محور التصوير عموديا، وهي أكثر أنواع التصوير الجوي استخداما في أغراض الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط، و يستخدم في هذا النوع آلات تصوير تم تصميمها خصيصاً لالتقاط مجموعة متتابعة من الصور بسرعة مع تقليل الأخطاء (التشوهات) الجغرافية، وغالباً ما يتم ربطها بأنظمة الملاحة على متن الطائرة ، و ذلك حتى ترفق الإحداثيات الجغرافية الصحيحة بكل صورة يتم التقاطها، و معظم آلات التصوير الحالية بها آليات لتقليل ، أو إلغاء تأثير حركة الطائرة بالنسبة للأرض، وذلك لتلافي حدوث الأخطاء قدر الإمكان .

عند التقاط صور رأسية ، فإن الطائرة تطير في مجموعة من الخطوط المتتابعة، كل منها يسمى خط الطيران، يتم التقاط الصور بالتتابع وبشكل سريع لسطح الأرض تحت الطائرة، و عادة ما



تكون نسبة التداخل بين الصور المتتابعة حوالي ٥٠ ـ ٦٠ ٪، ذلك التداخل بين الصور يضمن أن يتم تصوير سطح الأرض بالكامل على طول مسار الطائرة، كما يسهل كذلك الرؤية المجسمة، تُظهر كل صورتين متتابعتين منطقة التداخل من أكثر من منظور، و بالتالي يمكن عرضها بشكل مجسم من خلال جهاز "المجسام" (Stereoscope)، الذي يعرض الصور بشكل ثلاثي الأبعاد، ويسمى بالنموذج المجسم (stereo model)، ويستخدم ذلك في الكثير من تطبيقات التصوير الجوي .

تظهر فائدة «التصوير الجوي» في التطبيقات التي تحتاج للتفاصيل الدقيقة للصورة أكثر من حاجتها للمعلومات الطيفية، حيث إن تلك الصور لها دقة طيفية قليلة مقارنة بالصور التي تلتقط بواسطة أجهزة الاستشعار الإلكترونية. "الصور الرأسية" يسهل الحصول منها على قياسات دقيقة تستخدم في العديد من التطبيقات (مثل رسم الخرائط، و دراسة الغابات، ودراسة طبقات الأرض) ويسمى علم الحصول على قياسات من الصور "علم المساحة التصويرية" (Photogrammetry)، و تم استخدامه على نطاق واسع منذ بدايات استخدام التصوير الجوي. غالباً ما يتم تحليل الصور (حتى الصور المجسمة) بواسطة خبير وليس باستخدام الحاسب، و لكن في بعض الأحيان يمكن مسح الصور ضوئياً و تحويلها للصيغة الرقمية، وبالتالي يتم تحليلها بواسطة الحاسب، و سوف نتعرض بالتفصيل لطرق تحليل صور الاستشعار عن بعد في الفصل الرابع .

توجد أنظمة تصوير أخرى تستخدم عدة عدسات ، و يطلق عليها « التصوير متعدد النطاقات» (Multi-band Photography)، و تستخدم العديد من المرشحات المختلفة (Filters)، وذلك لالتقاط الصور في نطاقات طيفية مختلفة في آن واحد .

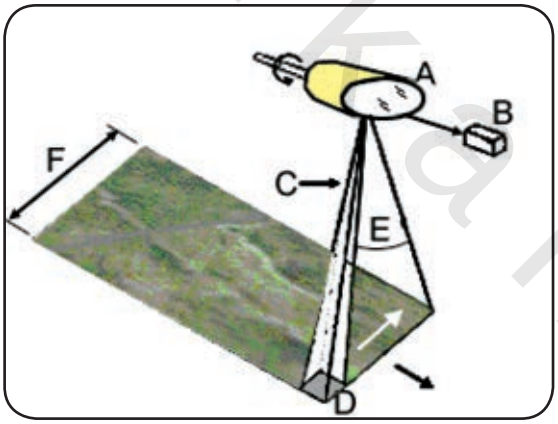
يتميز هذا النوع من آلات التصوير بقدرته على تسجيل الطاقة المنعكسة في نطاق أطوال موجية مختلفة، مما يؤدي إلى سهولة تحديد و تمييز الكثير من الخصائص. و لكن على الرغم من ذلك قد يكون تحليل تلك الصور معاً أمراً صعباً .

«آلات التصوير الرقمية» (Digital Cameras)، التي تقوم بتسجيل الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكترونياً، تختلف كثيراً عن نظيرتها التي تستخدم أفلام تصوير . فبدلاً من الفيلم، تستخدم الكاميرات الرقمية شريحة من «السيليكون» تسمى ("CCDs" Change-coupled devices) و التي تستجيب للإشعاع الكهرومغناطيسي، عندما يصل الإشعاع لسطح الشريحة "CCDs" فإنه يولد شحنة إلكترونية، تختلف قيمتها تبعاً لاختلاف سطوع لون تلك المنطقة من الأرض .

يحدد لكل نطاق طيفي رقم معين ، و يرفق مع كل «بكسل» بناءً على قيمة الشحنة الإلكترونية، الصيغة الرقمية للصورة تجعل من السهل تحليلها و تخزينها بواسطة الكمبيوتر ، كما يمكن طباعتها و التعامل معها مثل الصور العادية، كما أن آلات التصوير الرقمية توفر دقة طيفية أعلى، وتسرع عملية الحصول على الصور، وهي تلتقط صوراً بدقة مكانية تصل إلى ٠,٣ م ، و دقة طيفية تتراوح بين ٠,٠١٢ مم ، ٠,٣ مم، عدد عناصر الصورة "pixels" يختلف من نظام إلى آخر ، و لكنه عادة يتراوح بين ٥١٢×٥١٢ و ٢٠٤٨×٢٠٤٨ .

٢ـ٨ المسح الضوئي متعدد الأطياف:

العديد من أجهزة الاستشعار عن بعد تقوم بجمع البيانات باستخدام أنظمة المسح الضوئي، ذات مستشعر ذي مجال رؤية صغير (IFOV) يقوم بمسح تضاريس المنطقة المراد دراستها، و ذلك لتكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض ، يمكن وضع تلك الأنظمة على متن طائرة أو قمر صناعي. و إذا كان النظام يستطيع تسجيل البيانات باستخدام أطوال موجية مختلفة، فإنه يسمى "ماسح ضوئي متعدد الأطياف" (multispectral scanner_MSS)، و هو أكثر أنظمة المسح الضوئي استخداماً...



وتوجد طريقتان / وضعان للمسح الضوئي تستخدمان للحصول على صور متعددة الأطياف، و هما "المسح الضوئي عبر المسار" و "المسح الضوئي بطول المسار" .

المسح الضوئي عبر المسار (Across_track Scanning) :

يقوم بمسح سطح الأرض على هيئة خطوط مستقيمة، تكون في اتجاه عمودي على اتجاه حركة المنصة الحاملة لجهاز الاستشعار .

كل خط يتم مسحه من جهة لأخرى بالكامل باستخدام مرآة دوارة (A)، أثناء حركة المنصة إلى الأمام، يتم مسح الأرض بشكل متتابع، و تتكون صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض في تلك المنطقة، الإشعاع المنعكس أو المنبعث يتم تقسيمه إلى مجالات طيفية مختلفة و تسجل كل منها على حدة .

يتم تفريق الأشعة فوق البنفسجية، و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة و الحرارية إلى الأطوال الموجية المكونة لها، توجد مجموعة من أجهزة الرصد ـ داخل الماسح نفسه يكون كل منها حساساً لنطاق معين من الأطوال الموجية ، يقوم بقياس وتسجيل الطاقة لكل نطاق من الأطوال الموجية على هيئة إشارات كهربية، ثم يتم تحويلها إلى صور رقمية و يتم الاحتفاظ بها لاستخدامها في مراحل المعالجة التالية .

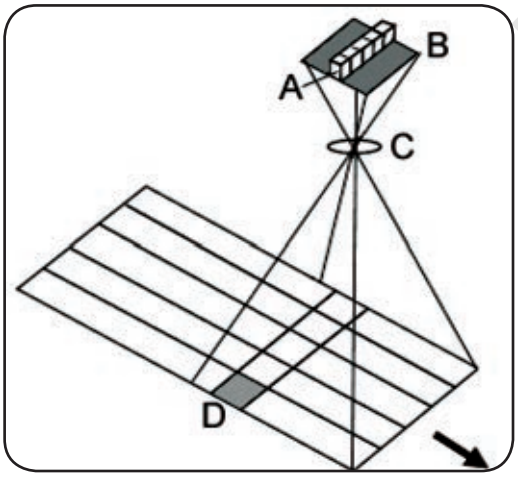
مجال الرؤية اللحظي للمستشعر (C) و ارتفاع منصة الاستشعار يحددان وحدة الدقة للمستشعر (D) ، و بالتالي الدقة المكانية (spatial resolution) .

مجال الرؤية الزاوي للمستشعر (E) (angular field of view) يعبر عن المساحة التي تمشطها المرآة مقاسة بالدرجات ، و تحدد عرض رقعة الأرض التي يتم مسحها (F) (swath) .

أجهزة المسح الضوئي المحمولة جواً تقوم بالمسح بزاوية كبيرة (تتراوح بين ٩٠° و١٢٠°)، بينما الأقمار الصناعية - نظراً لارتفاعاتها الكبيرة - فإنها تقوم بالمسح بزاوية صغيرة (تتراوح بين ١٠° و٢٠°) ، و ذلك لتتمكن من تغطية مساحة كبيرة . نظراً لأن المسافة بين جهاز الاستشعار و سطح الأرض تزداد عند أطراف الرقعة التي يتم مسحها ، فبالتالي تزداد أيضاً مساحة وحدة الدقة عند الأطراف ، مما يؤدي لحدوث تشوهات هندسية للصورة كذلك الوقت الذي يرى فيه المستشعر وحدة الدقة على الأرض أثناء قيام المرآة الدوارة بمسح سطح الأرض يسمى "زمن السكون" "dwell time"، عادة ما يكون قصيراً و يؤثر على تصميم المستشعر من حيث الدقة المكانية و الطيفية و دقة القياسات الإشعاعية .

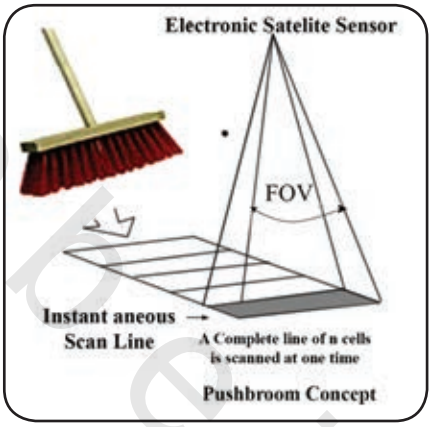
المسح الضوئي على طول المسار (Along_track scanning) :

تستخدم أيضاً حركة منصة الاستشعار للقيام بالمسح على هيئة خطوط عمودية على اتجاه الطيران ، و ذلك لتكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض . و لكن بدلاً من استخدام المرآة ، يتم استخدام «مصفوفة خطية» من أجهزة الرصد (A) (detectors)، موجودة عند المستوى البؤري (B) للصورة المتكونة بواسطة نظام العدسات (C)، و التي يتم دفعها (توجيهها) على طول مسار الرحلة و يسمى أيضاً ذلك النوع من الماسحات الضوئية (push broom scanners) ، وذلك لأن حركة المصفوفة تشبه حركة شعيرات المكنسة عند دفعها على الأرض .



يقوم كل جهاز تسجيل بقياس وتسجيل الطاقة الخاصة بوحدة دقة واحدة على سطح الأرض (D) ، و بالتالي فإن الدقة المكانية للماسح الضوئي تتوقف على مجال الرؤية اللحظي لأجهزة التسجيل، كذلك توجد مصفوفة خطية أخرى تستخدم لقياس كل نطاق طيفي .

يتم تحويل الطاقة المسجلة لكل خط يتم مسحه، إلى صيغة إلكترونية، أو رقمية .



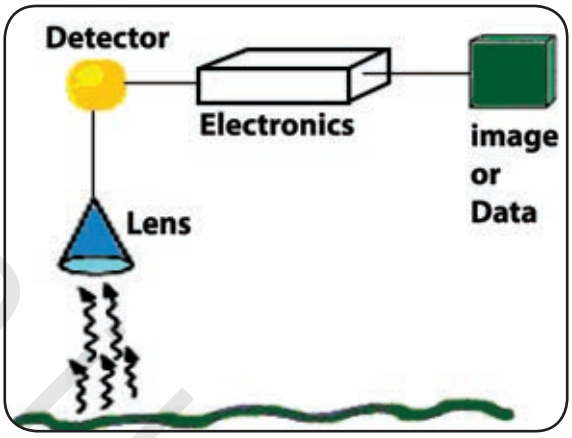
المسح الضوئي على طول المسار له مميزات أكبر من المسح الضوئي عبر المسار، فحركة مصفوفة أجهزة الرصد و التسجيل تسمح بقياس الطاقة الخاصة بكل وحدة دقة على سطح الأرض لوقت أطول " زمن السكون"، مما يسمح برصد كمية أكبر من الطاقة، وبالتالي تزداد دقة القياسات الإشعاعية، كذلك فإن طول زمن السكون يسهل استخدام مجال رؤية لحظي ونطاق ترددات أقل لكل جهاز رصد، وبالتالي يمكن الحصول على دقة مكانية و طيفية أكبر بدون التأثير على دقة القياسات الإشعاعية. أجهزة الرصد عادة ما تكون أصغر حجماً و أخف وزناً و تستهلك طاقة أقل، و ذلك لعدم وجود أجزاء متحركة بها. و لكن على الجانب الآخر، فإن معايرة الآلاف من أجهزة الرصد للحصول على حساسية ثابتة لكل المصفوفة هو أمر معقد و لكنه ضروري.

بشكل عام فإن أنظمة المسح الضوئي لها مميزات أكبر من أنظمة التصوير الفوتوغرافي فالنطاق الطيفي لأنظمة التصوير الفوتوغرافي يشمل الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة، بينما النطاق الطيفي لأنظمة المسح الضوئي يمتد ليشمل كذلك الأشعة تحت الحمراء الحرارية، كما أن الدقة الطيفية لتلك الأنظمة أعلى من تلك الخاصة بأنظمة التصوير الفوتوغرافي. في أنظمة التصوير الفوتوغرافي متعدد الأطياف يتم استخدام عدسات منفصلة لتسجيل كل نطاق طيفي على حدة، و لكن ذلك قد يؤدي لحدوث بعض المشاكل فقد يكون من الصعب التأكد من أن الصور متمايزة تماماً من حيث النطاق الطيفي و القياسات الإشعاعية، و ذلك عند التقاط العديد من الصور.

أما أنظمة "المسح الضوئي" فإنها تسجل جميع النطاقات الطيفية معاً عبر نظام بصريات واحد، و ذلك لتجنب حدوث مثل تلك المشكلات.

"أنظمة التصوير الفوتوغرافي" تقوم بتسجيل الطاقة عبر عملية كيميائية مما يؤدي إلى صعوبة قياسها، ولكن أنظمة المسح الضوئي تقوم بتسجيل الطاقة إلكترونياً، مما يسهل عملية قياس الطاقة، و كذلك تستطيع تسجيل مدى كبير من القيم بالصيغة الرقمية، كما أن "التسجيل الرقمي" للبيانات يسهل إرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية، و البدء في معالجتها فوراً، بينما أنظمة التصوير الفوتوغرافي تحتاج أن يتم إمدادها بأفلام التصوير بشكل مستمر، وتبدأ عملية المعالجة على الأرض بعد هبوط الطائرة للحصول على الصور المطلوبة.

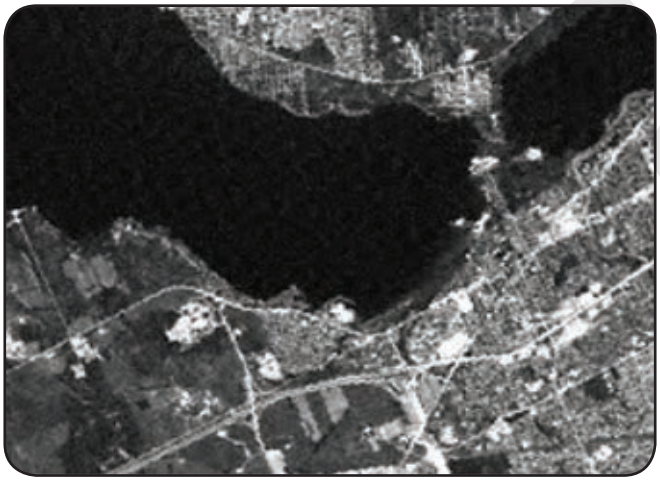
٢ـ٩ التصوير الحراري:



معظم الأنظمة متعددة الأطياف يمكنها استشعار الأشعة تحت الحمراء الحرارية ، بالإضافة إلى الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة .

ولكن استشعار الطاقة المنبعثة من سطح الأرض في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية (٣ ميكرومتر إلى ١٥ ميكرومتر) يختلف عن استشعار الطاقة المنعكسة. المستشعرات الحرارية تستخدم أجهزة رصد حساسة لتعرض سطحها مباشرة للفوتونات ، و ذلك لرصد الطاقة الحرارية المنبعثة، يتم تبريد تلك المستشعرات لدرجة تصل للصفر المطلق، وذلك لتقليل الحرارة المنبعثة منها .

المستشعرات الحرارية تستخدم لقياس درجة حرارة سطح الأرض و الخصائص الحرارية للأهداف .



التصوير الحراري عادة ما يقوم بالمسح عبر المسار (مثل المسح الضوئي عبر المسار المذكور سابقاً)، و يقوم برصد الإشعاع المنبعث في النطاق الحراري فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. تستخدم المستشعرات الحرارية مرجعاً حرارياً (temperature reference) لمقارنته بما يتم رصده من إشعاعات، و بالتالي يمكن معرفة درجة الحرارة المطلقة. عادة ما تسجل تلك الطاقة على على فيلم أو شريط مغناطيسي، و يمكن أن تصل دقة المستشعر إلى ٠,١ درجة مئوية. الصور ذات درجات الحرارة النسبية يتم تمثيلها بتدرجات اللون الرمادي، حيث تكون الدرجات الفاتحة منه تعبر عن درجات حرارة أعلى، و درجات الحرارة الأقل (أكثر برودة) يتم التعبير عنها بالدرجات الداكنة.

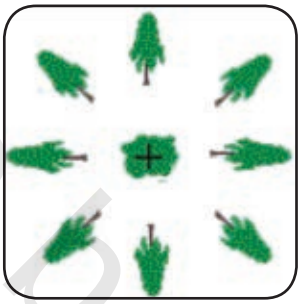
الصور التي تمثل فروق درجات الحرارة النسبية بالنسبة لموقعها، تكون ملائمة لمعظم التطبيقات. درجات الحرارة المطلقة يمكن حسابها، و لكنها تحتاج إلى معايرة، و قياسات دقيقة للمراجع المستخدمة (references)، و كذلك معرفة دقيقة بالخصائص الحرارية للهدف، و التشوهات الهندسية و التأثيرات الإشعاعية.

بسبب أن الأطوال الموجية للإشعاع الحراري كبيرة بالمقارنة بأطوال الضوء المرئي، فإن التشتت في الغلاف الجوي يكون أقل، و لكن ظاهرة الامتصاص بواسطة غازات الغلاف الجوي تؤدي إلى تحديد استشعار الطاقة الحرارية إلى منطقتين محددتين، و هما (من ٣ إلى ٥ ميكرومتر) و (من ٨ إلى ١٤ ميكرومتر)، و لأن الطاقة تقل كلما ازداد الطول الموجي، فإن المستشعرات الحرارية لها نطاق رؤية لحظي كبير للتأكد من أن كمية كافية من الطاقة تصل إلى جهاز الرصد حتى تكون القياسات دقيقة، و لذلك فإن الدقة المكانية لتلك المستشعرات تكون قليلة بالنسبة إلى الدقة المكانية الممكنة في الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة. يمكن قياس الطاقة الحرارية نهاراً أو ليلاً، و ذلك لأنها منبعثة و ليست منعكسة، و تستخدم في العديد من التطبيقات مثل الاستطلاعات العسكرية، مواجهة الكوارث (حرائق الغابات)، مراقبة فقدان الحرارة.

١٠-٢ التشوهات الهندسية في الصور:

كل صور الاستشعار عن بعد سواء تم التقاطها بنظام التصوير الفوتوغرافي أو المسح الضوئي، و سواء كان نظام الاستشعار محمولاً بواسطة طائرة أو قمر صناعي، فإن جميع الصور تعاني من بعض التشوهات الهندسية، ترجع المشكلة لكوننا نقوم بتمثيل سطح الأرض – ثلاثي الأبعاد – بصوراً ثنائية الأبعاد، وبالتالي تتعرض كل صور الاستشعار عن بعد إلى بعض التشوهات الهندسية، و تختلف حسب الطريقة التي تم التقاط الصورة بها، و تأتي تلك الأخطاء كنتيجة لعدة عوامل، نذكر منها:

- منظور وحدة البصريات (العدسات) الخاصة بجهاز الاستشعار.
- حركة نظام المسح الضوئي.
- حركة منصة الاستشعار و مدى استقرارها و ثباتها.
- ارتفاع المنصة، و سرعتها، واتجاهها.
- طبيعة التضاريس الأرضية.
- مدى تحدب الأرض و دورانها.



آلات التصوير (Cameras) المستخدمة في التصوير الجوي تلتقط مشهداً لحظياً لسطح الأرض، و تنتج التشوهات الهندسية في الصور الجوية الرأسية نتيجة الإزاحة. حيث إن الأشياء التي تقع تحت مركز العدسة مباشرة (نقطة النظير) تظهر قمتها فقط، أما بقية الأشياء فتظهر و كأنها تميل بعيداً عن المركز، وبالتالي تظهر قممها و جوانبها، و إذا كانت الأهداف التي يتم رصدها ذات ارتفاعات كبيرة، أو تبعد كثيراً عن المركز فإن التشوهات و الأخطاء تزداد .

الهندسة الخاصة بالتصوير على طول المسار تشبه تلك الخاصة بالتصوير الفوتوغرافي الجوي، حيث إن كل جهاز رصد يقوم بالتقاط مشهد سطح الأرض المقابل لوحدة الدقة، تظهر الاختلافات الهندسية بين الخطوط التي يتم مسحها نتيجة اختلافات في ارتفاع الطائرة ، أو طريقة حركتها أثناء مسار رحلتها .

الصور الملتقطة بالمسح الضوئي عبر المسار ، تتعرض لنوعين أساسيين من التشوهات الهندسية ، تشوه نتيجة الإزاحة (A) ، مثل الصور الفوتوغرافية ، و لكن في اتجاه واحد فقط موازٍ لاتجاه المسح، و لا يظهر تأثير الإزاحة تحت المستشعر مباشرة (عند نقطة النظير). بينما يقوم المستشعر بالمسح الضوئي عبر المسار، فإن قمم و جوانب الأهداف تظهر مائلة بعيداً عن نقطة النظير، في كل خط يتم مسحه، و تزداد الإزاحة عند أطراف الرقعة التي يتم مسحها .

هناك نوع آخر من التشوهات (B) يظهر نتيجة دوران مرآة الماسح، فبينما يقوم المستشعر بمسح كل خط ، تزداد المسافة من المستشعر إلى سطح الأرض كلما ابتعدنا عن المركز، بالرغم من كون مرآة الماسح تدور بسرعة ثابتة، إلا أن مجال الرؤية اللحظي الخاص بجهاز الاستشعار يتحرك بسرعة أكبر (بالنسبة للأرض) و يقوم بمسح مساحة أكبر كلما اقترب من الأطراف، و يؤدي ذلك إلى ضغط عناصر الصورة عند النقط البعيدة عن نقطة النظير، و يسمى ذلك بالتشوه المماسي (tangential scale distortion) .

كل الصور معرضة للتشوهات الهندسية الناتجة عن التغيرات في ثبات منصة الاستشعار ، بما فيها تغير سرعتها و ارتفاعها و اتجاهها (زاوية توجهها بالنسبة للأرض) أثناء التقاط الصور، و تظهر هذه التأثيرات بشكل كبير عند استخدام الطائرات، و يخف تأثيرها بدرجة كبيرة مع الأقمار الصناعية، و ذلك لأن مداراتها تكون ثابتة بالنسبة لبعدها عن الأرض . وبالرغم من ذلك فإن حركة الأرض باتجاه الغرب ، تجعل كل مساحة تقوم برصدها الأقمار الصناعية تكون متجهة باتجاه الغرب قليلاً بالنسبة للمساحة السابقة ، و بالتالي كمحصلة لذلك تظهر انحرافات بالصورة، يسمى هذا النوع (Skew Distortion)، و هو نوع شائع من التشوهات في حالة الأقمار الصناعية ذات أنظمة المسح متعددة الأطياف .

مصادر التشوهات الهندسية و الأخطاء الموضعية تختلف حسب الموقف ، و لكنه دائم الحدوث في الاستشعار عن بعد بصفة عامة .

في بعض الحالات نتمكن من إزالة تلك الأخطاء ، أو على الأقل التخفيف من تأثيرها ، و لكن يجب أن نأخذها في اعتبارنا عند القيام بالقياسات و استخلاص المعلومات من الصور .

إلى الآن، نكون قد تكلمنا عن بعض الخصائص العامة لمنصات الاستشعار، و أجهزة الاستشعار ، و في الأجزاء التالية سوف نلقي نظرة تفصيلية على بعض أجهزة الاستشعار (خاصة الأقمار الصناعية) التي تعمل في نطاق الضوء المرئي، و الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي .

٢ـ١١ الأقمار الخاصة بالطقس:

لقد كان التنبؤ «بالطقس» هو أول التطبيقات المدنية للاستشعار عن بعد باستخدام الأقمار الصناعية، حيث تعود بداية استخدام الأقمار الصناعية في ذلك المجال إلى القمر الصناعي "تيروس ـ ١" (TIROS-1 Television and Infrared Observation Satellite ـ1) ، و الذي أطلقته الولايات المتحدة الأمريكية «عام ١٩٦٠» و تم إطلاق العديد من أقمار التنبؤ بالطقس الأخرى في السنوات الخمس التي تلتها، إلى المدارات القطبية، حيث تمكنت من تغطية أنماط الطقس على مستوى العالم .

وفي عام ١٩٦٦، أطلقت وكالة «ناسا» الأمريكية القمر الصناعي - "ATS-1" geost (tionary Applications Technology Satellite ، و الذي قام بتوفير صوراً لكل نصف من سطح الأرض، و غطاء السحب كل نصف ساعة، وبذلك أصبح ممكناً للمرة الأولى متابعة الطقس بشكل دوري .

أما حالياً ، فتوجد كثير من الدول التي تمتلك أقمار أرصاد جوية لمتابعة حالة الطقس في مختلف أنحاء الكرة الأرضية، و بشكل عام فإن هذا النوع من الأقمار يستخدم مستشعرات ذات دقة مكانية صغيرة ـ بالمقارنة بالأقمار التي تقوم بتصوير سطح الأرض ـ و تقوم بتغطية مساحات كبيرة .

الدقة الزمنية لتلك الأقمار عادة ما تكون كبيرة جداً ، حيث إنها تراقب سطح الأرض، و كمية الرطوبة بالجو، و غطاء السحب بشكل دوري يكاد يصل إلى متابعة مستمرة، مما يسهل التنبؤ بالطقس.

و فيما يلي نغطي بعض الأقمار المستخدمة في الأرصاد الجوية :

جويس "GOES":

يعتبر هذا القمر تابعاً لسلسلة أقمار " أيه تي أس" "ATS" GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) تم تصميمه بواسطة «وكالة ناسا لصالح الإدارة الوطنية للمحيطات و المناخ» (NOAA)، ليزود الولايات المتحدة بصور دورية لسطح الأرض و غطاء السحب. و تم استخدام الأقمار من سلسلة (GOES) على نطاق واسع في مجال الأرصاد الجوية لمدة ٢٠ عاما، وهذه الأقمار هي جزء من الشبكة العالمية لأقمار الأرصاد الجوية المحيطة بالأرض ، و التي يبعد كل منها عن الآخر حوالي ٧٠° في خطوط ثابتة الطول ، لتوفر تغطية شبه تامة للأرض. اثنان من أقمار "GOES" يوجدان بمدارات جغرافية ثابتة، و التي تبعد حوالي ٣٦٠٠٠ كم عن خط الاستواء، ويستطيع كل منهما أن يرى تقريبا ثلث سطح الأرض. أحدهما يقع عند خط طول ٧٥° غرب، و يراقب أمريكا الشمالية،و الجنوبية، و معظم المحيط الأطلنطي، أما الآخر فيقع عند خط طول ١٣٥°غرب، ويراقب أمريكا الشمالية وحوض المحيط الهادئ. يغطي القمران معا خطوط الطول من ٢٠° غربا إلى ١٦٥° شرقاً، و تغطي الصور الخاصة بهما جزءاً من جنوب شرق الولايات المتحدة، و ساحل المحيط القريب ، منها حيث تتولد هناك العديد من العواصف الشديدة، و تظهر الصورة بالأعلى إعصار "فران" "Fran" و هو يقترب من السواحل الجنوبية الشرقية للولايات المتحدة و جزر الباهاما في سبتمبر ١٩٩٦ .

تم إطلاق جيلين من سلسلة (GOES) ، كانت مهمة كل من الجيلين هي قياس الإشعاع المنبعث و المنعكس و الذي يستخدم لمعرفة درجات الحرارة و الرياح و الرطوبة و غطاء السحب، الجيل الأول لتلك الأقمار يتكون من "جويس ـ ١ " "GOES ـ 1" (الذي أطلق عام ١٩٧٥) إلى "GOES ـ 7" "GOES ـ 7" (الذي أطلق عام ١٩٩٢). و نتيجة لتصميم تلك الأقمار، فإنها كانت قادرة على مراقبة الأرض لنسبة بسيطة من الوقت (٥٪ تقريباً). بدأت أقمار الجيل الثاني بالقمر "جويس ـ 8" "GOES ـ 8" (أطلق عام ١٩٩٤)، و قد تمت إضافة العديد من التعديلات التقنية إليها بالنسبة لأقمار الجيل الأول، فقد تمكنت من مراقبة الأرض بشكل شبه متواصل مما سمح بالحصول على صور دورية للأرض (تقريباً كل ١٥ دقيقة)، وقد أدت تلك الزيادة في الدقة الزمنية ، بالإضافة إلى التحسن في الدقة المكانية و الطيفية إلى الحصول على معلومات ذات جودة أعلى للتنبؤ بأحوال الطقس .

أقمار الجيل الثاني تتميز بامتلاكها لأدوات تصوير و رصد جوي منفصلة، وحدة التصوير بها خمس قنوات تقوم باستشعار الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء المنعكسة و المنبعثة، القدرة على استشعار الأشعة تحت الحمراء تسمح بالتصوير نهاراً أو ليلاً ، كذلك فإن قدرة المستشعر على التوجيه و اختيار منطقة معينة ، تسمح له بتصوير نصف الكرة الأرضية كاملاً أو تصوير نقط معينة. البيانات التي يتم تصويرها تكون بدقة ١٠ بت للقياسات الإشعاعية، و يمكن إرسالها مباشرة إلى المستخدمين على سطح الأرض، الجدول التالي يوضح النطاقات الخمس، و الدقة المكانية، و التطبيقات الخاصة بكل منها .

النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية	التطبيقات
1	0.52 – 0.72 (ضوء مرئي)	1 كم	السحب، التلوث، الضباب، تحديد العواصف القوية.
2	3.78 – 4.03 (أشعة تحت حمراء قصيرة)	4 كم	تحديد الضباب ليلاً، تمييز السحب المحملة بالماء أو الثلج أثناء النهار، تحديد الحرائق والبراكين، تحديد درجة حرارة سطح البحر ليلاً.
3	6.47 – 7.02 (النافذة الجوية لبخار الماء الموجود بالمستويات العليا)	4 كم	تحديد المناطق ذات الرطوبة المتوسطة، مراقبة الحركة الجوية المتوسطة.
4	10.20 – 11.20 (أشعة تحت حمراء طويلة)	4 كم	تحديد الرياح الساحبة للغيوم، العواصف الشديدة، الأمطار الغزيرة.
5	11.50 – 12.50 (الأشعة تحت الحمراء الحساسة لبخار الماء)	4 كم	تحديد المستويات المنخفضة من الرطوبة، تحديد درجة حرارة سطح البحر، رصد الهواء الحامل للأتربة والرماد البركاني.

أما جهاز الرصد الجوي فله تسع عشرة قناة تقيس الإشعاع المنبعث في ثمانية عشر نطاقاً للأشعة تحت الحمراء، و يرصد الإشعاع المنعكس في نطاق مرئي واحد، و هذه البيانات لها دقة مكانية تصل إلى ٨ كم و ١٣ بت لدقة القياسات الإشعاعية، و تستخدم بيانات جهاز الرصد لقياس درجة حرارة السطح و السحب المرتفعة، و أنماط الرطوبة متعددة المستويات في الغلاف الجوي، و توزيع غاز الأوزون .

NOAA AVHRR :

منظمة "NOAA" مسئولة عن سلسلة أخرى من الأقمار الصناعية المفيدة في مجال الأرصاد الجوية، و بعض التطبيقات الأخرى، تقع هذه الأقمار في مدارات قطبية متزامنة مع الشمس (حوالي ٨٣٠-٨٧٠ كم فوق الأرض)، و تعتبر جزءاً من سلسلة " تيروس" "TIROS" (و التي ترجع لعام ١٩٦٠) و تقوم تلك الأقمار بتزويد أقمار الأرصاد الجوية (مثل أقمار "جويس" "GOES"، بمعلومات مكملة. يوجد قمران من هذا النوع، كل منهما يقوم بتغطية الأرض بالكامل، يعملان معاً، و ذلك للتأكد من أن أي معلومة عن أي منطقة من سطح الأرض، لا تعود لأكثر من ست ساعات مضت. أحدهما يمر بخط الاستواء في الصباح الباكر من الشمال للجنوب ، و الآخر يمر به بعد الظهر .

المستشعر الأساسي للأقمار الخاصة بمنظمة "NOAA"، يستخدم للرصد الجوي إلى جانب استطلاع و مراقبة سطح الأرض على مساحات صغيرة، و يسمى "AVHRR" اختصارا لـ"Advanced Very High Resolution Radiometer"، ويستطيع ذلك المستشعر قياس الإشعاع في نطاق الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة و الحرارية من الطيف الكهرومغناطيسي ، و ذلك على رقعة من الأرض عرضها حوالي ٣٠٠٠ كم. الجدول التالي يبين النطاقات الخاصة به و الدقة المكانية و التطبيقات .

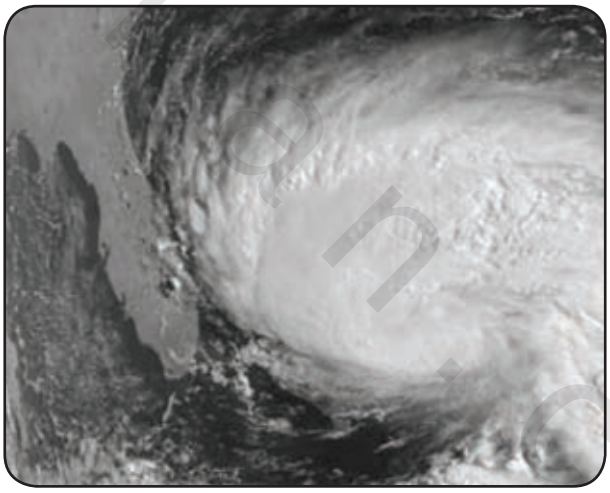
النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية	التطبيقات
1	0.58 – 0.68 (أحمر)	1.1 كم	متابعة السحب والثلج والجليد.
2	0.725 – 1.1 (أشعة تحت حمراء قريبة)	1.1 كم	الماء، الغطاء النباتي والزراعة.
3	3.55 – 3.93 (أشعة تحت حمراء متوسطة)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، النشاط البركاني وحرائق الغابات.
4	10.30 – 11.30 (أشعة تحت حمراء حرارية)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، رطوبة التربة.
5	11.5 – 12.5 (أشعة تحت حمراء حرارية)	1.1 كم	درجة حرارة سطح البحر، رطوبة التربة.

البيانات التي يتم الحصول عليها بواسطة المستشعر "AVHRR" يمكن استخدامها في عدة أوضاع تشغيلية تختلف عن بعضها في الدقة وطريقة الإرسال، فيمكن إرسال البيانات مباشرة إلى الأرض، و استخدامها بمجرد الحصول عليها، أو يتم تسجيلها على متن القمر الصناعي ليتم إرسالها و معالجتها فيما بعد. الجدول التالي يوضح الصيغ المختلفة للبيانات و خصائص كل منها :

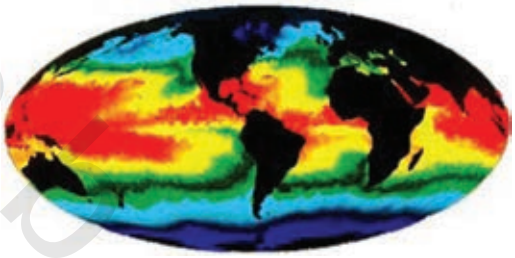
obeikan.com

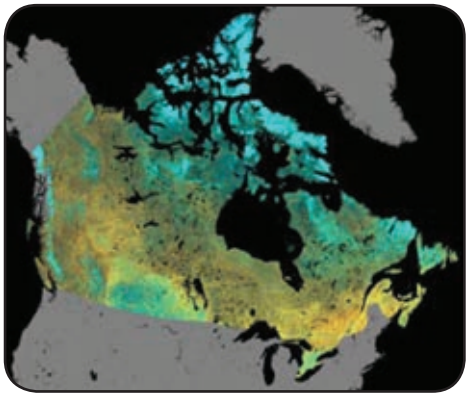
أنواع البيانات الخاصة بـــ "AVHRR":

الصيغـــــــة	الدقة المكانية	الإرسال والمعالجة
الإرسال الآلي للصور "APT" (Automatic Picture Transmission)	4 كم	**دقة منخفضة :** يتم إرسالها و عرضها مباشرة
الإرسال عالي الدقة للصور "HPRT" (High Resolution Picture Transmission)	1.1 كم	**دقة كاملة :** يتم إرسالها وعرضها مباشرة
التغطية العالمية "GAC" (Global Area Coverage)	4 كم	دقة منخفضة تتم التغطية باستخدام البيانات المسجلة
التغطية المحلية "LAC" (Local Area Coverage)	1.1 كم	**دقة كاملة :** تتم التغطية المحلية باستخدام البيانات المسجلة



بالرغم من أن المستشعر "AVHRR" يتم استخدامه في أنظمة التنبؤ بالطقس، إلا أنه ملائم بشكل كبير للاستخدام في مراقبة سطح الأرض أيضاً، فبالرغم من أن الدقة المكانية له أقل بكثير من أجهزة الاستشعار الخاصة بمراقبة الأرض (سنتعرض لها لاحقاً)، و لكنه يستخدم على نطاق واسع في مراقبة الظواهر المحلية ذات النطاق المحدود، مثل درجة حرارة سطح البحر و الغطاء النباتي الطبيعي و ظروف زراعة المحاصيل، كذلك يمكن إنتاج الصور المجمعة "Mosaics" التي توفر تغطية لمساحات واسعة باستخدام مجموعات عديدة من البيانات التي تم الحصول عليها بواسطته .





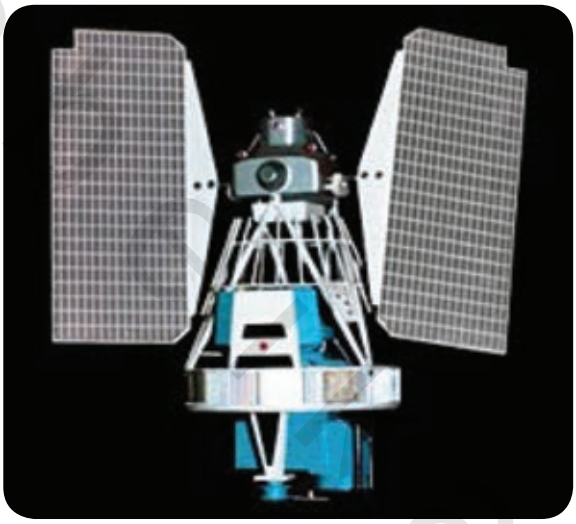
أقمار أخرى خاصة بالطقس:

تقوم الولايات المتحدة بتشغيل سلسلة الأقمار الصناعية "DMSP" (Defense Meteorological Satellite Program) والتي تستخدم في مجال الأرصاد الجوية أيضاً، و تقع تلك الأقمار في المدارات القطبية، و جهاز الاستشعار المستخدم بها يسمى "OLS" (Operational Line-scan System)، و الذي يقوم بعمل تغطيتين يوميا، و يكون عرض الرقعة التي تتم تغطيتها حوالي ٣٠٠٠ كم، والدقة المكانية ٢,٧ كم. كما أن له نطاقين واسعين إلى حد ما من الأطوال الموجية: نطاق الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة (٠,٤ إلى ١,١ ميكرومتر)، ونطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية (١٠,٠ إلى ١٣,٤ ميكرومتر). من الخصائص المميزة لذلك المستشعر قدرته على التقاط الصور بالضوء المرئي أثناء الليل، و ذلك رغم عدم جودة ظروف الإضاءة، مما جعل من الممكن التقاط صور مدهشة للأرض تظهر الإضاءة الليلية للتجمعات الحضارية الكبيرة.

يوجد الكثير من أقمار الأرصاد الجوية الأخرى تم إطلاقها و تشغيلها بواسطة دول أخرى أو مجموعة من الدول، من تلك الدول اليابان بسلسلة أقمار "GMS"، و دول «الاتحاد الأوروبي» بسلسلة أقمار "Meteosat". كل من أقمار السلسلتين يدور في المدار الجغرافي الثابت فوق خط الاستواء عند كل من اليابان و أوروبا، و توفر تلك الأقمار صوراً كل نصف ساعة مثل سلسلة أقمار "GOES". أقمار "GMS" لها نطاقان من الأطوال الموجية: من ٠,٥ إلى ٠,٧٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ١,٢٥ كم)، و من ١٠,٥ إلى ١٢,٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم). أما أقمار "Meteosat"، فلها ثلاثة نطاقات: الضوء المرئي من ٠,٤ إلى ١,١ ميكرومتر (الدقة المكانية ٢,٥ كم)، الأشعة تحت الحمراء المتوسطة من ٥,٧ إلى ٧,١ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم)، و الأشعة تحت الحمراء الحرارية من ١٠,٥ إلى ١٢,٥ ميكرومتر (الدقة المكانية ٥ كم).

٢ـ١٢ الأقمار و المستشعرات الخاصة بمراقبة سطح الأرض:

لاند سات "Landsat":



بالرغم من أن العديد من أقمار الأرصاد الجوية (كما ذكرنا في الجزء السابق) تستخدم أيضاً لمراقبة سطح الأرض ، إلا أنها غير مهيأة لرصد، و رسم الخرائط التفصيلية لسطح الأرض، بفضل النجاح الكبير لأقمار الأرصاد الجوية الأولى في الستينيات و الصور التي تمكنت من رصدها، بالإضافة إلى الصور التي تم التقاطها أثناء الرحلات المأهولة إلى الفضاء، تم تصميم أول قمر صناعي مخصص لأغراض مراقبة سطح الأرض، و هو "لاند سات ـ ١" "Landsat ـ 1" ، و تم إطلاقه بواسطة وكالة "ناسا" عام ١٩٧٢ .

و تمت تسميته أولاً بـ "ERTS-1" اختصاراً لـ(Earth Resources Technoogy Satellite) ، وكان مصمماً كتجربة لاختبار إمكانية التقاط صور متعددة الأطياف لسطح الأرض بواسطة قمر صناعي لا يوجد به رواد فضاء .

و منذ ذلك الوقت ، قام هذا البرنامج الناجح بجمع الكثير من البيانات من مختلف أنحاء العالم بواسطة أقمار "لاند سات"، في البداية كانت وكالة ناسا هي المسئولة عن تلك الأقمار، ثم تم تسليم مسئوليتها إلى منظمة "NOAA" و ذلك عام ١٩٨٣، و تم تحويل البرنامج إلى برنامج تجاري يستخدم في التطبيقات المدنية في عام ١٩٨٥.

وكان نجاح تلك السلسلة نتيجة لعدة عوامل منها: مجموعة من المستشعرات ذات النطاقات الطيفية المصممة خصيصاً لمراقبة سطح الأرض، الدقة المكانية، و التغطية المساحية الجيدة (عرض الرقعة التي يتم تصويرها و زمن إعادة الزيارة) . المدة الطويلة للبرنامج سمحت بتكوين أرشيف ضخم عن موارد الأرض، مما سهل مراقبة سطح الأرض لمدة طويلة ، و كذلك سهل الكثير من «الأبحاث و التسجيلات التاريخية»، كل أقمار "لاند سات" تقع في المدارات القطبية المتزامنة مع الشمس، كانت الأقمار الثلاثة الأولى من السلسلة " لاندسات ١ـ٣" تقع على ارتفاع حوالي ٩٠٠ كم و زمن إعادة الزيارة الخاص بها ثمانية عشر يوماً، بينما الأقمار التالية كانت على ارتفاع حوالي ٧٠٠ كم و زمن إعادة الزيارة الخاص بها هو ستة عشر يوماً، جميع أقمار "لاندسات" تمر بخط الاستواء أثناء النهار ، و ذلك لضمان ظروف إضاءة جيدة .

يوجد العديد من المستشعرات على متـــن أقمار "لاند ســـات"، منها :

- أنظمـــة التصويـــر "Return Beam Vidicon" (RBV) .
- و المـــاسح الضوئي متعدد الأطيـاف "Multispectral Scanning Systems" (MSS) .
- و «راسم الخرائط الموضوعي» "Thematic Mapper" (TM) .

أكثر الأدوات اسـتخداماً في بداية إطلاق "لاند سـات" كان "الماسح الضوئي متعدد الأطياف" و لاحقاً أصبح "راسـم الخرائط الموضوعي" "Thematic Mapper" هو الأكثر اسـتخداماً، كل من هذه المستشـعرات يسـتطيع جمع البيانات على رقعة عرضها ١٨٥ كم، و تكون مسـاحة المشـهد كاملاً ١٨٥كم × ١٨٥ كم .

«الماسـح الضوئي» متعدد الأطياف منها يقيس الإشـعاع الكهرومغناطيسي من سطح الأرض علـى مـدى أربعـة نطاقـات طيفيـة، كل منها له دقـة مكانيـة : ٦٠×٨٠ مـترا، و دقة القياسـات الإشـعاعية تسـاوي ٦ بت أو ٦٤ رقم، تتم عملية المسح خطياً باستخدام مرآة، و يتم مسح كل ستة خطـوط معاً مع كل حركة للمرآة من الغرب إلى الشـرق، الجدول التالـي يوضح نطاقات الأطوال الموجية للماسحات الضوئية "MSS":

مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)	القنـــــــاة	
	لاندسات ٤، ٥	لاندسات ١، ٢، ٣
٠,٥ – ٠,٦ (الأخضر)	MSS 1	MSS 4
٠,٦ ـ ٠,٧ (الأحمر)	MSS 2	MSS 5
٠,٧ – ٠,٨ (أشعة تحت حمراء قريبة)	MSS 3	MSS 6
٠,٨ – ١,١ (أشعة تحت حمراء قريبة)	MSS 4	MSS 7

و توقف جمع البيانات بواسـطة الماسـحات الضوئية المتعددة الأطياف "MSS" عام ١٩٩٢، و ذلك لبدء استخدام راسم الخرائط الموضوعي "TM" بداية من "لاند سات ـ ٤".

حيث إن المستشعر الخاص بماسحات الخرائط «TM» يتفوق على المستشعر الخاص بالماسحات الضوئية «MSS» من حيث :

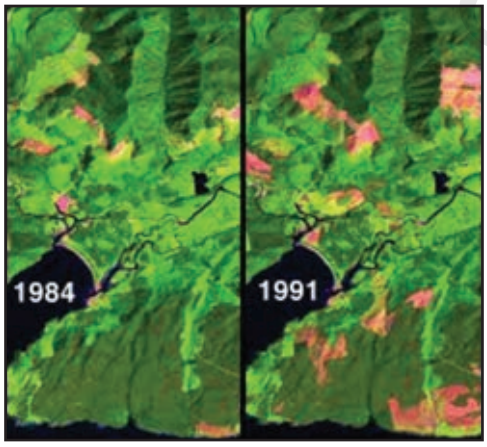
- زيادة الدقة المكانية ودقة القياسات الإشعاعية .
- نطاقات طيفية أدق حيث إن له سبعة نطاقات طيفية على عكس الماسحات الضوئية التي لها أربعة نطاقات فقط .
- زيـادة عـدد أجهزة الرصـد الخاصة بكل نطـاق (حيث أصبـح عددها ١٢ راصـداً للنطاق غير الحراري مقابل ٦ فقط للماسحات الضوئية) ، وبالتالي أصبح يمكن مسح ستة عشر خطا معا لكل نطاق غير حراري (وأربعة خطوط للنطاق الحراري) .
- استخدام مرآة متحركة تقوم بالمسح أثناء حركتها من الغرب للشرق، وأثناء عودتها من الشرق للغرب .

أدت تلك الاختلافات إلى زيادة زمن السكون و تحسن البيانات هندسياً و إشعاعياً، الدقة المكانية لماسح الخرائط الموضوعي هي ٣٠ م، و ذلك لكل النطاقات ماعدا نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية فتكون ١٢٠ متراً، و يتم تسجيل جميع النطاقات باستخدام ٨ بت أي ٢٥٦ رقم.

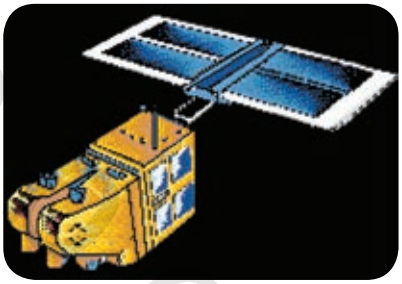
الجدول التالي يوضح النطاقات المختلفة لماسح الخرائط "TM" و بعض تطبيقاتها.

القناة	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)	التطبيقات
TM 1	٠,٤٥ – ٠,٥٢ (الأزرق)	تمييز التربة / المزروعات، رسم الخرائط الساحلية / خرائط قياس الأعماق، تحديد المناطق الحضارية والعمرانية.
TM 2	٠,٥٢ – ٠,٦٠ (الأخضر)	رسم خرائط النباتات، تحديد المناطق الحضارية و العمرانية.
TM 3	٠,٦٣ – ٠,٦٩ (الأحمر)	تحديد المناطق المزروعة و الغير مزروعة، تحديد أنواع المزروعات المختلفة (عن طريق درجة امتصاص الكلوروفيل الخاص بكل نبات)، تحديد الخصائص الحضارية والعمرانية.
TM 4	٠,٧٦ – ٠,٩ (الأشعة تحت الحمراء القريبة)	تحديد أنواع النباتات و المزروعات، و صحتها و كتلتها الحيوية، ورطوبة التربة.
TM 5	١,٥٥ – ١,٧٥ (الأشعة تحت الحمراء القصيرة)	تحديد الرطوبة في النباتات و التربة، و تمييز المناطق التي يغطيها الثلج أو السحب.
TM 6	10.4 – 12.5 (أشعة تحت حمراء حرارية)	تحديد رطوبة التربة حسب الإشعاع الحراري، ورسم الخرائط الحرارية.
TM 7	٢,٠٨ – ٢,٣٥ (أشعة تحت حمراء قصيرة)	تمييز أنواع المعادن و الصخور، كذلك تحديد محتوى الرطوبة في النباتات.

البيانات التي يتم الحصول عليها، بواسطة الماسحات متعددة الأطياف و ماسح الخرائط الموضوعي، تستخدم في الكثير من التطبيقات، مثل إدارة الموارد الطبيعية، رسم الخرائط، ورصد التغيرات (مثل مراقبة قطع الغابات).



«سبوت» "SPOT":



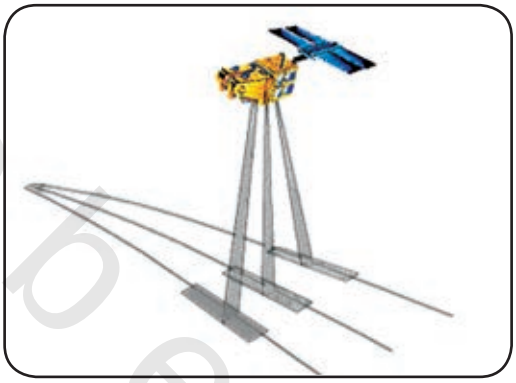
"سبوت" هي سلسلة أقمار "فرنسية" (Pour l'Observation de la Terre SPOT (Système، تم تصميمها و إطلاقها بواسطة «المركز الوطني للدراسات الفضائية» CNES) (Centre National d'Études Spatiales) بفرنسا، وبدعم من كل من «السويد» و «بلجيكا».

تم إطلاق أول قمر من السلسلة "سبوت ـ ١" "SPOT ـ 1" عام ١٩٨٦، و تتابع إطلاق باقي أقمار السلسلة كل ثلاث أو أربع سنوات. كل أقمار السلسلة تقع في مدارات قطبية متزامنة مع الشمس، على ارتفاع حوالي ٨٣٠ كم فوق الأرض، مما ينتج عنه أن كل منها يتم دورته كل ستة و عشرين يوما، و تمر تلك الأقمار بخط الاستواء حوالي الساعة العاشرة و النصف صباحاً حسب التوقيت الشمسي المحلي، تم تصميم «سبوت» بحيث يكون مصدراً تجارياً للمعلومات عن سطح الأرض، و كان أول قمر صناعي يستخدم تقنية المسح الضوئي على طول المسار (along_track or push_broom scanning).

كل أقمار "سبوت" لها اثنان من أنظمة التصوير عالية الدقة (HRV) (high resolution visible) و يمكن تشغيلهما معاً أو كل منهما على حدة، و كل منها يستطيع الاستشعار إما في وضع بانوكروماتي عالي الدقة على قناة واحدة (PLA mode)، أو في وضع متعدد الأطياف منخفض الدقة على ثلاث قنوات (MLA mode)، و تتكون مستشعرات "HRV" من أربع مصفوفات خطية من أجهزة الرصد، المصفوفة التي تتكون من ستة آلاف عنصر الخاصة بالوضع البانوكروماتي، دقتها المكانية تصل إلى ١٠م، أما المصفوفة التي تتكون من ثلاثة آلاف عنصر الخاصة بالوضع متعدد الأطياف، فلها دقة مكانية ٢٠م، أما عرض الرقعة التي يتم تصويرها لكل من الوضعين وهو ٦٠ كم عند نقطة النظير. الجدول التالي يوضح الخصائص الطيفية لكل من الوضعين الخاصين بنظام "HRV".

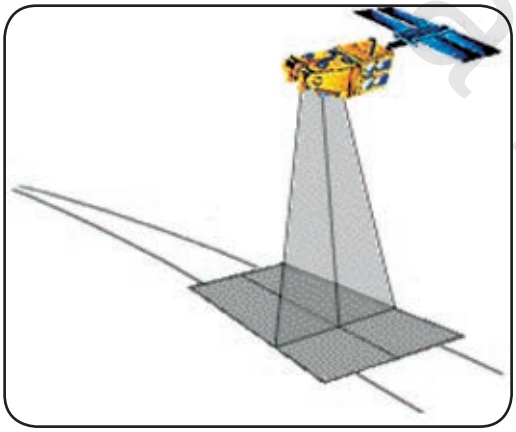
الوضع / النطاق	مدى الأطوال الموجية (ميكرومتر)
الوضع البانوكروماتي	0.51 – 0.73 (أزرق-أخضر-أحمر)
الوضع متعدد الأطياف	
النطاق ١	0.50 – 0.59 (أخضر)
النطاق ٢	0.61 – 0.68 (أحمر)
النطاق ٣	0.79 – 0.89 (الأشعة تحت الحمراء القريبة)

زاوية الرؤية الخاصة بالمستشعر يمكن تعديلها بحيث ترى كلاً من جانبي القمر، وذلك يسمح بالرؤية أبعد من نقطة النظير، مما يحسن زمن إعادة الزيارة.



هذه القدرة على توجيه المستشعرات حتى ٢٧° من نقطة النظير ، تمكن القمر "سبوت" من رؤية ٩٥٠ كم من الأرض، كما تمكنه من زيارة أي مكان عدة مرات في الأسبوع، و كلما ابتعدت المستشعرات عن نقطة النظير، تغير عرض الرقعة من ٦٠ إلى ٨٠ كم . ذلك لايؤدي فقط إلى تحسن مراقبة مناطق معينة و زيادة فرصة التقاط صور خالية من السحب، و لكنه أيضاً يسمح بالحصول على تغطية مجسمة، و ذلك عن طريق تصوير نفس المنطقة من زاويتين مختلفتين ، و بالتالي يمكن عرض الصورة كنموذج مجسم ، و تعتبر تلك الطريقة ذات أهمية كبيرة جداً في دراسة تضاريس سطح الأرض .

هذه القدرة على التصوير بشكل مائل تزيد من فرصة إعادة الزيارة للمناطق الاستوائية إلى ثلاثة أيام (سبع مرات خلال ستة و عشرين يوما هي الفترة المدارية للقمر). المناطق التي عند خط عرض ٤٥، يمكن تصويرها بكمية أكبر (إحدى عشرة مرة خلال ستة و عشرين يوماً)، و ذلك نتيجة التقاء مسارات الأقمار الصناعية عند القطبين. عند توجيه المستشعرين "HRV" لتغطية المناطق المتجاورة من سطح الأرض عند نقطة النظير ، يتمكن القمر من رصد رقعة باتساع ١١٧ كم (توجد منطقة تداخل يقوم المستشعران برصدها معاً، وتصل إلى ٣ كم). عند استخدام ذلك الوضع للرصد، فإنه يكون بإمكاننا التصوير في الوضع البانوكروماتي أو الوضع متعدد الأطياف و ليس كليهما .



يتميز قمر "سبوت" بعدة مميزات عن الأقمار الأخرى، وهي: دقته المكانية العالية ومستشعراته التي يمكن توجيهها، كما أن المعلومات التي يجمعها في الوضع متعدد الأطياف مناسبة لعرضها كصور "باللون الزائف" "false - color"، ويمكن استخدام الصور بالوضع البانوكروماتي لتحسين الصور الملتقطة في الوضع متعدد الأطياف وزيادة وضوحها، كما يسمح "سبوت" للتطبيقات التي تحتاج دقة مكانية عالية (مثل التخطيط العمراني) أن تستفيد من المعلومات التي يزودها القمر مع الحفاظ على التكلفة، والوقت المناسب للاستفادة من تلك البيانات، كما أنه يوجد الكثير من التطبيقات التي يستخدم فيها القمر "سبوت"، مثل التطبيقات التي تحتاج مراقبة بصفة دورية (الزراعة، ومراقبة الغابات)، كذلك فإن الحصول على صور مجسمة يستخدم في مجال رسم الخرائط، والحصول على معلومات طبوغرافية عن سطح الأرض (Digital Elevation Models - DEMS).

سلسلة أقمار IRS:

سلسلة أقمار الاستشعار عن بعد «الهندية» (Indian Remote Sensing (IRS"، تجمع صفات مستشعرات القمر "لاند سات" وكذلك مستشعرات القمر "سبوت"، تم إطلاق ثالث أقمار المجموعة "IRS-1C" في ديسمبر عام ١٩٩٥، وكان لذلك القمر ثلاثة أجهزة استشعار وهي: وحدة تصوير في الوضع البانوكروماتي (PAN) ذات دقة عالية، ومستشعر ذو دقة متوسطة يقوم بالمسح الضوئي الخطي وله أربع قنوات "LISS-III"، ومستشعر منخفض الدقة ذو نطاق رؤية كبير "WiFS".

الجدول التالي يوضح المستشعرات الخاصة بتلك السلسلة:

المستشعر	الطول الموجي (ميكرومتر)	الدقة المكانية (م)	عرض الرقعة المصورة (كم)	زمن إعادة الزيارة (عند خط الاستواء) (بالأيام)
الوضع البانوكروماتي	0.75 – 0.5	5.8	70	24
LISS-III				
الأخضر	0.59 – 0.52	23	142	24
الأحمر	0.68 – 0.62	23	142	24
أشعة تحت حمراء قريبة	0.86 – 0.77	23	142	24
أشعة تحت حمراء قصيرة	1.70 – 1.55	70	148	24
WiFS				
الأحمر	0.68 – 0.62	188	774	5
أشعة تحت حمراء قريبة	0.86 – 0.77	188	774	5

بالإضافة إلى دقته المكانية العالية ، فإن المستشعر الخاص بالوضع البانوكروماتي يمكن توجيهه حتى ٢٦° خلال المسار ، مما يسمح بالتصوير المجسم و يحسن زمن إعادة الزيارة (يصبح خمسة أيام)، مثل القمر "سبوت"، و تستخدم تلك البيانات ذات الدقة العالية في تطبيقات التخطيط العمراني و رسم الخرائط، النطاقات الأربعة للمستشعر متعدد الأطياف "LISS ـ III" تشبه تلك الخاصة براسم الخرائط الموضوعي "TM" للقمر "لاند سات"، و هي مناسبة لتمييز النباتات و رسم الخرائط و إدارة الموارد الطبيعية، أما المستشعر "WiFS" ، فهو يشبه المستشعر "AVHRR" الخاص بأقمار "نوا" "NOAA" ، و هو مناسب لمتابعة النباتات على نطاقات محلية .

١٣ـ٢ أقمار المراقبة البحرية:

تغطي المحيطات أكثر من ثلثي مساحة سطح الأرض ، و تلعب دوراً هاماً في المناخ العالمي ، كما أنها تحتوي على كم هائل من الكائنات الحية ، و الموارد الطبيعية، و هي معرضة للتلوث والمخاطر الأخرى التي يتسبب فيها «الإنسان» . أقمار الأرصاد الجوية ، و أقمار المراقبة الأرضية التي ذكرناها سابقاً يمكنها مراقبة المحيطات، و لكن هناك أجهزة استشعار و أقمار أخرى تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض .

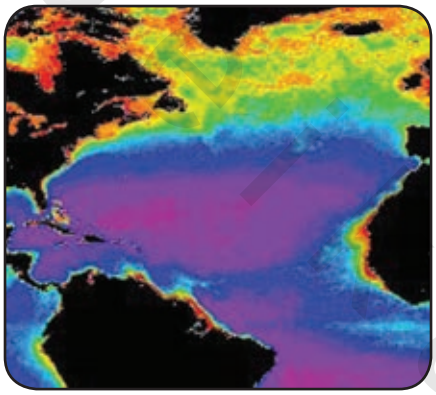
قمر "Nimbus ـ 7":

قمر "Nimbus ـ 7" تم إطلاقه عام ١٩٧٨ ، و كان على متنه أول جهاز استشعار خاص بالمحيطات "الماسح الضوئي الخاص بالمناطق الساحلية" (CZCS) (Coastal zone Colour Scanner) الهدف الأساسي لذلك المستشعر هو مراقبة درجة حرارة و لون سطح المحيط في المناطق الساحلية بشكل خاص، و ذلك بدقة مكانية و طيفية مناسبة لتحديد وجود ملوثات في المستويات العليا من المحيط، و تحديد نوع المواد العالقة بالماء .

وتم وضع ذلك القمر في مدار قطبي متزامن مع الشمس على ارتفاع ٩٥٥ كم. يمر القمر بخط الاستواء في فترة الظهيرة حسب التوقيت المحلي ، و ذلك أثناء مروره صعوداً ، و في منتصف الليل أثناء نزوله، و يستطيع القمر تغطية الأرض بالكامل كل ستة أيام، أو كل ٨٣ دورة مدارية .

و يمتلك المستشعر "CZCS" ستة نطاقات في مجال الضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء القريبة، والأشعة تحت الحمراء الحرارية، كل منها له دقة مكانية تصل إلى ٨٢٥ م عند نقطة النظير، و يكون اتساع الرقعة التي يتم رصدها حوالي ١٥٦٦ كم. الجدول التالي يوضح النطاقات الطيفية وما يتم استخدامها لرصده :

القناة	نطاق الأطوال الموجية	العنصر الذي يتم رصده
1	0.45 – 0.43	درجة امتصاص الكلوروفيل
2	0.53 – 0.51	درجة امتصاص الكلوروفيل
3	0.56 – 0.54	تحديد وجود مادة "Gelbstoffe"
4	0.68 – 0.66	درجة تركيز الكلوروفيل
5	0.80 – 0.70	النباتات
6	12.50 – 10.50	درجة حرارة سطح الأرض



كما نرى من الجدول أن النطاقات الأربعة الأولى للمستشعر ضيقة جداً، فقد تم اختيارها بحيث تستطيع التمييز بين الاختلافات في انعكاسات سطح الماء نتيجة العوالق النباتية، وكذلك الجزيئات الأخرى العالقة في الماء، بالإضافة إلى رصد النباتات الموجودة على سطح الماء، فإن النطاق الخامس يستخدم لتمييز الماء عن الأرض قبل معالجة المعلومات الخاصة بالنطاقات الأخرى، و توقف استخدام ذلك النوع من المستشعرات عام ١٩٨٦.

قمر "MOS":

أطلقت «اليابان» أول أقمار تلك السلسلة (Marine Observation Satellite) "MOS-1" في فبراير عام ١٩٨٧، ثم تبعه القمر "MOS-1b" في فبراير عام ١٩٩٠. يحمل كل من تلك الأقمار ثلاثة أجهزة استشعار مختلفة :

١- مستشعر إلكتروني له أربعة نطاقات طيفية (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) "MESSR"

٢- مستشعر لمجال الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء الحرارية له أربعة نطاقات "VTIR" (Visible and Thermal Infrared Radiometer)

٣- مستشعر لنطاق أشعة الميكروويف له نطاقان طيفيان فقط ..

"MSR" (Microwave Scanning Radiometer)

وفيما يلي جدول يوضح خصائص المستشعرين في نطاق الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء:

المستشعر	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)	الدقة المكانية (م)	اتساع الرقعة المرصودة (كم)
	0.59 – 0.51	50	100
	0.69 – 0.61	50	100
	0.80 – 0.72	50	100
	1.10 – 0.80	50	100
VTIR	0.70 – 0.50	900	1500
	7.0 – 6.0	2700	1500
	11.5 – 10.5	2700	1500
	12.5 – 11.5	2700	1500

النطاقات الخاصة بالمستشعر "MESSR" تشبه نطاقات المستشعر "MSS" الخاصة بالقمر "لاند سات"، و هي مفيدة لمراقبة سطح الأرض إلى جانب المراقبة البحرية. يدور القمر "MOS" على ارتفاع ٩٠٠ كم ، و زمن إعادة الزيارة الخاص به هو ١٧ يوما .

جهاز الاستشعار "SeaWiFS":

سمي بذلك اختصاراً لـ (Sea ـ viewing Wide ـ Field Sensor)، و يوجد على متن مركبة الفضاء "SeaStar" ، و هو جهاز استشعار متقدم تم تصميمه لمراقبة المحيطات، يتكون من ٨ نطاقات طيفية كل منها تغطي مدى صغيراً من الأطوال الموجية، مصممة خصيصا لمراقبة و رصد الظواهر الخاصة بالمحيطات مثل : العوالق النباتية بالمحيطات، و تأثير المحيطات على العمليات المناخية (مثل الاحتفاظ بالحرارة، و تكون الضباب)، و مراقبة جزيئات الكربون، و الكبريت، و النيتروجين .

ارتفاع المدار الخاص به ٧٠٥ كم، و التوقيت المحلي لمروره بخط الاستواء عند منتصف اليوم، ويوجد دقتان مكانيتان يستطيع أن يرصد بهما المستشعر ، كما أن عرض الرقعة التي يتم تصويرها له قيمتان أيضاً :

دقة مكانية عالية تصل إلى ١,١ كم (عند نقطة النظير) على رقعة اتساعها ٢٨٠٠ كم، ودقة مكانية أقل تصل إلى ٤,٥ كم (عند نقطة النظير) على رقعة اتساعها ١٥٠٠ كم .

وفي الجدول التالي نستعرض النطاقات الطيفية للمستشعر "SeaWiFS":

القناة	نطاق الأطوال الموجية (ميكرومتر)
1	0.422 – 0.402
2	0.453 – 0.433
3	0.500 – 0.480
4	0.520 – 0.500
5	0.565 – 0.545
6	0.680 – 0.660
7	0.785 – 0.745
8	0.885 – 0.845

وتعتبر أقمار مراقبة المحيطات مهمة لمراقبة أماكن التلوث على النطاق الإقليمي أو العالمي، مما يسهل مهمة العلماء في دراسة تأثير المحيطات على المناخ العالمي.

١٤-٢ أجهزة استشعار أخرى:

في الأجزاء الثلاثة السابقة تعرضنا لأنظمة استشعار عن بعد معينة، و لكن يوجد العديد من أجهزة الاستشعار الأخرى الأقل شيوعاً.. وفيما يلي نتعرض باختصار لتلك الأجهزة.

نظام التصوير بالفيديو "Video":

رغم أن دقته المكانية أقل من التصوير العادي أو الرقمي، إلا أنه يوفر صوراً جيدة و غير مكلفة، حيث توجد تطبيقات تحتاج صوراً بهذه المواصفات، مثل مكافحة الكوارث الطبيعية (الحرائق، و الفيضانات)، و تقييم المحاصيل واكتشاف إصابتها بالأمراض، و المراقبة الشُرطية، آلات التصوير المستخدمة في تصوير الفيديو تقيس الإشعاع في نطاقين من الطيف الكهرومغناطيسي، الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء القريبة، وتسجل على شريط و يمكن عرضها مباشرة.

FLIR

هو نظام يعمل في نطاق الأشعة تحت الحمراء، سمي بذلك اختصاراً (Forward Looking Infr Red) و هو يعمل بطريقة تشبه المسح الضوئي خلال المسار، و لكن زاوية التصوير تكون مائلة وليست رأسية، و يتم تثبيته على متن طائرة مروحية أو طائرة عادية، لتلك الأنظمة دقة مكانية عالية مما يجعلها صالحة للاستخدام في التطبيقات العسكرية، و عمليات البحث و الإنقاذ، و تطبيق القانون، و مراقبة حرائق الغابات.

جهاز استشعار بواسطة الليزر "Laser Fluorosensor":

توجد بعض الأهداف التي تضيء أو تبعث طاقة عند سقوط قدر من الطاقة عليها. والعملية التي تحدث هنا ليست مجرد انعكاس أو إعادة إشعاع للطاقة الساقطة ، ولكن سقوط تلك الطاقة على الهدف يؤدي إلى امتصاصها، ثم إثارة المكونات الجزيئية لمادة الهدف، و بالتالي يتم إشعاع الأطوال الموجية الكبيرة و يقوم المستشعر برصدها. أجهزة الاستشعار تلك تقوم بإشعاع أطوال موجية معينة و لكنها ترصد العديد من الأطوال الموجية التي تشعها الأهداف فيما بعد، و قد أثبتت تلك التقنية ملاءمتها لتطبيقات مراقبة المحيطات أيضاً، مثل تحديد الكلوروفيل، و وجود الملوثات ، و كذلك «البقع النفطية» التي تتكون طبيعياً أو بشكل عارض .

Lidar :

هذا الاسم هو اختصار (Light Detection And Ranging)، و هو نظام تصوير قريب من نظام الرادار "RADAR". يتم إرسال نبضات من أشعة الليزر بواسطة المستشعر، ثم يقوم برصد الطاقة المنعكسة عن الأهداف. يتم تحديد المسافة بين الهدف و جهاز الاستشعار عن طريق الوقت الذي تستغرقه الأشعة لتصل إلى الهدف ثم تعود ثانية إلى الجهاز. و عادة ما يستخدم هذا الجهاز في تحديد الارتفاعات لبعض الأهداف، مثل ارتفاع أشجار الغابات عن سطح الأرض، و عمق المياه، كذلك يتم استخدامه لدراسة الغلاف الجوي، حيث يمكنه معرفة الجزيئات الموجودة بالغلاف الجوي، و كثافة الغلاف الجوي .

الرادار "RADAR":

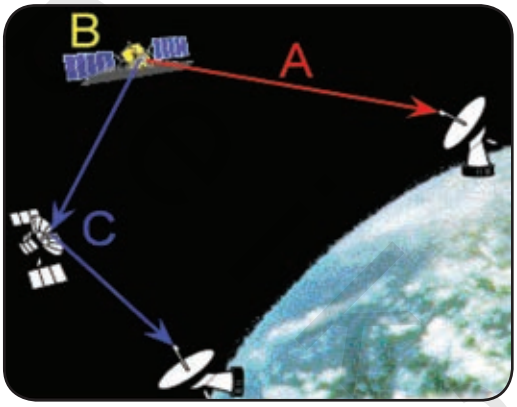
تشير تلك الكلمة للأحرف الأولى من جملة (Radio Detection And Ranging). ويمكن اعتباره مستشعراً إيجابياً، حيث إنه يمتلك مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية الخاص به، ويمكن أن يستخدم على متن طائرة أو قمر صناعي. يقوم الرادار بإرسال سلسلة نبضات من أشعة الميكروويف، باتجاه مائل على السطح، و لكنه عمودي على اتجاه الحركة. عندما تصل الأشعة إلى الهدف ، ينعكس بعضها عائداً إلى الجهاز، حيث يقوم بقياس قيمتها و الوقت الذي استغرقته لتصل إلى الهدف ثم تعود للجهاز، و بذلك يمكن تحديد المسافة بين الجهاز والهدف، و بعد تحديد قيم الطاقة المنعكسة- عن كل الأهداف التي مر بها الجهاز- و الوقت الذي استغرقته، يتم رسم صورة ثنائية الأبعاد لسطح المكان .

حيث إن الرادار يمتلك مصدر طاقة خاصاً به، فهو يستطيع العمل ليلاً أو نهاراً، كما أن أشعة الميكروويف يمكنها اختراق السحب و معظم الأمطار، فبالتالي يمكن استخدامه في كل فصول السنة .

نظراً لأهمية «أشعة الميكروويف» في مجال الاستشعار عن بعد ، فإن الفصل الثالث سيتعرض لها بالتفصيل ، مع التركيز على الاستشعار عن بعد بواسطة الرادار .

١٥-٢ إرسال واستقبال ومعالجة البيانات:

البيانات التي يتم الحصول عليها من التصوير الجوي، يتم التعامل معها فور هبوط الطائرة، ثم تتم معالجتها و توصيلها للمستخدم النهائي، أما المعلومات التي تأتي من الأقمار الصناعية، فيجب إرسالها للأرض إلكترونياً، حيث إن القمر يستمر في مداره طوال فترة حياته. التقنيات المستخدمة في تلك العملية، يمكن تطبيقها على التصوير الجوي أيضاً إذا كانت هناك حاجة عاجلة لتلك البيانات.



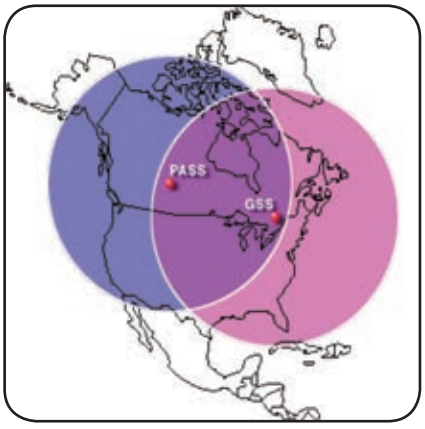
يوجد ثلاث طرق أساسية لإرسال البيانات من القمر إلى الأرض:

١- يمكن إرسالها مباشرة إلى الأرض، إذا كانت هناك محطة استقبال أرضية (GRS) على نفس خط رؤية القمر (A) .

٢- إذا لم تتوافر محطة الاستقبال ، فيتم تسجيل البيانات على متن القمر و يتم إرسالها في وقت لاحق عند وجود محطة استقبال متاحة (B) .

٣- كذلك يمكن إرسال البيانات إلى محطة الاستقبال، عن طريق أقمار تتبع و إرسال البيانات (TDRSS)، و هي عبارة عن سلسلة أقمار موجودة في مدار جغرافي متزامن، و ترسل البيانات من قمر إلى آخر حتى تصل إلى محطة الاستقبال (C) .

تصل البيانات إلى محطة الاستقبال بصيغة رقمية أولية، و تحتاج إلى تصحيح بعض التشوهات الهندسية و الجوية، ثم تحويلها إلى صيغ معتمدة ليتم استخدامها. يتم تخزين البيانات على شرائط أو أقراص مدمجة "CD"، و يتم التعامل مع تلك البيانات بواسطة الحكومات و بعض الشركات التجارية .



في بعض أجهزة الاستشعار يمكن إرسال البيانات سريعاً للمستخدمين فور التقاطها، حيث يمكن إنتاج صور منخفضة الدقة خلال ساعات من الحصول على البيانات، و يمكن إرسال تلك الصور رقمياً أو بواسطة الفاكس للمستخدمين النهائيين. أحد تطبيقات تلك الأنظمة، هو إرسال صور للسفن في المناطق القطبية، لتقييم أحوال الجليد بالمنطقة و ذلك لاتخاذ قرارات ملاحية باختيار أكثر الطرق سهولة و أماناً عبر الجليد.

كما تستخدم أيضاً لإرسال صور فورية لفرق مكافحة حرائق الغابات ليتمكنوا من تحديد الموقف .

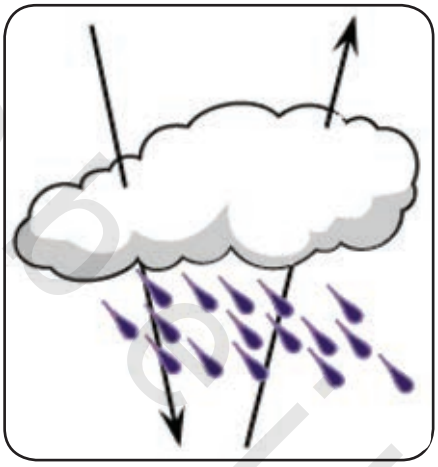
الفصل الثالث

الاستشعار من البعد
باستخدام أشعة الميكروويف

obeikan.com

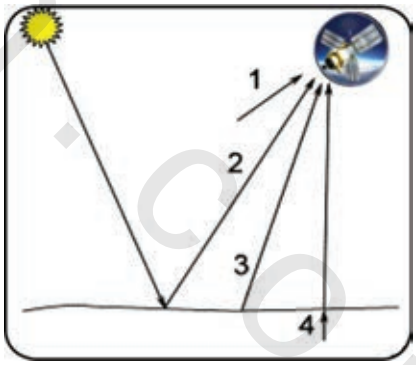
obeikan.com

مقدمة:



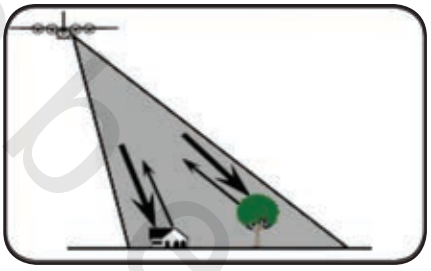
يشمل الاستشعار بأشعة «الميكروويف»، النوعين السلبي و الإيجابي. و كما ذكرنا في الفصل الثاني ، فإن حيز أشعة الميكروويف يغطي الأطوال الموجية من ١سم إلى ١م . و لأن أطوالها الموجية كبيرة – مقارنة بالضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء- فهي تمتلك خصائص مميزة تجعل لها أهمية خاصة في مجال الاستشعار من البعد، فأشعة "الميكروويف" ذات الأطوال الموجيه الكبيرة لها القدرة على اختراق غطاء السحب ، والضباب، و الغبار، ولا تتعرض للتشتت في الغلاف الجوي بتأثير الأمطار الغزيرة التى تؤثر على الموجات الضوئية ذات الأطوال القصيرة، تلك الخاصية تتيح رصد طاقة الميكروويف فى كافة الظروف الجوية و البيئية ، وبالتالى يمكن استخدامها فى جميع الأوقات .

الاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف يشبه في مفهومه استشعار الأشعة الحرارية، فكل الأجسام يصدر عنها قدر من أشعة الميكروويف و لكنها بطاقة صغيرة جداً. ويقوم «المستشعر السلبي» برصد و قياس هذه الأشعة- التي تشعها الأجسام بشكل طبيعي- خلال مجال تغطيته هذه الطاقة المنبعثة ترتبط بدرجة الحرارة و الرطوبة الخاصة بالسطح الذي تنبعث منه. وهذة الأجهزة (راديوميترات أو ماسحات) وتعمل بأسلوب تشبه الماسحات الضوئية و معظم أجهزة الاستشعار التي ذكرناها سابقاً، والاختلاف، هو استخدام هوائى (antenna) لرصد و تسجيل أشعة الميكروويف.



أشعة الميكروويف التي يقوم المستشعر بتسجيلها، قد تكون منبعثة من الغلاف الجوي (١)، أو منعكسة عن سطح ما (٢)، أو منبعثة بواسطة سطح ما (٣)، أو منتقلة عبر سطح ما (٤). نظراً لأن أطوالها الموجية كبيرة فإن طاقتها تكون قليلة بالمقارنة بالموجات الضوئية، و بالتالي فإن مجال الرؤية للمستشعر يجب أن يكون كبيراً ليتمكن من رصد كمية طاقة كافية. ومعظم أجهزة الاستشعار الخاصة بأشعة الميكروويف لها قدره تفريق مكانية قليلة. (spatial resolution) يوجد العديد من التطبيقات للاستشعار السلبي لأشعة الميكروويف، منها الأرصاد الجوية، وعلم المياه، وعلم المحيطات. يستطيع علماء الأرصاد الجوية استخدام أشعة الميكروويف لتحديد كمية الماء و الأوزون بالغلاف الجوي .

أما العلماء الذين يقومون بدراسة خصائص المياه، فيستخدمون أشعة الميكروويف لقياس درجة رطوبة التربة ، حيث ان انبعاث أشعة الميكروويف يتأثر بالرطوبة. تطبيقات دراسة المحيطات تشمل رسم الخرائط للجليد و التيارات في البحار و المحيطات ، و كذلك الرياح السطحية ، و تحديد أماكن التلوث مثل البقع النفطية .



المستشعرات الإيجابية لأشعة الميكروويف ، هي التي تمتلك مصدراً خاصاً بها لإرسال الأشعة إلى الهدف.

و عادة ما ينقسم هذا النوع من المستشعرات إلى قسمين: تصويري و غير تصويري وأكثر الأجهزة شيوعاً في النوع التصويري هو «الرادار» (RADAR ـ Radio Detection and Ranging) حيث يقوم جهاز «الرادار» بإرسال أشعة الميكروويف تجاه الهدف، ثم يقوم برصد الأشعة التي ترتد منه و بقياس شدة تلك الأشعة، يمكن التمييز بين الأهداف المختلفة، و الوقت بين إرسال الأشعة إلى الهدف و عودتها مرة أخرى لجهاز الاستشعار يحدد المسافة بين الهدف و الجهاز ، أما أجهزة الرادار غير التصويرية فتشمل مقاييس الارتفاعات و التشتت (altimeters and scatterometers)، و تعمل تلك الأجهزة غالباً على بعد واحد فقط بخلاف أجهزة الاستشعار التصويرية التي تعمل على بعدين .

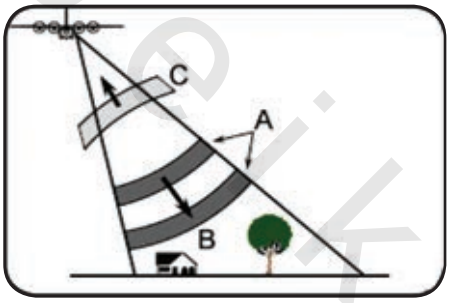
أجهزة قياس «الارتفاعات الرادارية» تقوم بإرسال نبضات قصيرة من أشعة الميكروويف ، و تقيس الزمن الذي تستغرقه في رحلتها إلى الهدف و منه ، لتحديد المسافة بينها و بين الجهاز . وبشكل عام ، فإن مقاييس الارتفاعات تقوم بقياس المسافة بين المنصة الحاملة لها و بين الأرض تحتها (عند نقطة النظير) و بالتالي يمكن قياس الارتفاعات. عند استخدام هذا النوع من الأجهزة لأغراض تحديد الارتفاعات، فإنها تكون محمولة على متن طائرة، أما عند استخدامها في أغراض رسم الخرائط الطبوغرافية و قياس ارتفاع سطح البحر، فيمكن أن يكون الجهاز مثبتاً على متن طائرة أو قمر صناعي . أجهزة قياس التشتت هي أجهزة غير تصويرية أيضاً، و تستخدم لإجراء قياسات دقيقة لكمية الطاقة المرتدة عن الأهداف ، و تعتمد تلك الكمية على خصائص سطح الهدف (مدى خشونته) ، و كذلك الزاوية التي تسقط بها الأشعة على الهدف ، و يمكن الاستفادة من إجراء تلك القياسات على أسطح المحيطات لتقدير سرعة الرياح على السطح، بما يشير إلى مدى اضطراب سطح البحر .

و تستخدم تلك الأجهزة على سطح الأرض لتحديد أنواع المواد و الأسطح المختلفة، و هذا يشبه مفهوم منحنيات الانعكاس الطيفي للمواد المختلفة .

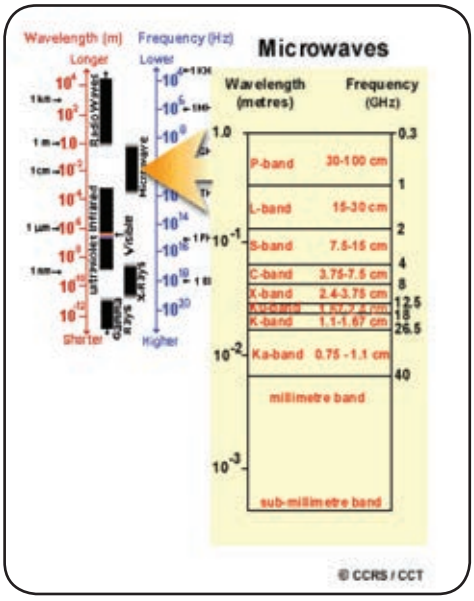
في هذا الفصل سنقوم بالتركيز على أجهزة «الرادار التصويرية» فقط ، فبجانب ميزة قدرة أشعة الميكروويف على اختراق السحب و معظم الظروف الجوية الأخرى ، فكون الرادار جهاز استشعار إيجابي يجعل له ميزة أخرى ، و هي القدرة على التصوير ليلاً أو نهاراً ، و هاتان الميزتان هما أهم مميزات الرادار .

يجب أيضاً معرفة أن أجهزة الرادار تعمل بطريقة مختلفة عن أجهزة الاستشعار التي تم ذكرها في الفصل الثاني ، و بالتالي فإن الصور الخاصة به مختلفة عن تلك الصور الملتقطة في حيز الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء...نتيجة لتلك الاختلافات، فإن المعلومات التي يوفرها «الرادار» و التي توفرها أجهزة الإستشعار الأخرى، يمكن اعتبارها معلومات مكملة لبعضها، حيث إن كل منها يوفر منظوراً مختلفاً لسطح الأرض، في الأجزاء التالية سوف نتعرض للخصائص الأساسية لأجهزة الرادار .

٣ـ١ أساسيات جهاز الرادار:



كما ذكرنا سابقاً، فإن «جهاز الرادار» هو في الأصل جهاز لقياس المسافات. و يتكون من مُرسِل ، و مُستقبِل ، و هوائي ، و نظام إلكتروني لتسجيل و معالجة البيانات. يقوم «المُرسِل» بتوليد مجموعات متتالية من النبضات القصيرة لأشعة الميكروويف (A) على فترات ثابتة، و يقوم «الهوائي» بتشكيل وتركيز تلك النبضات على هيئة شعاع (B). يقوم الشعاع المتكون بالسقوط على الهدف بشكل مائل (عمودي على اتجاه حركة المنصة الحاملة للرادار)، ثم تنعكس الطاقة عن بعض الأهداف ، و يقوم "الهوائي" باستقبال جزء منها (C). و بقياس الوقت المستغرق لذهاب و عودة الأشعة ، يتم تحديد المسافات. و أثناء حركة المنصة، يتم تسجيل و معالجة الإشارات المنعكسة ، و تكوين صورة ثنائية الأبعاد لسطح الأرض.



الحيز الذى تشغله «أشعة الميكروويف» من الطيف الكهرومغناطيسي كبير بالنسبة إلى حيز الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء ، و يوجد العديد من النطاقات شائعة الاستخدام، و التي تمت تسميتها أثناء الحرب «العالمية الثانية»، وظلت تلك التسمية مستخدمة حتى يومنا هذا، منها :

• الحيزات (Ka, K, Ku): لها أطوال موجية قصيرة جداً، و كانت تستخدم في أجهزة الرادار المحمولة جواً قديماً، و هي ليست شائعة الآن .

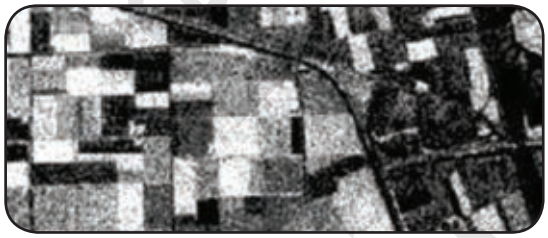
• الحيز (X-band): يستخدم بشكل كبير في الأنظمة المحمولة جواً ، لأغراض الاستطلاع العسكرى، و رسم خرائط التضاريس الأرضية.

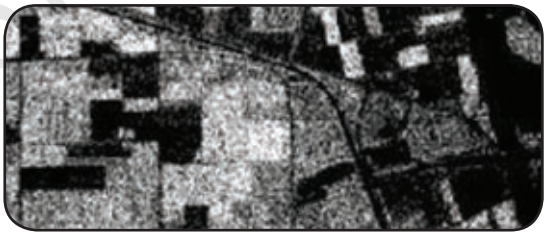
• الحيز (C ـ band): يستخدم في الأنظمة المحمولة جواً ، المستخدمة في مجال الأبحاث مثل القمر الصناعي الأمريكي (NASA AirSAR) ، والأقمار الصناعية الأوروبية (ERS2 ـ ERS1) ، والقمر الكندي (RADARSAT) .

• الحيز (S ـ band) : المستخدم على متن القمر الروسي "ALMAZ".

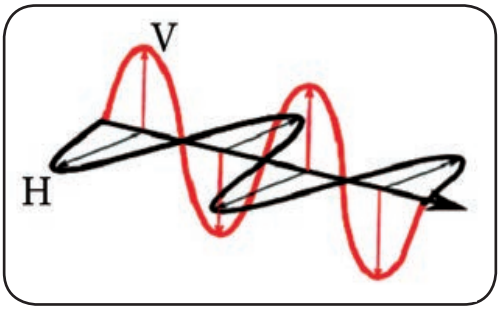
• الحيز (L ـ band) : مستخدم على متن القمر الأمريكي "SEASAT"، و الياباني "JERS ـ 1"، وأنظمة "ناسا" المحمولة جواً :

• الحيز (P ـ band) أكبر الأطوال الموجية المستخدمة في أجهزة الرادار ، و تستخدم في أنظمة «ناسا» المحمولة جواً الخاصة بإجراء التجارب و الأبحاث .





بالأعلى توجد صورتان راداريتان ، لبعض الحقول الزراعية ، و لكن تم التقاط كل منهما باستخدام حيز مختلف، فالصورة الأولى تم التقاطها باستخدام الحيز (C ـ band)، و الأخرى باستخدام الحيز (L ـ band). يمكن ملاحظة وجود اختلافات واضحة في الشكل الذي تظهر به الحقول في الصورتين، و يرجع ذلك لاختلاف الطريقة التي يتفاعل بها الإشعاع مع المحاصيل المختلفة تبعا للطول الموجي، وسوف نتناول تلك الجزئية لاحقا.



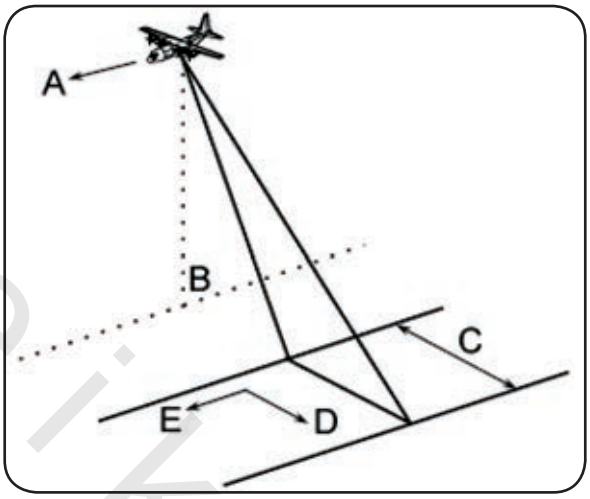
هذا عند مناقشة طاقة الميكروويف ، يجب الأخذ في الاعتبار عنصرالاستقطاب (polarization) و يشير المصطلح إلى اتجاه المجال الكهربي (راجع تعريف الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفصل الأول) .... معظم "أجهزة الرادار" يتم تصميمها بحيث يكون الاستقطاب أفقياً (H)، أو رأسياً (V)، و بالمثل فإن الهوائي يقوم باستقبال الأشعة المنعكسة باستقطاب رأسي، أو أفقي، و لكن بعض الأجهزة تستطيع استقبال كلا النوعين. و يمكن تكوين أربع مجموعات استقطاب للإرسال و الإستقبال ، كالتالي:

- HH: إرسال أفقي ، و استقبال أفقي .
- VV: إرسال رأسي، و استقبال رأسي .
- HV: إرسال أفقي، و استقبال رأسي .
- VH: إرسال رأسي، و استقبال أفقي .

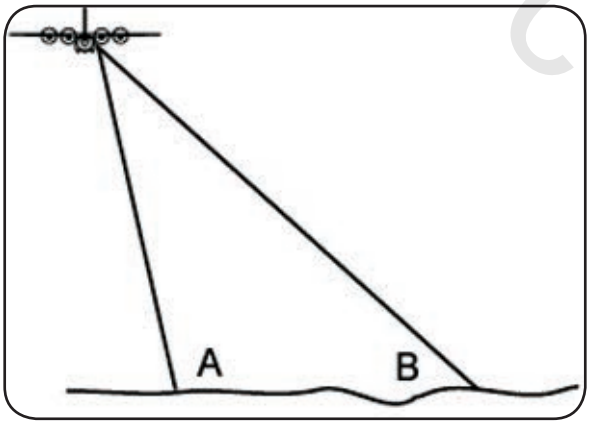
أول نوعين يطلق عليهما اسم "الاستقطاب المتماثل"، حيث إن الاستقطاب الخاص بعملية الإرسال و الاستقبال متماثلان، و النوعان الآخران يطلق عليهما " الاستقطاب المتعاكس".

الصور بالأعلى هي صور تم التقاطها في الحيز (C) لبعض الحقول الزراعية، حيث توضح تأثير اختلاف الاستقطاب على الصور الملتقطة. الصورتان بالأسفل هما من نوع الاستقطاب المتماثل (HH,VV)، بينما الصورة على اليمين بالأعلى فهي من نوع الاستقطاب المتعاكس (HV)، أما الصورة على اليسار بالأعلى فهي نتيجة عرض أنواع الاستقطاب الثلاثة السابقة معاً (HH,VV,HV)، كل منها خلال لون من الألوان الأساسية) الأحمر- الأخضر- الأزرق) طريقة تفاعل الإشعاع مع الهدف، و طريقة انعكاسه عنه تختلف تبعاً لنوع الاستقطاب، فالطول الموجي و نوع الاستقطاب يؤثران على طريقة رؤية الرادار للهدف، و بالتالي فإن استخدام أطوال موجية مختلفة مع أنواع استقطاب مختلفة، يؤدي إلى تجميع بيانات متكاملة عن الأهداف وسطح الأرض .

٢-٣ هندسة الرؤية وقدرة التفريق المكانية:



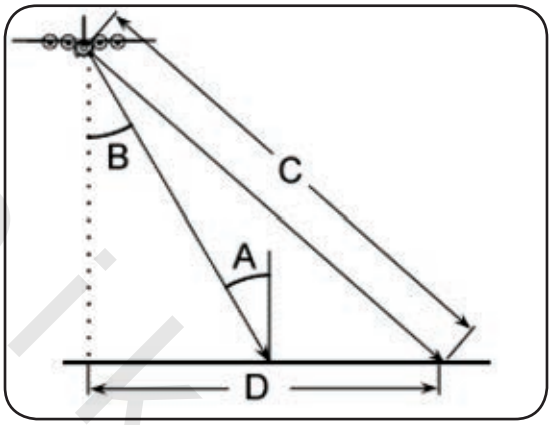
الأسلوب الهندسي للتصوير بجهاز الرادار يختلف عن أسلوب المسح ، وتحديد الإطار (Framing) الشائع الاستخدام فى أنظمة الاستشعار البصرية التي تطرقنا لها سابقا في الفصل الثاني ، ولا يختلف أسلوب حركة المنصة الحاملة للرادار عن تلك التى تحمل المستشعر البصرى، فتتحرك المنصة في اتجاه الطيران (A) و تكون نقطة النظير تحتها مباشرة (B)، تماماً مثل الأجهزة السابقة، و تتحرك أشعة الميكروويف بشكل مائل في اتجاه عمودي على اتجاه الطيران، حيث ترى رقعة من الأرض (C)، و التي تكون بعيدة عن نقطة النظير، يُستخدم مصطلح "المدى" "Range" (D) للإشارة للبعد العمودي على اتجاه الطيران ، و الذي هو بداخل المسار ، أما مصطلح "السمت" "Azimuth" فيستخدم للتعبير عن البعد الموازي لاتجاه الطيران ، على طول المسار (E). هذه الرؤية الجانبية ثابتة لكل أنظمة الرادار المحمولة جوا أو في الفضاء .



obeikan.com

المدى القريب والبعيد:

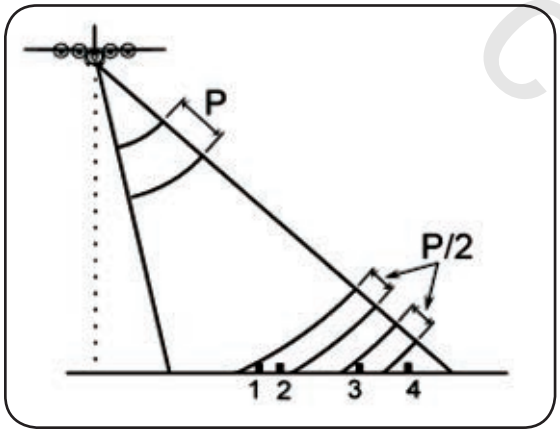
الجزء الأقرب لنقطة النظير (Nadir) - من الرقعة التي يتم رصدها (swath) - يسمى "بالمدى القريب" (A)، بينما الجزء الأبعد عن نقطة النظير يسمى «المدى البعيد» (B) .



زاوية السقوط والرؤية:

«زاوية السقوط» هي الزاوية بين شعاع الرادار و سطح الأرض (A)، و التي تزداد كلما تحركنا داخل الرقعة من المدى القريب إلى البعيد.

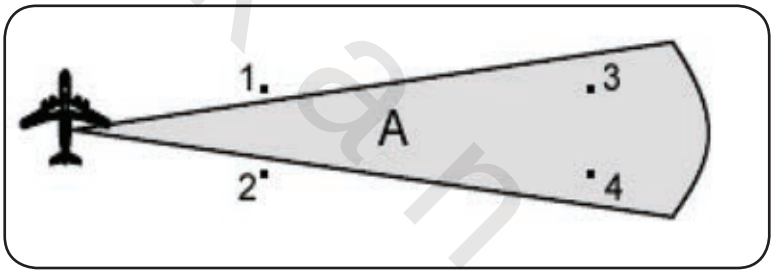
أما «زاوية الرؤية» (B) فهي الزاوية التي يرى منها الرادار سطح الأرض . يقوم الرادار بقياس خط الرؤية بينه و بين الهدف لتحديد المسافات، و يكون هذا الخط هو المدى المائل (C). المدى الأرضي (D) هو المسافة الأفقية على سطح الأرض، و التي تعتبر مسقطاً للمدى المائل.



obeikan.com

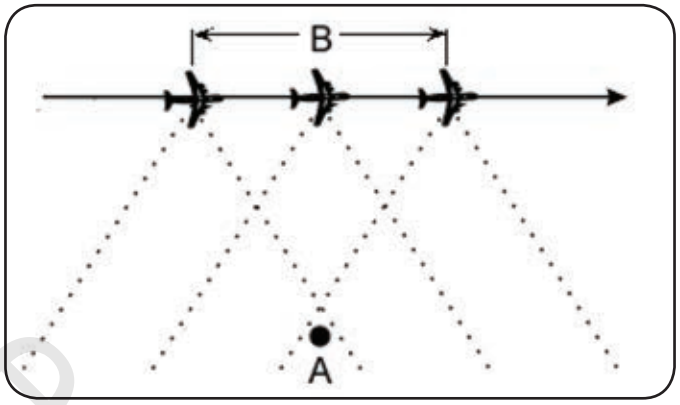
قدرة التفريق المكانية للرادار، تعتمد على خواص «أشعة الميكروويف» و التأثيرات الهندسية، وذلك على عكس أنظمة الاستشعار السابقة. ففي حالة استخدام رادار ذي هوائي حقيقي (Real Aperture Radar "RAR") (كرادار التصوير الجانبي المحمول جواً)، لتكون الصورة عن طريق إرسال نبضة واحدة من الأشعة، و استقبال الأشعة العائدة، و في هذه الحالة تعتمد قدرة التفريق المكانية على الطول الفعال للنبضة باتجاه المدى المائل، و عرض المنطقة التي يضيئها الإشعاع باتجاه بعد السمت "Azimuth"... أما قدرة تفريق المدى (range) أو الاتجاه (azimuth across track) فتعتمد على طول النبضة (P).

عند وجود هدفين متجاورين على سطح الأرض، فإنه يمكن التمييز بينهما في المدى (Range) إذا كانت المسافة بينهما أكبر من نصف طول النبضة، فكما يظهر بالصورة بالأعلى، فإنه يمكن التمييز بين الهدفين ٣ و٤، بينما لا يمكن ذلك مع الهدفين ١ و ٢، قدرة التفريق المكانية في المدى المائل تظل ثابتة ولا تعتمد على المدى، و لكن عندما يتم إسقاطه على إحداثيات المدى الأرضي، فسوف تعتمد القدرة على التفريق الخاصة بالمدى الأرضي على زاوية السقوط، و بالتالي عندما تكون القدرة على التفريق الخاصة بالمدى المائل ثابتة، فإنها بالمدى الأرضي تقل بزيادة "المدى Range".



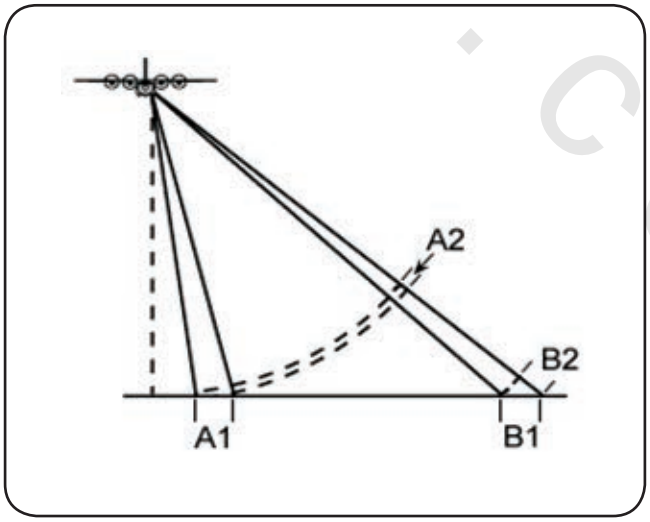
تحدد الدقة على التفريق في الاتجاه "السمت Azimuth"، باتساع الزاوية التي تحددها أشعة الميكروويف، و بمسافة المدى المائل. عندما تتحرك الأشعة مبتعدة عن "الرادار"، يزداد عرض الشعاع الصادر منه (A)، و بالتالي تقل القدرة على التفريق. فكما يظهر بالصورة بالأعلى، يمكن تمييز الهدفين ١ و٢، أما ٣ و٤ فلا يمكن التمييز بينهما. و يتناسب عرض الشعاع عكسياً مع طول الهوائي، فكلما ازداد طول الهوائي كان الشعاع أضيق، و بالتالي تتحسن القدرة على التفريق.

كي تزداد القدرة على التفريق- في المدى- يمكن استخدام نبضات قصيرة، يتم الحصول عليها عن طريق تصميمات هندسية معينة، أما زيادة القدرة على التفريق في السمت، فتزداد بزيادة طول الهوائي، و لكن يظل طول الهوائي محدوداً بقدرة المنصة الحاملة للرادار، سواء كانت في الجو أو الفضاء، ففي الأنظمة المحمولة جواً، يتراوح طول الهوائي بين ١ و ٢ متر، أما في الأقمار الصناعية، فيتراوح بين ١٠ و ١٥ متراً. و للتغلب على تلك القيود على طول الهوائي، يتم استخدام حركة المنصة، بالإضافة إلى عمليات تسجيل و معالجة خاصة للأشعة المرتدة، لمحاكاة هوائي ذي طول كبير، و بالتالي تتحسن قدرة التفريق السمت.



يوضح الشكل بالأعلى تلك العملية، حيث يدخل الهدف (A) حيز أشعة الرادار (١)، ويبدأ تسجيل الأشعة العائدة من الهدف، بينما تستمر المنصة في التحرك إلى الأمام، النقطة التي يخرج عندها الهدف من حيز الأشعة تماماً (٢)، تحدد طول الهوائي الافتراضي (التخيلي) (B). الأهداف عند المدى البعيد ، تتعرض للأشعة لفترة أطول من تلك عند المدى القريب. عرض أشعة الميكروويف (الذي يزداد عند الأطراف)، بالإضافة إلى الوقت الذي يتعرض فيه الهدف للإشعاع، يعادلان بعضهما البعض، و بالتالي تظل القدرة على التفريق ثابتة بالنسبة للرقعة التي يتم رصدها كاملة، هذه الطريقة في الحصول على قدرة تفريق جيدة و ثابتة للرقعة التي يتم رصدها، تسمى "الرادار ذا الهوائي الافتراضية (SAR) "synthetic aperture radar"، و يتم استخدامها في معظم الأنظمة الجوية و الفضائية.

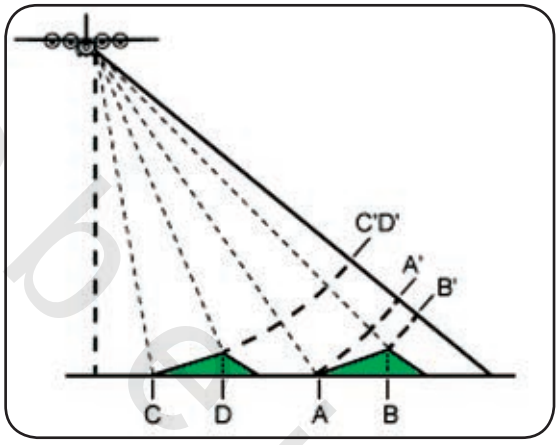
٣ـ٣ تشوهات الصور الرادارية :



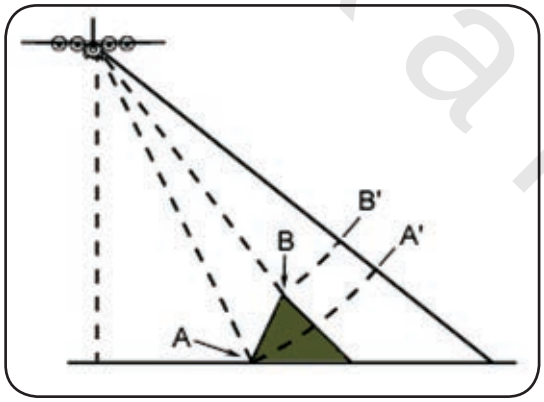
ككل أنظمة الاستشعار، تنتج بعض التشوهات الهندسية في الصور نتيجة طريقة الرؤية الخاصة بالجهاز. و لكن «أنظمة الرادار» تختلف بعض الشيء عن غيرها، و ذلك نتيجة الرؤية الجانبية لها، و طبيعة الرادار من حيث كونه جهازاً لقياس المسافات بالأصل. التشوه في مقياس المدى المائل "Slant range scale distortion" يحدث نتيجة لكون الرادار يقوم بقياس المسافة المائلة بين الأهداف و ليس المسافة الأفقية الحقيقية بينها، و يترتب على ذلك تغير في مقياس الصورة بين المدى القريب و البعيد. ففي الصورة بالأعلى، يظهر الهدفان (A1,B1) و لهما نفس الحجم على سطح الأرض، و لكن الأبعاد التي تظهر لهما (A2,B2) على المدى المائل تكون مختلفة تماماً، حيث تظهر الأهداف عند المدى القريب كأنها مضغوطة مقارنة بالأهداف عند المدى البعيد، و باستخدام علم حساب المثلثات، يمكن حساب المسافة على المدى الأرضي (المسافة الأفقية)، بمعرفة المسافة المائلة و ارتفاع المنصة.

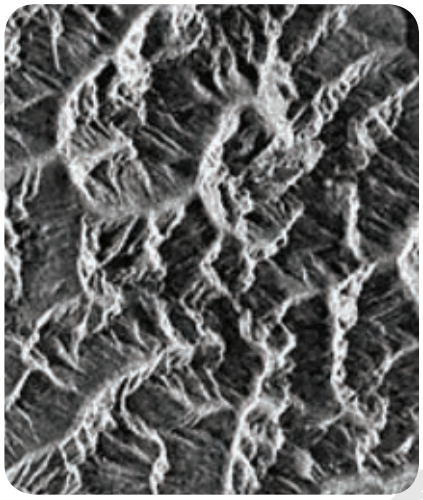
في الصور بالأعلى (الصورة العلوية) تظهر صورة ملتقطة بواسطة رادار (معروضة بالمسافات المائلة دون تعديل)، و تبدو الحقول و الطرق عند المدى القريب (يسار الصورة) كأنها مضغوطة، عند تحويل المسافات و الأبعاد في الصورة إلى المدى الأرضي (أفقياً)، تظهر الأهداف بشكلها الهندسي الطبيعي (الصورة السفلية).

كذلك تعاني «الصور الرادارية» من التشوهات نتيجة الإزاحة، مثلما يحدث عند استخدام آلات التصوير و الماسحات الضوئية، تكون تلك الإزاحة في بعد واحد فقط عمودي على مسار الطائرة و تحدث ظاهرتا قصر المنظور المائل (foreshortening) و التوقف (layover) كنتيجة لتأثير الإزاحة.

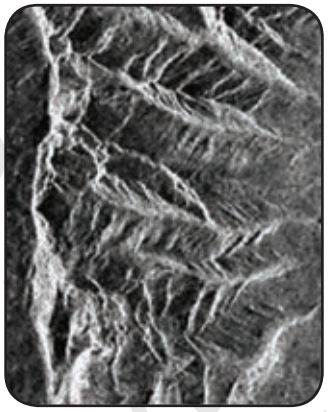


يحدث قصر المنظور المائل عندما يصل شعاع الرادار لقاعدة أحد الأهداف الطويلة، و التي تميل باتجاه الرادار (مثل الجبال) قبل أن يصل الشعاع إلى قمته، و ذلك لأن الرادار يقيس المسافات المائلة ، فتظهر المسافة (A ـ B) مضغوطة و تظهر بشكل غير صحيح كأنها المسافة (A'ـ B') . و يعتمد ذلك على العلاقة بين ميل الجبل أو التل وزاوية سقوط شعاع الرادار، و تحدث تلك الظاهرة بأقصى قيمة ممكنة لها عندما تكون أشعة الرادار عمودية على الميل، بحيث يتم تصوير قاعدة الهدف و ميله و قمته معاً (من النقطة C إلى D)، وبالتالي تختفي المسافة بين النقطتين و تظهر كأنها تساوي صفراً (C'D')، الصورة بالأسفل توضح صورة رادارية لتضاريس جبلية مائلة، ولكنها تعاني من ظاهرة قصر المنظور المائل ، حيث تظهر الأبعاد التي تعاني تلك المشكلة بلون ساطع .

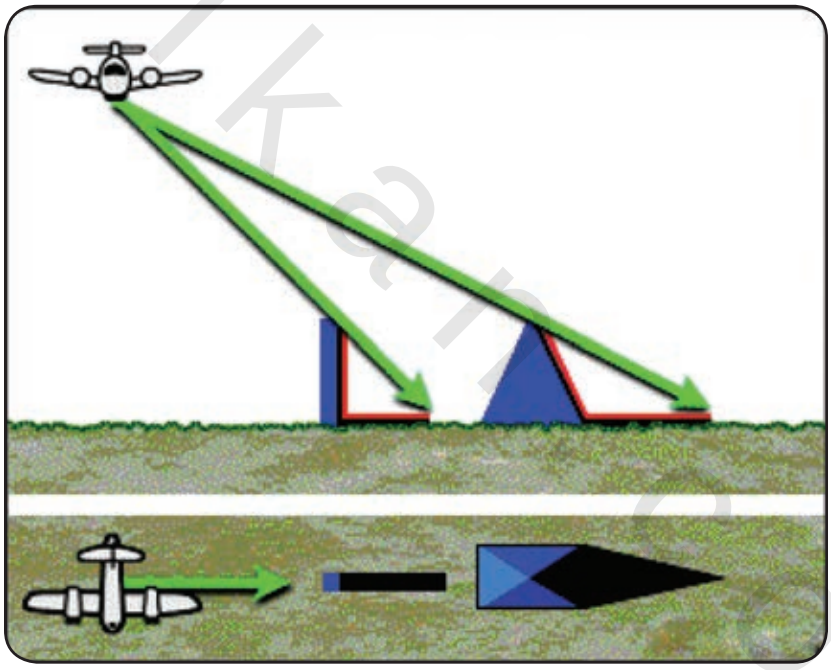




أما «ظاهرة التوقف» فتحدث عندما يصل شعاع «الرادار» إلى قمة هدف ما (ذى ارتفاع عال) قبل أن يصل إلى قاعدته، و بالتالي تعود الأشعة المرتدة من قمة الهدف قبل تلك القادمة من القاعدة ، و كنتيجة لذلك تظهر قمة الهدف و كأنها قد أزيحت من مكانها قليلاً باتجاه الرادار، و تظهر قبل القاعدة (A ـ B'). تؤثر ظاهرة التوقف على الصور الرادارية تأثيراً مشابهاً لظاهرة قصر المنظور المائل .



تؤدي هاتان الظاهرتان إلى حدوث ما يسمى بالظل الراداري "radar shadow" ، و هو يحدث عندما لا يتمكن شعاع الرادار من إضاءة سطح الأرض . تظهر الظلال باتجاه المدى البعيد ، خلف الأهداف الرأسية أو التي جوانبها شديدة الانحدار، وتظهر تلك المناطق معتمة في الصورة ، حيث لا تصلها طاقة وبالتالي لا يرتد منها أي إشعاعات؛ نتيجة ازدياد زاوية السقوط كلما اتجهنا إلى المدى البعيد، كذلك تأثير الظلال يزداد في نفس الاتجاه، حيث يزداد ميل الشعاع الساقط. تظهر الصورة التالية تأثير الظل الراداري على الجانب الأيمن من التلال التي تضاء من جهة اليسار .

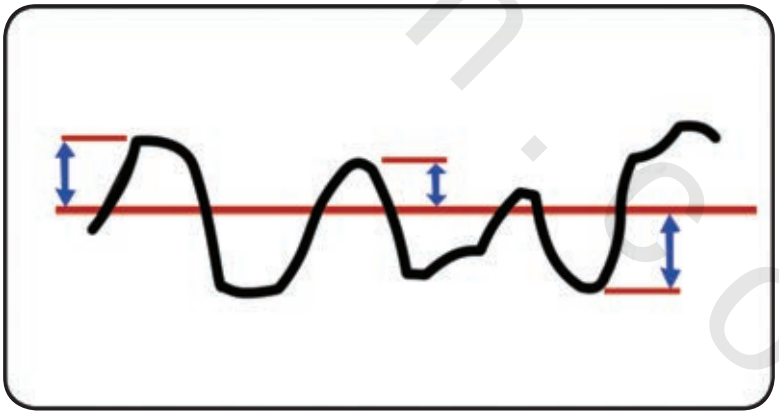


الأسطح التي لونها «أحمر» تقع بالكامل في منطقة الظل، و المناطق «السوداء» هي مناطق مظللة و لا تحتوي أية معلومات .

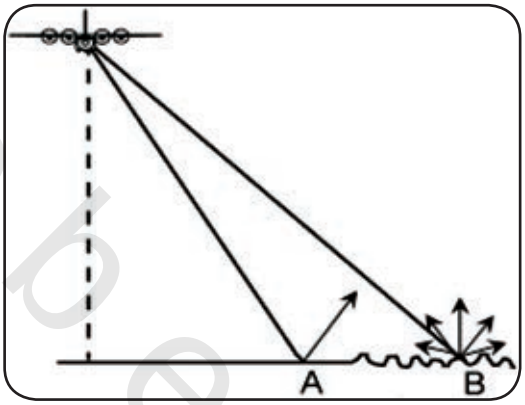
٤ـ٣ تفاعل الهدف وشكل الصورة :

يعتمد «سطوع الهدف» في الصور على الطاقة التي أرسلت و عادت مرة أخرى للرادار من الأهداف . أما كمية و شدة الطاقة المنعكسة ، فتعتمد على كيفية تفاعل الطاقة مع السطح ، و ذلك يتوقف على عدة عوامل . تشمل تلك العوامل خصائص الرادار نفسه (التردد، والاستقطاب، وهندسة الرؤية...)، إلى جانب خصائص السطح (الغطاء الأرضي، و التضاريس، وطبوغرافية الأرض،....) و لأن العديد من تلك الخصائص ترتبط ببعضها البعض، فمن المستحيل تحديد تأثير كل منها على الصور على حدة، حدوث تغيرات في بعض العوامل قد يؤثر على عوامل أخرى مما ينتج عنه تغير في كمية الأشعة العائدة للرادار من الهدف، و لهذا فإن سطوع الأهداف في الصور يعتمد على مجموعة متغيرات، ولكن يمكن تقسيم تلك المتغيرات إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

- خشونة سطح الهدف .
- العلاقة بين هندسة السطح و الرؤية للرادار .
- محتوى الرطوبة و الخصائص الكهربية للهدف .



خشونة سطح الهدف، تتحكم في تفاعل «أشعة الميكروويف» مع الهدف، و يعتبر أكثر العوامل تأثيراً في درجات ألوان الصورة، و يشير مصطلح خشونة السطح إلى متوسط الاختلاف في ارتفاعات تفاصيل السطح عن أي سطح مستو ، و يقاس بالسنتيمترات،ويتوقف مظهر السطح بالنسبة للرادار (سواء ناعماً أو خشناً) على الطول الموجي، و زاوية السقوط .

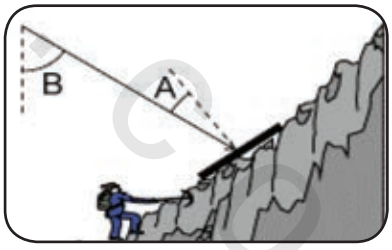


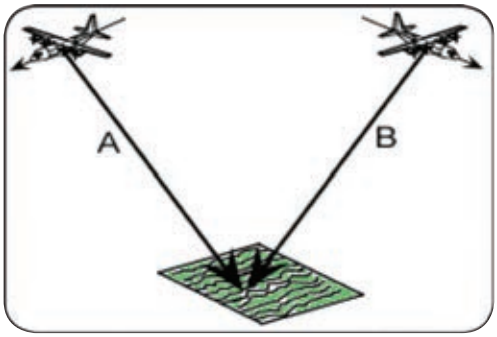
يعتبر السطح ناعماً، إذا كان اختلاف الارتفاعات أصغر بكثير من الطول الموجي لأشعة الرادار، وكلما اقتربت تلك الاختلافات من قيمة الطول الموجي، كان السطح أكثر خشونة، وبالتالي فإن السطح الواحد سيظهر أخشن للأطوال الموجية القصيرة، وأنعم كلما ازداد الطول الموجي.

يظهر بالصورة، السطح الناعم (A)، الذي تنعكس عنه الأشعة (الانعكاس المنتظم) و يكون اتجاهها بعيداً عن الرادار، و يعود جزء صغير فقط - من الأشعة الساقطة - باتجاه الرادار، ذلك يؤدي لظهور الأسطح الناعمة ممثلة بدرجات لونية داكنة في الصور الرادارية. أما «السطح الخشن» (B)، فيقوم بتشتيت الطاقة - الساقطة عليه - بشكل متساو تقريباً في كل الاتجاهات، و بالتالي يعود جزء كبير من الطاقة باتجاه الرادار، فتظهر تلك الأسطح بدرجات لونية فاتحة.

كذلك تلعب زاوية السقوط بالإضافة إلى الطول الموجي، دوراً ملحوظاً في مظهر السطح. فلنفس السطح و نفس الطول الموجي، يظهر السطح بشكل أنعم كلما زادت زاوية السقوط، وكلما تحركنا خلال الرقعة التي يتم رصدها – من المدى القريب إلى البعيد – تقل كمية الطاقة التي تعود للرادار، و بالتالي تظهر الصورة بلون داكن.

تعرضنا من قبل لزاوية السقوط (الرؤية)، و علاقتها بهندسة الرؤية، و كيفية تأثيرها على الإشارات التي تعود للرادار. و لكن عند الحديث عن هندسة السطح و تفاعل الأشعة مع الهدف و شكل الصورة، يكون مصطلح "زاوية السقوط المحلية" (local incidence angle) أكثر قدرة للتفريق وملاءمة. وتعرف هذه الزاوية، بأنها الزاوية (A) بين شعاع الرادار و الخط العمودي على الميل عند نقطة السقوط، وبالتالي فإن زاوية السقوط المحلية تأخذ في اعتبارها ميل الأرض بالنسبة لشعاع الرادار. و عندما تكون الأرض مستوية (غير مائلة)، تكون زاوية السقوط المحلية هي نفسها زاوية الرؤية للرادار (B)، ولكن ليست تلك هي الحالة في معظم الأحوال، حيث إن الأرض غالباً ليست مستوية و بها بروزات (جبال، هضاب....) و بشكل عام فإن وجود ميل في مواجهة الرادار، يجعل زاوية السقوط المحلية صغيرة، مما يؤدي إلى رجوع الأشعة إلى الرادار بقوة، و تظهر تلك المناطق في الصور ساطعة اللون.



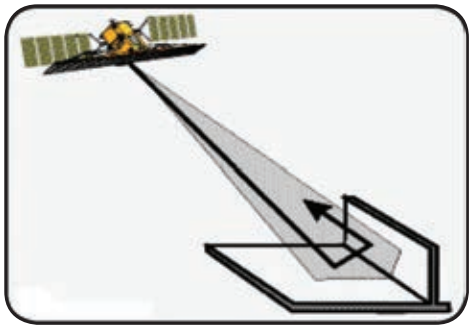


و بناءً على ما سبق ، فإن العلاقة بين «هندسة الرؤية للرادار و هندسة السطح» و خصائصه، تلعبان دوراً هاماً في كيفية تفاعل الطاقة مع الهدف، و السطوع المقابل لتلك الأهداف في الصور .

اتجاه الرؤية للرادار يوصف اتجاه شعاع الرادار بالنسبة للسطح . فاتجاه الرؤية يمكن أن يؤثر بشكل واضح على شكل الأهداف في الصور الرادارية، بالأخص عندما تكون تلك الأهداف على هيئة خطية (مثل المحاصيل الزراعية، و سلاسل الجبال). إذا كان اتجاه الرؤية يكاد يكون عمودياً على الهدف (A)، فسوف ينعكس جزء كبير من الأشعة باتجاه الرادار ، و يظهر ذلك الهدف بلون ساطع . أما إذا كان اتجاه الرؤية مائل بالنسبة للهدف (B)، فتقل نسبة الأشعة المنعكسة باتجاه الرادار ، و يظهر الهدف بلون داكن .

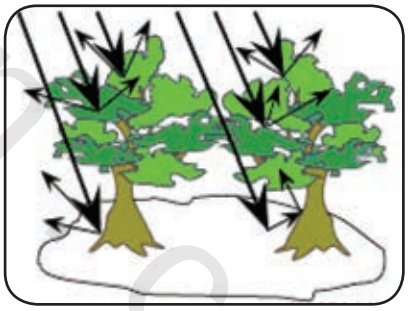
اتجاه الرؤية هو عنصر هام في تحسين التباين (Contrast) بين الأهداف في الصورة ، و تظهر أهميته بشكل كبير في المناطق الجبلية ، و ذلك لتقليل تأثير ظواهر التوقف و الظل. فعن طريق التقاط الصورة من أكثر من اتجاه ، يمكن تحسين تمييز الأهداف الموجودة بالصورة .

الأسطح التي لها سطحان (أو أكثر) متعامدان (عادة تكون أسطح ملساء) يمكن أن تؤدي لحدوث ظاهرة الانعكاس الركني "corner reflection"، و ذلك إذا كانت الزاوية في مقابل الهوائي الخاص بالرادار مباشرة، وضع السطح عند الزوايا القائمة يؤدي إلى انعكاس معظم الطاقة باتجاه الهوائي نتيجة ارتدادها مرتين (أو أكثر) عن السطح. العواكس الركنية corner reflectors ذات الزوايا المعقدة توجد بكثرة في مناطق العمران (المباني ، الشوارع، الكباري ، و العديد من المنشآت الأخرى) . أما العواكس الركنية الطبيعية فتكون مثل الصخور ، و المنحدرات، والنباتات المستقيمة في المياه . و عامة فإن تلك الأهداف تظهر بلون ساطع في الصور، مثل المباني في هذه الصورة الرادارية.



تؤثر الرطوبة على الخصائص الكهربية للهدف، كما أن تغير الخصائص الكهربية يؤثر على الامتصاص، والانتقال والانعكاس لأشعة الميكروويف، وبالتالي فإن محتوى الرطوبة يؤثر على طريقة انعكاس الأشعة عن الهدف و طريقة ظهور الأهداف في الصور . و بشكل عام ، فإن الانعكاس (وسطوع الأهداف في الصور) يزداد بزيادة محتوى الرطوبة ، و لذلك فإن التربة و الغطاء النباتي يظهران بشكل أكثر سطوعاً عندما يكون محتوى الرطوبة بهما كبيراً .

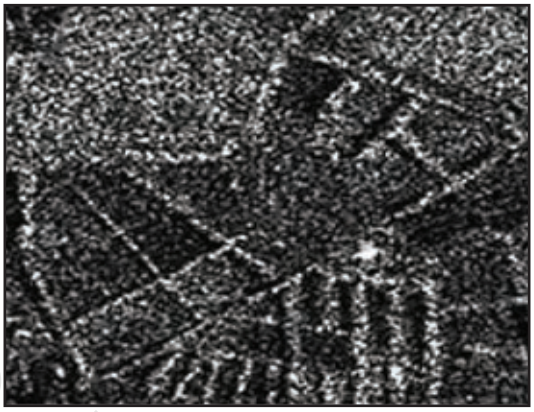
عندما يكون الهدف «مبللاً أو رطباً»، يكون التشتت من الجزء العلوي للهدف هو الأكثر حدوثاً و تأثيراً . نوع الانعكاس (من الانعكاس المنتظم إلى الانعكاس العشوائي) و كميته يعتمدان على مدى انتظام السطح أو عدمه بالنسبة للرادار . إذا كان السطح «شديد الجفاف» و يظهر كسطح أملس بالنسبة للرادار ، فإن الطاقة قد تتمكن من اختراق السطح، سواء كان ذلك السطح متصلاً (مثل: التربة ، الرمال ، الجليد) أم لا (مثل : أوراق و فروع أشجار الغابات) . بالنسبة للسطح الواحد، تستطيع الأطوال الموجية الأكبر أن تخترق السطح لمسافات أكبر من غيرها .

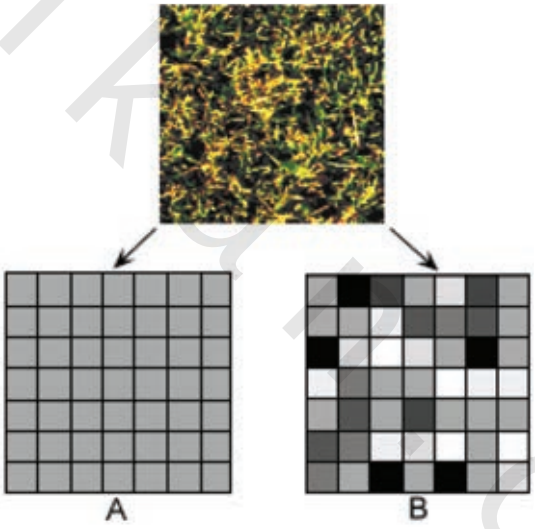


إذا نجحت «أشعة الرادار» في اختراق السطح العلوي، فقد تحدث ظاهرة التشتت الحجمي "Volume scattering"، و هو نوع من التشتت يحدث لأشعة الرادار، خلال وسط ما، و يتكون عادة من عدة ارتدادات و انعكاسات من المكونات المختلفة للوسط . على سبيل المثال : قد يحدث التشتت في الغابات، بسبب الأوراق في أعلى الأشجار، و الأوراق و الفروع التي تليها، وجذوع الأشجار و التربة على مستوى الأرض . قد يساهم هذا النوع من التشتت في زيادة أو تقليل سطوع الصورة، بناءً على كمية الطاقة التي تتشتت و تعود مرة أخرى للرادار .

٥.٣ خصائص الصور الرادارية:

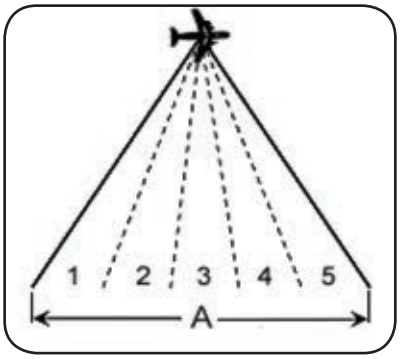
تظهر في معظم الصور الرادارية نقاط بدرجات مختلفة و تسمى تلك النقاط "Speckles" . و يتم تشبيه تلك النقاط بحبيبات "الملح و الفلفل" المنثورة على الصورة. و يحدث ذلك نتيجة العديد من التداخلات البناءة و الهدامة للأشعة المنعكسة للرادار. مثال على ذلك: الأهداف المتجانسة مثل حقل كبير مغطى بالعشب، فبدون تأثير النقاط، سيظهر على هيئة لون فاتح في الصورة (A)، بينما الانعكاسات الناتجة عن أوراق النباتات كل على حدة، لكل وحدة قدرة تفريق ، ينتج عنها أن بعض عناصر الصورة (pixels) تظهر بلون فاتح و أخرى بلون داكن (B) ، و بالتالي يظهر الحقل و كأن به نقط.



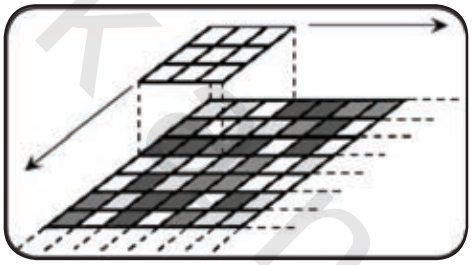


النقاط (Speckles) هي نوع من أنواع الضوضاء (noise) التي تقلل من جودة الصورة، و يمكن أن تجعل التعامل مع الصورة و استخلاص المعلومات منها (سواء بالنظر أو بالمعالجة الرقمية)، أمراً صعبا، و بالتالي فإنه يجب التقليل من تلك النقاط في الصورة قبل استخدامها و التعامل معها. تقليل النقط Speckle reduction، يمكن تحقيقه بطريقتين :

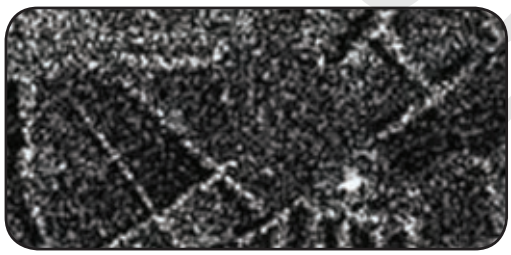
- معالجة الرؤية المتعددة "multi-look processing"
- التصفية المكانية "spatial filtering"



معالجة الرؤية المتعددة ، تشير إلى تقسيم الشعاع الراداري إلى عدة أشعة أضيق (في هذا المثال تم تقسيمه إلى ٥)، كل شعاع جزئي له رؤية مستقلة للمشهد . كذلك فكل منها معرض لتأثير النقاط ، و لكن بتجميعها و الحصول على المتوسط، تقل كمية النقط .



بينما تتم عملية معالجة «الرؤية المتعددة» أثناء الحصول على الصور ، تتم التصفية المكانية على الصورة المتكونة، عند المعالجة الرقمية للصورة، و يتم عن طريق تمرير نافذة صغيرة من عناصر الصورة pixels (مثلاً : ٣×٣ ، أو ٥×٥)، على كل بكسل في الصورة، و إجراء عملية حسابية باستخدام كل بكسل مقابلة لتلك النافذة (حساب المتوسط)، و استبدال البكسل التي تتوسط تلك النافذة بقيمة المتوسط . تتحرك تلك النافذة على كل الصفوف، و الأعمدة بمقدار بكسل لكل حركة، حتى تتم تغطية الصورة بالكامل، وينتج عن تلك العملية حدوث انطماس و عدم وضوح لمعالم الصورة، و يقل مظهر النقط بشكل عام .

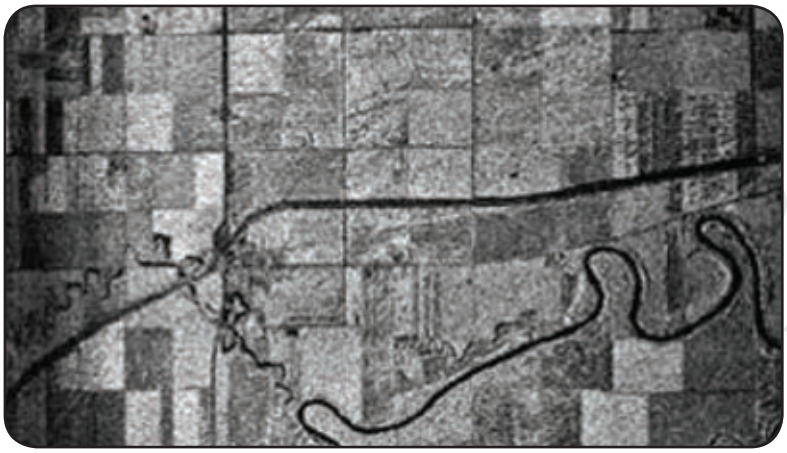


تظهر الصورتان السابقتان تأثير تلك العملية ، فالصورة بالأعلى هي قبل استخدام المرشح و الصورة بالأسفل هي بعد تلك العملية . توجد بعض العمليات الأكثر تعقيدا التي تستخدم لتقليل تأثير النقط، مع الحفاظ على وضوح الصورة .

كل من هاتين العمليتين تقلل تأثير النقط ، و لكن على حساب قدرة تفريق الصورة ووضوحها، لذلك فإن تقليل النقاط يجب أن يتم بدرجة معينة على حسب التطبيق الذي ستستخدم فيه تلك الصور، و كمية التفاصيل المطلوبة له . فإذا كان ذلك التطبيق يحتاج تفاصيل كثيرة و قدرة تفريق عالية، فيجب استخدام هاتين العمليتين بشكل بسيط أو عدم استخدامهما تماماً، أما إذا كان التطبيق هو رسم الخرائط مثلاً (العمل على مقياس كبير) فيمكن استخدامهما .

توجد صفة أخرى تميز الصور الرادارية ، و هي الرؤية المائلة و التشوهات التي تنتج عنها (تحدثنا عنها سابقاً في الجزء ٣.٣) (تشوه مقياس المدى المائل)، حيث إن الأهداف الموجودة في المدى القريب تكون مضغوطة بالنسبة للأهداف عند المدى البعيد؛ نتيجة الاختلاف في المقياس . و يفضل – بالنسبة لكثير من التطبيقات- عرض الصور الرادارية بعد تصحيح ذلك التشوه ، و ذلك للحصول على قياسات حقيقية للأهداف في الصورة ، ذلك يتطلب أن يتم تحويل الصور من المدى المائل إلى المدى الأرضي .

يقوم الهوائي الخاص «بالرادار» بإرسال طاقة أكبر عند منتصف الرقعة المعرضة للأشعة من تلك عند أطراف الرقعة، و يعرف ذلك التأثير باسم الهوائي "antenna pattern"، و يؤدي ذلك إلى انعكاس الأشعة من منتصف الرقعة بقوة أكبر من الأطراف، بالإضافة إلى أن الطاقة المنعكسة تقل كلما ازدادت المسافة، و بالتالي فإنه بالنسبة للسطح الواحد، تقل الطاقة المنعكسة كلما ابتعدنا خلال الرقعة؛ نتيجة لذلك تختلف درجة (شدة) ألوان الصورة باتجاه المدى . تستخدم عملية «تصحيح الهوائي» "antenna pattern correction" لتوحيد شدة السطوع في الصورة .



مستويات السطوع التي يستطيع نظام الاستشعار تمييزها ترتبط بقدرة للتفريق القياسات الاشعاعية Radiometric Resolution، و تسمى الحيز الديناميكي "Dynamic range" .

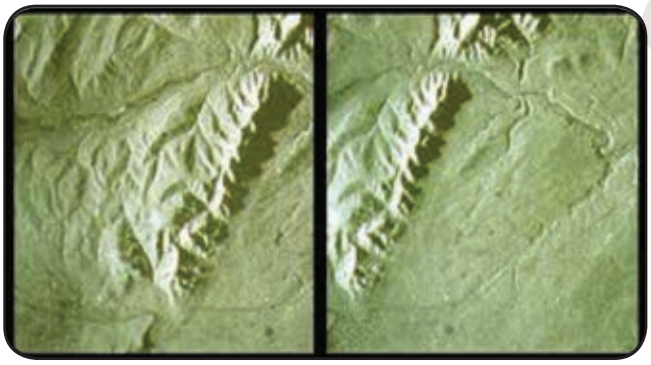
فبينما تتمكن المستشعرات البصرية- كتلك الموجودة بأقمار "لاندسات" و "سبوت" من التمييز بين ٢٥٦ مستوى ، فإن أنظمة الرادار تستطيع تمييز حوالي ١٠٠,٠٠ مستوى!! تستطيع العين البشرية التمييز بين حوالي ٤٠ مستوى فقط في آن واحد، فبالتالي المستويات الخاصة بالصور الرادارية تكون كثيرة جداً بالنسبة لما يمكن تمييزه بالعين . حتى أجهزة الكمبيوتر قد تجد صعوبة في التعامل مع ذلك الكم من المعلومات، لذلك معظم أجهزة الرادار تسجل و تتعامل مع البيانات على ١٦ بت (bits)، وبالتالي تنتج ٦٥,٥٣٦ مستوى ، و يتم تقليصها لـ ٨ بت (٢٥٦ مستوى) عند عرضها على الكمبيوتر .

المعايرة "Calibration" : هي عملية التأكد من أن نظام الرادار و الإشارات التي يقوم بقياسها صحيحة بقدر الإمكان . فقبل تحليل الصور ، تحتاج معظم الصور الرادارية إلى عملية المعايرة النسبية "relative calibration"، حيث تقوم تلك العملية بتصحيح التغيرات التي تطرأ على الهوائي و استجابات نظام الرادار ، و التأكد من أنه يمكن إجراء قياسات منتظمة العديد من المرات . تلك المعايرة تمكننا من إجراء مقارنات بين الأهداف المختلفة في الصورة الواحدة ، و بين الصور وبعضها البعض . و لكن إذا أردنا إجراء قياسات كمية دقيقة تمثل الطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف، فتصبح المعايرة المطلقة "absolute calibration" ضرورية في تلك الحالة .

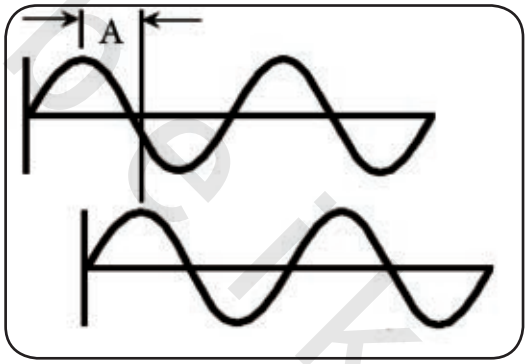
المعايرة المطلقة: هي عملية تربط بين الطاقة التي يتم تسجيلها و الطاقة الحقيقية المنعكسة عن الأهداف لكل وحدة قدرة تفريق. للوصول لذلك يجب إجراء قياسات تفصيلية لخصائص نظام الرادار ، و كذلك القياسات الكمية لخصائص الأهداف . كذلك يتم استخدام جهاز على الأرض يسمى "transponder"، و يستخدم قبل التقاط الصور للمعايرة ، حيث يقوم باستقبال الإشارة من الرادار و تكبيرها، و إرسال إشارة – معلومة الشدة- للرادار مرة أخرى ، و عن طريق معرفة الشدة الحقيقية لتلك الإشارة، يمكن معايرة الاستجابات المختلفة للأهداف .

٦-٣ التطبيقات الرادارية المتقدمة:

بالإضافة للحصول على المعلومات و استخدامها، توجد ثلاثة تطبيقات أخرى للرادار تستحق الذكر.

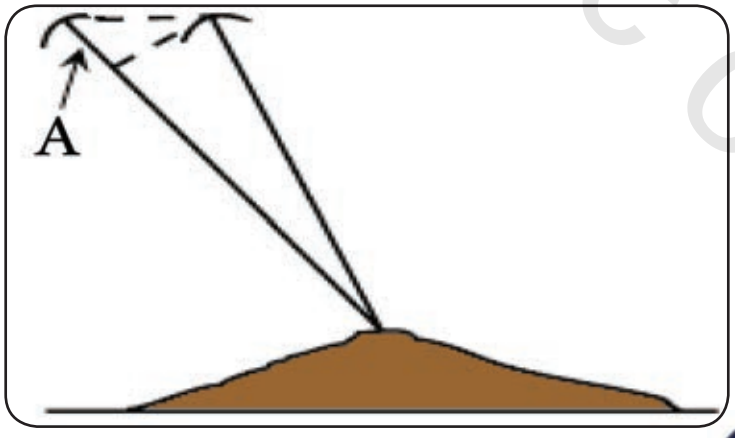


وأولها هو "الرادار المجسم" "Stereo radar": وهو يشبه رسم الخرائط المجسمة "stereo mapping" باستخدام التصوير الجوي، حيث يتم التقاط صورتين لكل منطقة، و ولكن بزوايا سقوط مختلفة، أو اتجاهات نظر متعاكسة. و على عكس الصور الجوية، حيث تكون الإزاحة في اتجاه أنصاف أقطار دائرة مركزها نقطة النظير تحت آلة التصوير مباشرة، فإن الصور الرادارية تُظهر الإزاحة في اتجاه المدى فقط.



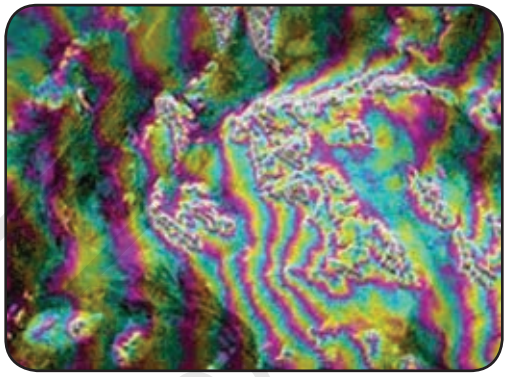
عند التقاط زوج من الصور لكل منطقة (إحداهما باتجاه الشمال و الأخرى باتجاه الجنوب)، قد يكون هناك اختلاف كبير بينهما، و بالتالي يكون من الصعب التعامل معها بصرياً أو رقمياً. في التضاريس الجبلية، يظهر ذلك بشكل أكثر وضوحاً، حيث إن الظل في الاتجاه الآخر من الهدف سوف يلغي التأثير المجسم للأهداف. تم استخدام التصوير المجسم الجانبي لعدة سنوات للمساعدة في دراسة الغابات و طبقات الأرض، وكذلك رسم الخرائط الطبوغرافية. عملية الحصول على قياسات للمسافات و الارتفاعات من البيانات الرادارية المجسمة، تسمى المساحة الرادارية radar grammetry، و هو شبيه بالمساحة التصويرية photogrammetry التي تتم لنفس الغرض، و لكن باستخدام التصوير الجوي.

وتستخدم تلك الطريقة لمعرفة ارتفاعات التضاريس باستخدام الرادار. توجد طريقة أخرى متقدمة تسمى "القياس بالتداخل" "interferometry"، و تعتمد على قياس خاصية من خصائص الموجات الكهرومغناطيسية، و هي الطور "phase". لنفترض أن لدينا موجتين لهما نفس الطول الموجي و التردد و تتحركان في الفراغ، و لكن نقطة بداية إحداهما تختلف قليلاً عن الأخرى (تسبقها أو تتأخر عنها).

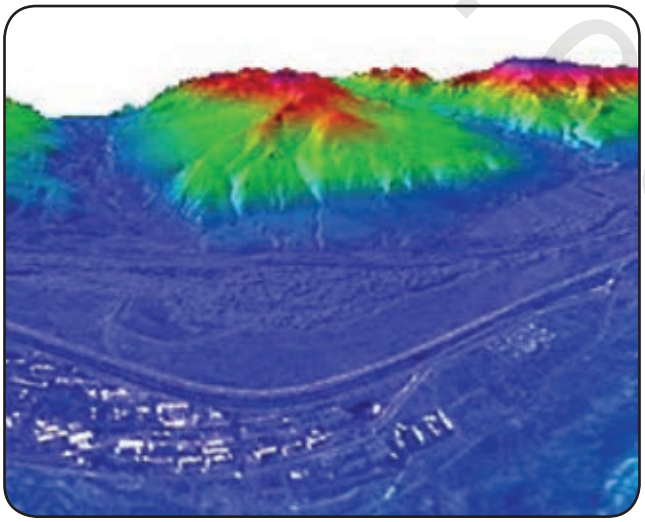


الإزاحة بين نقطتين متقابلتين على الموجتين (A)، تسمى «فرق الطور» "phase difference" أنظمة القياس بالتداخل، تستخدم هوائيين يبعدان عن بعضهما قليلاً، وذلك على البعد الخاص بالمدى، و يقوم كل منهما بتسجيل الطاقة العائدة من كل خلية قدرة تفريق resolution cell .

و يمكن أن يكون كل من الهوائيين موجودين على نفس المنصة، أو يتم الحصول على البيانات على مرحلتين باستخدام نفس المستشعر ، و ذلك للأنظمة المحمولة في الجو أو الفضاء .



عن طريق قياس فرق الطور بين الموجتين العائدتين "phase difference"، يمكن قياس فرق المسار بقدرة تفريق تتناسب مع وحدات الطول الموجي (سنتيمترات مثلاً) ، و بمعرفة مكان الهوائي بالنسبة لسطح الأرض ، يمكن معرفة مكان وحدة القدرة على التفريق . فرق الطور بين وحدتي قدرة تفريق متجاورتين، يظهر في ذلك الرسم، حيث تعبر الألوان عن الاختلاف في الارتفاعات، و يمكن استخدام تلك البيانات في معرفة المعلومات الطبوغرافية، و رسم صور ثلاثية الأبعاد لتضاريس الأرض .

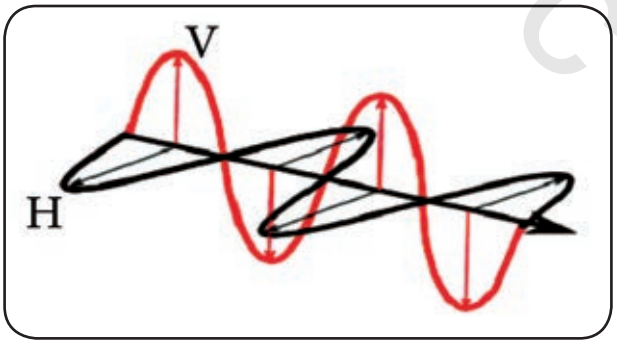


مفهوم القطبية تعرضنا له سابقاً عند الحديث عن أساسيات الرادار

قياس القطبية polarimetry، كما يوضح اسمه ، يعتمد على التمييز بين الاستقطابات التي يستطيع جهاز الرادار الإرسال و الاستقبال عبرها، حيث تقوم معظم أجهزة الرادار بإرسال و استقبال موجات الميكروويف باستقطاب أفقي (H) أو رأسي (V). أما الرادارات متعددة القطبية (multi - polarization) تستطيع الإرسال و الاستقبال باستقطاب أفقي أو رأسي سواء بشكل متماثل أو متعاكس (HH,VV,HV,VH). رادارات قياس الاستقطاب "polarimetric radars" تستطيع التعامل مع أنواع الاستقطاب الأربعة السابق ذكرها، كل من قنوات الاستقطاب تلك لها حساسيات مختلفة لأنواع الأهداف المختلفة و خصائصها، وبالتالي تسهل عملية التمييز بين الأهداف، بالإضافة إلى تسجيل شدة الإشارات لكل نوع من أنواع الاستقطاب، كذلك تستطيع تلك الرادارات تسجيل معلومات عن الطور الخاص بكل إشارة، و الذي يمكن أن يستخدم لتحديد بصمة الاستقطاب لكل أهداف سطح الأرض .

٣ـ٧ قطبية الرادار:

عندما نتطرق إلى أشعة الميكروويف من حيث «الانتشار و التشتت»، يكون من الضروري التحدث عن قطبية الأشعة . ففي الموجات الكهرومغناطيسية، يشير مصطلح القطبية إلى موضع متجه المجال الكهربي في المستوى العمودي على اتجاه الانتشار، بينما طول المتجه يمثل سعة الموجة (wave's amplitude)، و معدل دوران المتجه يمثل التردد الموجي، و الاستقطاب يشير إلى شكل و توجه مقدمة المتجه . الشكل الموجي للمجال الكهربي للموجة الكهرومغناطيسية ممكن أن يكون متوقعاً (إذا كانت الموجة مستقطبة)، أو عشوائياً (إذا كانت الموجة غير مستقطبة)، أو خليط بين الاثنين، وفي الحالة الأخيرة تلك، تكون درجة القطبية: هي النسبة بين الطاقة المستقطبة إلى الطاقة الكلية للموجة . ومثال على ذلك موجة (sine wave) أحادية الطول الموجي، التي لها تردد ثابت و سعة موجية ثابتة .



مثال على المستوى الأفقي (اللون الأسود)، و الرأسي (اللون الأحمر) للموجة الكهرومغناطيسية .

كما ذكرنا فإن «أجهزة الرادار» ترسل و تستقبل الموجات باستقطاب أفقي أو رأسي ، بأربع مجموعات من القطبية للإرسال و الاستقبال، و دراسة تلك المجموعات هو ما يعرف بعلم «قطبية الرادار» .

توجد أربع مجموعات كما ذكرنا سابقاً:

- HH: إرسال أفقي ، و استقبال أفقي .
- VV: إرسال رأسي، و استقبال رأسي .
- HV : إرسال أفقي، و استقبال رأسي .
- VH: إرسال رأسي، و استقبال أفقي .

تسمى أول مجموعتين بـ"الاستقطاب المتماثل" "like-polarized"، و المجموعتان الباقيتان بالاستقطاب المتعاكس "cross-polarized".

أمثلة على الأنظمة الرادارية:

أحادي القطبية	ـ HH أو VV (و من الممكن أن يكون HV أو VH)
ثنائي القطبية	ـ (HH و HV) ، أو (VV و VH) ، أو (HH و VV)
قطبية تبادلية	ـ HH و HV ، بالتبادل مع VV و VH
قياس الاستقطاب	ـ HH ، VV ، HV ، VH

كذلك يمكن الإشارة للنوع الأخير باسم "رباعي القطبية" "quadrature polarization" أو الاستقطاب الكلي "fully polarimetric".

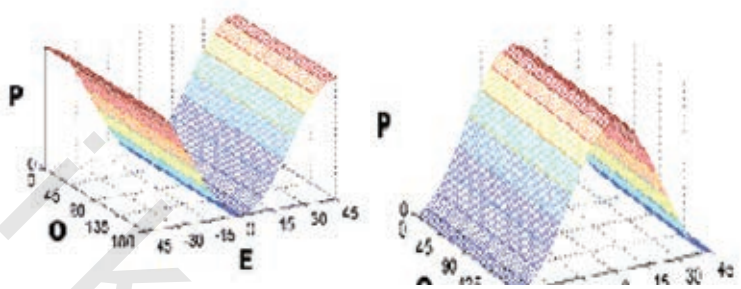
المعلومات الاستقطابية:

مصفوفة التشتت، هي التي يتم الحصول منها على وصف لطريقة تشتيت السطح أو الهدف للطاقة الكهرومغناطيسية، و منها أيضاً يمكن الحصول على معلومات أخرى عن الاستقطاب، مثل بصمة الاستقطاب .

بصمة الاستقطاب:

لأن الموجات الساقطة و المتشتتة، يمكن أن يكون لها أنواع عديدة من الاستقطاب، و مصفوفة التشتت تتكون من أربعة أعداد مركبة، فإنه من المفيد تبسيط الأمر باستخدام رسم ثلاثي الأبعاد . فـ «بصمة الاستقطاب» للهدف تمكننا من التعبير عن خصائص التشتت له بشكل مرئي، وتسمى أيضاً "رسم استجابة الاستقطاب" "polarization response plots" .

الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة يكون لها مجال كهربي على هيئة قطع ناقص (elipticity) بين الزوايا -٤٥° و +٤٥°، و يكون اتجاهها (orientation) بين ٠° و ١٨٠°. و يتم استخدام هذه المتغيرات لتكون المحور السيني و الصادي (x and y axes) للرسم ثلاثي الأبعاد، ويتم حساب شدة الاستقطاب و تمثيلها على المحور الثالث (z-axis).



استقطاب متعاكس　　استقطاب متماثل

P = power, O= orientation, E= Elipticity

معايرة البيانات:

واحدة من أهم العمليات في رادارات قياس القطبية، و ذلك لأن جزءاً كبيراً من المعلومات يكون في النسب و الفروق بين السعات الموجية و الطور لمجموعات الاستقطاب الأربع. وإذا لم تتم تلك العملية بشكل صحيح، فإن القياسات لن تتم بقدرة التفريق، و بالتالي نفقد ميزة القطبية.

تطبيقات الاستقطاب:

باستخدام معلومات الاستقطاب قام العلماء بإجراء الكثير من الأبحاث، و من هذه التطبيقات:

- الزراعة: لتمييز أنواع المحاصيل، مراقبة ظروف الزراعة، قياس رطوبة التربة.
- الغابات: تقدير الكتلة الحيوية، تحديد أنواع النباتات، مراقبة الحرائق و إزالة الغابات.
- الجيولوجيا: رسم الخرائط الجيولوجية.
- المياه: مراقبة الأغطية الجليدية.
- المحيطات: تحديد أماكن الجليد، أماكن الرياح الساحلية، و قياس شدة الأمواج.

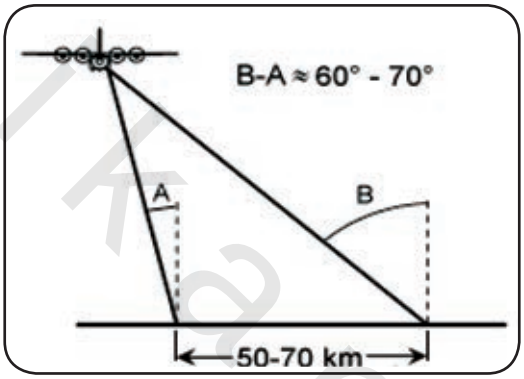
obeikan.com

• الشحن البحري: لتحديد أماكن السفن و تصنيفها .

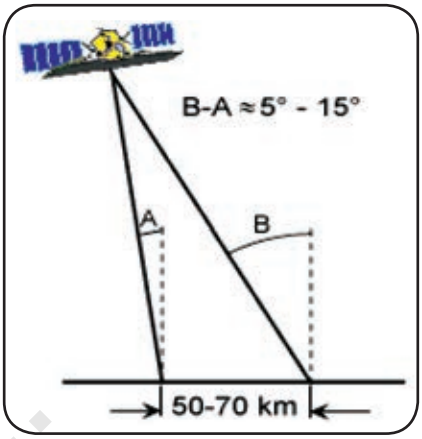
• المناطق الساحلية: تحديد أماكن البقع النفطية ، و أماكن الزراعة .

٣ـ٨ الرادارات المحمولة في الجو أو الفضاء:

توجد اختلافات بين النوعين ، تعتمد على الهدف من عملية الرصد و التصوير . و بغض النظر عن نوع المنصة الحاملة للرادار، توجد ميزة كبيرة لاستخدام «الرادار ذى الهوائي الإفتراضي» (SAR)، و هي أن القدرة على التفريق المكانية لا تعتمد على ارتفاع المنصة ، و بالتالي يمكن الحصول على قدرة تفريق عالية من الجو أو الفضاء .



وبالرغم من أن قدرة التفريق لا يوجد فيها خطأ ولا تعتمد على الارتفاع ، إلا أن الارتفاع يؤثر بشكل كبير على هندسة الرؤية (الزوايا و الأبعاد)، و على الرقعة المغطاة من الأرض . فالرادار المحمول جواً يجب أن يقوم بالتصوير على حيز واسع من الزوايا ، حوالي ٦٠° أو ٧٠° ، و ذلك ليتمكن من تغطية رقعة كبيرة من الأرض (من ٥٠ إلى ٧٠ كم تقريباً) وكما ذكرنا في الأجزاء السابقة، فإن زاوية السقوط (الرؤية) تؤثر بشكل كبير على الأشعة المنعكسة عن الأهداف، و كذلك الطريقة التي تظهر بها الأهداف في الصور كذلك تتأثر ظواهر قصر المنظور المائل، والتوقف، و الظل بالتغير في زاوية السقوط أما الرادارات في الفضاء، فتستطيع تجنب تلك المشاكل الهندسية، و ذلك لأنها توجد على ارتفاعات أعلى من الطائرات بحوالي مائة مرة . فعلى بعد مئات الكيلومترات، تستطيع تلك الرادارات تغطية رقعة جيدة من الأرض و لكن بزوايا صغيرة تتراوح بين ٥ و ١٥ درجة، مما يسمح بالحصول على إضاءة منتظمة ويقلل التغيرات التي تحدث في الصورة بسبب هندسة الرؤية .



على الرغم من كون الأنظمة الجوية أكثر عرضة و تأثراً بهندسة الرؤية ، إلا أنها أكثر مرونة في التقاط الصور في أكثر من اتجاه و أكثر من زاوية سقوط ، كذلك فإن تلك الأنظمة لها القدرة على جمع البيانات لأي مكان في أي وقت (طالما كانت الأحوال الجوية و ظروف الطيران ملائمة)، وعلى العكس ، فإن أنظمة الرادار الفضائية لا تمتلك مثل هذه القدرة ، فهندسة الرؤية الخاصة بها و أوقات جمع البيانات مرتبطة بالنمط الخاص بمداراتها. و لكن أنظمة الفضاء لها ميزة أخرى وهي القدرة على التقاط الصور بشكل أسرع لمناطق كبيرة ، و هندسة الرؤية الخاصة بها ثابتة . الأنظمة الجوية لها القدرة على التقاط الصور بشكل دوري أكثر من الأنظمة الفضائية، ولكن بناءً على مداراتها و هندسة الرؤية و المنطقة المراد تصويرها، يمكن أن يقل زمن إعادة الزيارة الخاص بالقمر ليوم واحد .

الأنظمة المحمولة جواً تكون أكثر عرضة للتغيرات في السرعة و تأثير الحركة، بالإضافة إلى الأحوال الجوية ، و للتغلب على تلك المؤثرات ، يجب أن يستخدم الرادار نظام ملاحة و تحديد مواقع معقداً جداً، و كذلك نظام معالجة صور متقدماً، لإزالة تلك التأثيرات . و بشكل عام، يمكن معادلة التغيرات الحركية الكبيرة مثل الاضطرابات الجوية ، و لكن على العكس فإن الأنظمة الفضائية لا تعاني من مثل تلك الاضطرابات، حيث إن مداراتها ثابتة ويمكن حساب أماكنها بقدرة التفريق، و لكن في الصور الفضائية ، يجب الأخذ في الاعتبار بعض العوامل الأخرى ، مثل دوران الأرض و تحدبها، و ذلك للحصول على التوقيع الصحيح لأماكن الأهداف على سطح الأرض .

٣ـ٩ أمثلة على الأنظمة الرادارية الجوية والفضائية:

فيما يلي سنورد بعض الأمثلة للأنظمة المحمولة في الجو والفضاء:

AirSAR:

الوكالة الأمريكية للملاحة الجوية و إدارة الفضاء "ناسا"، كانت تتصدر الأبحاث الخاصة بالرادارات متعددة الترددات و الاستقطابات (SAR) لسنوات عديدة، و قد أطلقت معامل الطائرات النفاثة «بكاليفورنيا» العديد من الأنظمة المتطورة لحساب وكالة ناسا. فنظام "AirSAR" الذي يعمل في الحيزات (C,L,P)، هو نظام استقطابي متقدم من النوع SAR، وهو يستطيع التقاط الصور في تلك الحيزات بكل مجموعات الاستقطاب الممكنة. و البيانات التي يتم الحصول عليها منه يمكن معايرتها و استخلاص القياسات منها. و قدرة التفريق المكانية له حوالي ١٢ متراً. و تتراوح قيمة زاوية السقوط من ٠° عند نقطة النظير إلى ٧٠° عند المدى البعيد. و نتيجة قدرته على التقاط الصور في حيزات مختلفة و مجموعات استقطاب متعددة، و كذلك على حيز كبير من الدرجات لزوايا السقوط، أصبح استخدامه مفيداً في الكثير من الأبحاث والتجارب.

Convair - 580:

تم تصميم و تطوير نظام "Convair ـ 580 C/X SAR" بواسطة «كندا»، و كان الهدف منه إجراء الأبحاث و التجارب، و خاصة للتمهيد لحمل أنظمة "SAR" على متن الأقمار الصناعية، كذلك كان يستخدم في دراسة البقع النفطية، و بعض التطبيقات البيئية الأخرى. و يعمل هذا الرادار على الحيزات (C,X)، و على مدى كبير من زوايا السقوط (من ٥° إلى ٩٠°). كذلك يتميز ذلك النظام بوجود هوائي آخر مثبت على جسم الطائرة، و ذلك ليتمكن الرادار من العمل كجهاز قياس بواسطة التداخل.

:STAR

كذلك تمتلك «كندا» نظاماً آخر و هو Sea Ice and Terrain Assessment Radar) ("STAR" و كان من أوائل الأنظمة التي تستخدم تجارياً على مستوى العالم، و يعمل كل من "STAR ـ 1" و "STAR ـ 2" على الحيز (X) ، باستقطاب (HH)، و وضعين مختلفين لقدره التفريق. فالرقعة المغطاة يتراوح عرضها بين ١٩ و ٥٠ كم ، و تتراوح القدرة على التفريق بين ٥ و ١٨ م. و قد تم تصميمه في البداية لمراقبة الجليد في البحار ، و كذلك مراقبة تضاريس سطح الأرض. و قد كان "STAR ـ 1" هو أول نظام "SAR" يقوم بمعالجة البيانات على متنه ، و كذلك مد المحطات الأرضية بالمعلومات مباشرة .

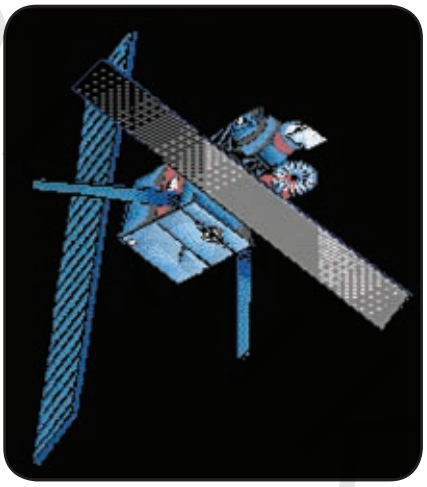
:SEASAT

بعد النجاح الذي حققته الأنظمة الجوية ، أصبحت الخطوة التالية هي استخدام الأقمار الصناعية في هذا المجال . تم إطلاق القمر "SEASAT" عام ١٩٧٨، و كان هو أول قمر صناعي مستخدم في الأغراض المدنية يقوم بحمل رادار "SAR". و قد كان الرادار يعمل على الحيز (L) بإستقطاب (HH). زوايا الرؤية الخاصة به ثابتة و تتراوح بين ٩° و ١٥°، و عرض الرقعة التي يمكنه رصدها ١٠٠كم، بقدرة التفريق مكانية ٢٥ متراً. و قد تم تصميمه في الأساس لمراقبة المحيطات و الجليد في البحار، و لكنه التقط العديد من الصور لليابسة أيضاً. زوايا السقوط الصغيرة أدت إلى زيادة ظواهر قصر المنظور المائل والتوقف خاصة عند المناطق ذات التضاريس المرتفعة. بالرغم من أن القمر عمل لمدة ثلاثة أشهر فقط ، إلا أنه أوضح الكم الهائل من المعلومات الذي يمكن الحصول عليها من الرادارات المحمولة في الفضاء .

:ERS

بعد نجاح تجربة "SEASAT" ، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) القمر الصناعي "ERS ـ 1" في يوليو عام ١٩٩١. و كان على متنه رادار لقياس الارتفاعات ، و جهاز قياس إشعاعات

للأشعة تحت الحمراء، و مستشعر في حيز أشعة الميكروويف، و جهاز يعمل في الحيز (C) لقياس شدة الأشعة المنعكسة، حيث يستخدم في قياس الانعكاسات عن أسطح المحيطات، و كذلك اتجاه و سرعة الرياح على أسطح المحيطات. كما يمكنه العمل كجهاز "SAR"، حيث يقوم بجمع الصور على رقعة عرضها أكثر من ١٠٠ كم، و زوايا السقوط تتراوح بين ٢٠° و ٢٦°، وتصل دقته إلى ٣٠ متراً. نوع الاستقطاب الخاص به هو (VV)، مما يجعله بالإضافة إلى زوايا الرؤية الخاصة به، يتمكن من رصد خشونة أسطح الأهداف.

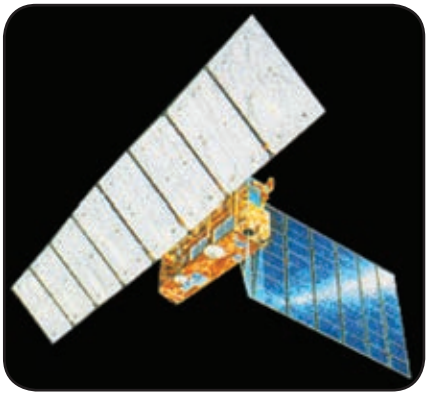


زمن إعادة الزيارة الخاص به يمكن تغييره عن طريق تعديل مداره، و يتراوح من ٣ أيام إلى ١٦٨ يوماً، و ذلك بناءاً على وضع التشغيل المستخدم، و لكن بشكل عام فإن فترته المدارية تكون ٣٥ يوماً.

تم إطلاق قمر آخر من نفس المجموعة "ERS ـ 2" في أبريل عام ١٩٩٥، و قد تم تصميمه من أجل الأبحاث و التطبيقات الخاصة بمراقبة المحيطات.

و كما حدث مع "SEASAT"، فإن زوايا السقوط أثرت على التقاط بعض التضاريس، نتيجة التأثيرات الهندسية.

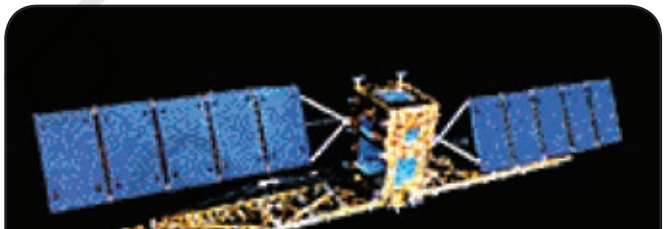
JERS :

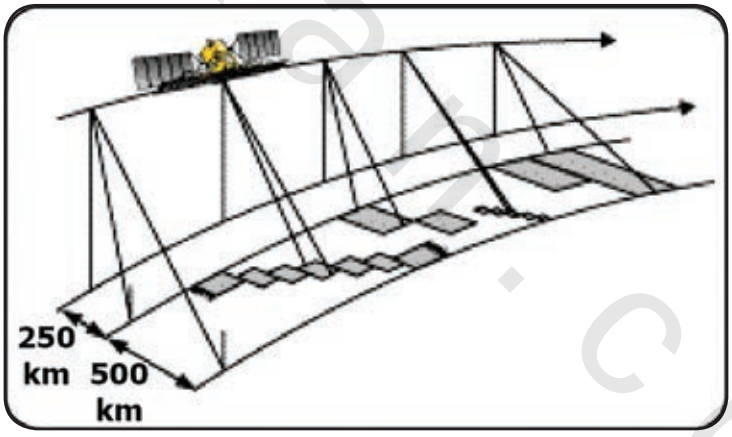


أطلقت وكالة الفضاء «اليابانية» (NASDA) القمر "JERS-1" في فبراير عام ١٩٩٢. و بالإضافة لكونه يحمل مستشعرين بصريين، فقد كان مزود برادار "SAR" ذى استقطاب (HH)، و يغطي رقعة بعرض ٧٥ كم، و دقته المكانية حوالي ١٨ متراً. تختلف هندسة الرؤية الخاصة به عن تلك الخاصة بالقمرين السابقين، حيث إن زاوية السقوط الخاصة به عند منتصف الرقعة تكون ٣٥°، وبالتالي تكون الصور الخاصة به أقل عرضة للمشاكل الناتجة عن التضاريس. كذلك فإن الأطوال الموجية للحيز (L) تكون كبيرة إلى حد ما، مما يسمح لها باختراق النباتات و بعض الأسطح.

RADARSAT :

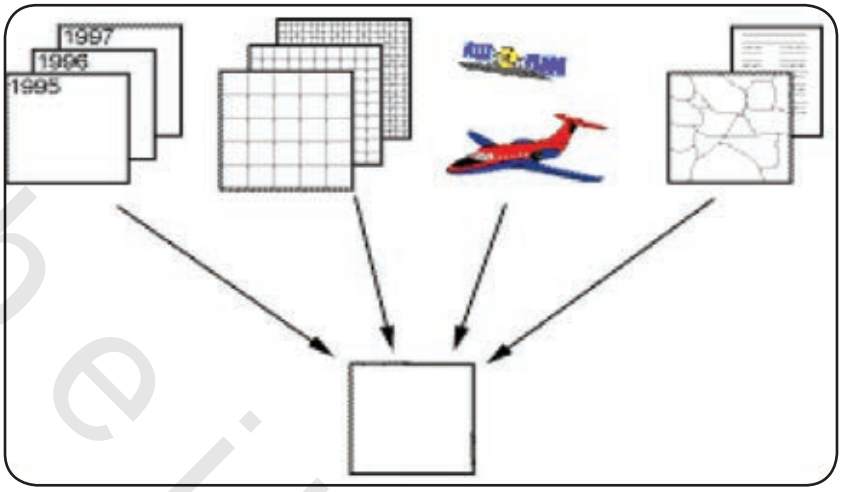
بإطلاق القمر "RADARSAT" الخاص بكندا عام ١٩٩٥، حدثت طفرة في الاستشعار عن بعد باستخدام الرادارات المحمولة في الفضاء "SAR". يحمل القمر راداراً متطور يعمل في الحيز (C)، و الاستقطاب الخاص به هو (HH)، كما يمكنه توجيه الشعاع الخاص به مما يسمح بالتقاط الصور على مدى ٥٠٠ كم. حيث يتراوح عرض الرقعة بين ٣٥ و ٥٠٠ كم، و تتراوح دقته بين ١٠ و ١٠٠ متراً، و تتراوح زوايا السقوط بين أقل من ٢٠° وأكثر من ٥٠°، و الفترة المدارية للقمر هي ٢٤ يوماً يستطيع القمر توفير صور يومية للمنطقة القطبية الشمالية، و كذلك تصوير أي منطقة في كندا كل ثلاثة أيام.





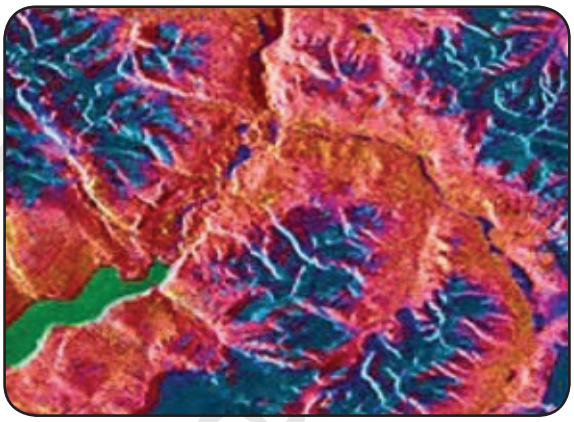
١٠-٣ التعامل مع البيانات وتحليلها:

قديماً، عندما كان الاعتماد على «التصوير الجوي» فقط ، كانت إمكانية إجراء تكامل بين البيانات المأخوذة من أكثر من مصدر محدودة . أما الآن، و قد أصبحت معظم البيانات متاحة بالصيغة الرقمية، فقد أصبح الأمر أسهل بكثير، و تعتمد تلك العملية على جمع أو دمج البيانات مختلفة المصادر، و قد يتضمن ذلك أن تكون البيانات مختلفة زمنياً أو في دقتها أو طبيعتها أو نوع جهاز الاستشعار الملتقطة بواسطته .

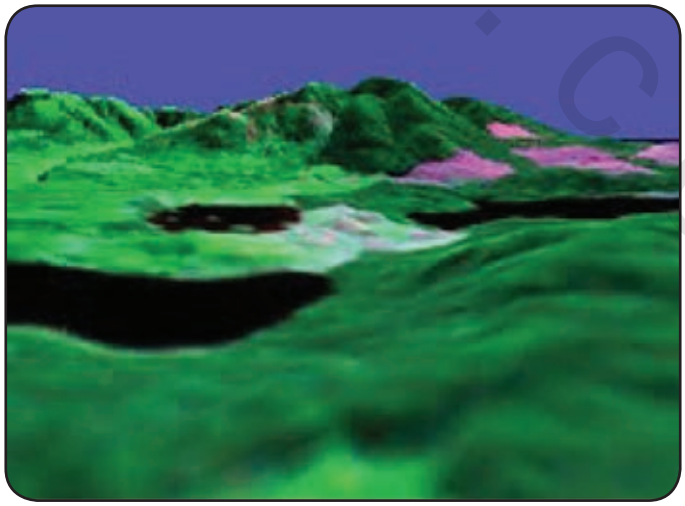


تعرضنا سابقاً لنقطة دمج بيانات مختلفة زمنياً، حيث تستخدم تلك البيانات لمراقبة التغيرات التي تحدث لمنطقة ما بمرور الوقت، و يمكن رصد تلك التغيرات بعدة طرق منها المقارنة بين عدة تصنيفات، أو التصنيف باستخدام مجموعات متكاملة من البيانات المختلفة زمنياً .

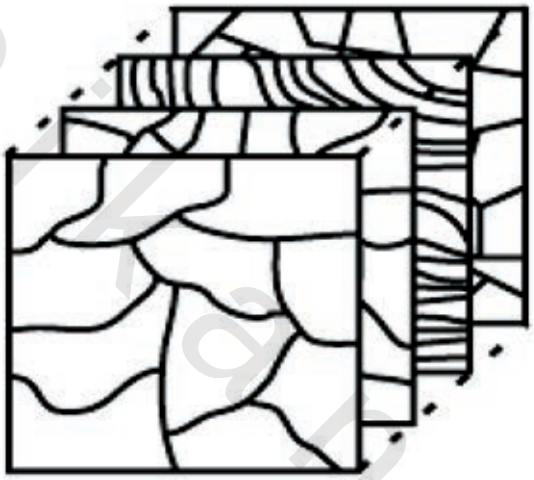
أما دمج الصور المختلفة في دقتها، فيستخدم في عدة تطبيقات، فإذا قمنا بدمج صورة ذات قدرة تفريق عالية مع أخرى ذات قدرة تفريق أقل، فإن ذلك يحسن قدرة التفريق للصورة بشكل عام ، و يحسن التمييز بين عناصرها . و تستخدم تلك الطريقة مع الصور الخاصة بالقمر "سبوت"، حيث يتم دمج «الصور البانوكروماتية» ذات القدرة العالية على التفريق (١٠ أمتار)، مع الصور متعددة الأطياف ذات القدرة الأقل على التفريق (٢٠ متراً). حيث إن الصور «متعددة الأطياف» توفر قدره تفريق طيفية عالية ، بينما الوضع البانوكروماتي، يوفر قدرة تفريق مكانية عالية .



البيانات من أكثر من نوع لأجهزة الاستشعار ، يمكن دمجها أيضاً. و مثال على ذلك دمج الصور البصرية متعددة الأطياف مع الصور الرادارية. فهذان النوعان من البيانات يوفران معلومات تكمل بعضها البعض. فالبيانات البصرية، توفر معلومات طيفية مفصلة، تفيد في التمييز بين الأنواع المختلفة من الأغطية الأرضية، بينما الصور الرادارية ، توضح التفاصيل الهيكلية في الصورة .



في التطبيقات التي تستخدم بيانات متكاملة من عدة أجهزة استشعار، يجب أن تكون تلك البيانات مسجلة بالنسبة لأحد أنظمة الإحداثيات الجغرافية، و ذلك يسمح أيضا للبيانات الإضافية بالتكامل مع البيانات الأساسية. على سبيل المثال: المعلومات الخاصة بالارتفاعات، في صيغتها الرقمية، تسمى (DEM) "Digital elevation Model" يمكن دمجها مع البيانات الخاصة بالاستشعار عن بعد، لتستخدم في عدة أغراض . و قد تستخدم تلك البيانات في عملية التصنيف للصور، حيث إن تأثيرات الارتفاعات يمكن تصحيحها باستخدام تلك البيانات، مما يؤدي إلى تحسن قدرة التفريق، التصنيف بشكل عام، كذلك يستخدم هذا النوع من البيانات في عمل نماذج ثلاثية الأبعاد.



كما ذكرنا سابقاً، فإن دمج البيانات المختلفة المصادر و الأنواع، هو الهدف الأساسي، و عند التعامل بالبيانات في صيغتها الرقمية، حيث تكون جميع المصادر مسجلة بالنسبة لقاعدة جغرافية، و هذا هو المفهوم الخاص بنظام المعلومات الجغرافية (GIS)، وتعتبر البيانات الرقمية للارتفاعات "DEM" هي مثال على ذلك النوع من البيانات، يوجد كذلك أمثلة أخرى مثل الخرائط الرقمية لأنواع التربة و الغطاء الأرضي، أنواع الغابات، و شبكات الطرق، و العديد من المعلومات التي تختلف تبعاً للتطبيق. النتائج التي يتم الحصول عليها بعد عمليات التصنيف لعناصر الصورة ـ على هيئة خريطة ـ يمكن استخدامها أيضاً في نظام المعلومات الجغرافية "GIS" كنوع آخر من المعلومات الذي يستخدم لتحديث خرائط موجودة بالفعل.

كذلك عند تحليل عدة أنواع من البيانات معاً، فإن المعلومات التي نحصل عليها تكون أكثر قدرة للتفريق، و يوجد عدد لا حصر له من التطبيقات التي تحتاج ذلك النوع من تحليل البيانات . وسوف نتحدث لاحقاً عن بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد، و التي يستخدم معظمها أنواعاً مختلفة من البيانات .

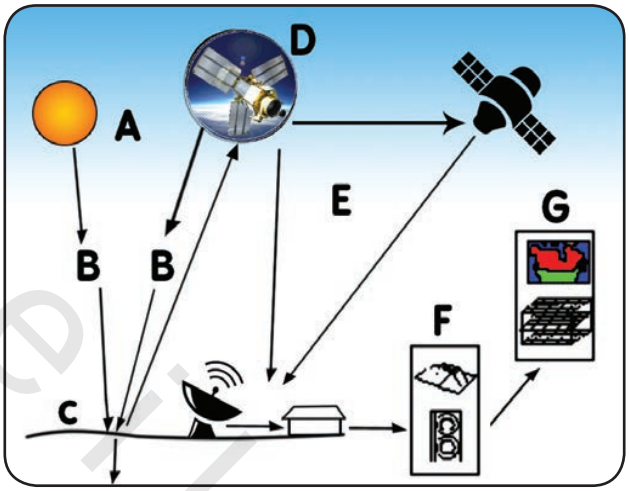
الفصل الرابع

التعامل مع الصور وتحليلها

obeikan

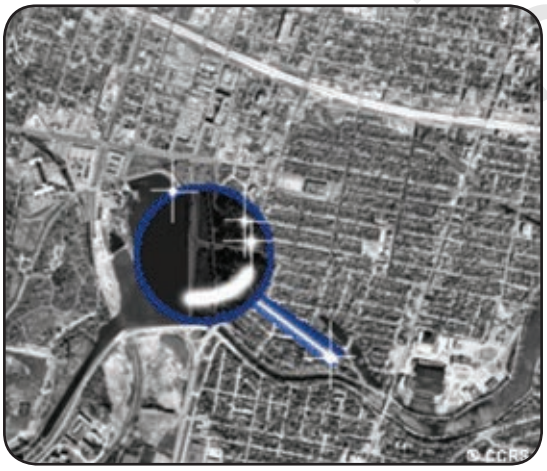
obeikan.com

المقدمـــة:



كـــي نحصل على الاســتفادة المرجوة من بيانات الاستشــعار عن بعد، يجــب أن نتمكن من استخلاص المعلومات من الصور، و يقودنا ذلك إلى العنصر السادس من عناصر الاستشعار عن بعد، وهو التعامل مع الصور و اســتخلاص المعلومات منها، و هو موضوع هذا الفصل، و يشــمل ذلك تمييز وإجراء القياسات لمختلف الأهداف في الصورة، لاستخلاص معلومات مفيدة عنها . و قد تكون تلك الأهداف :

- نقطــة أو خطــاً أو مســاحة معينــة، مما يعــني أنها قد تأخذ أي شــكل بــدءاً من حافلــة في موقف السيارات، أو طائرة على مدرج، إلى طريق أو جسر أو حقل أو مسطح مائي كبير .
- يجب أن يكون الهدف قابلاً للتمييز، أي يوجد تباين بينه و بين ما يحيط به في الصورة .



obeikan.com

معظم التعامل مع الصور يكون تعاملاً بصرياً عن طريق شخص متخصص ، و يتم ذلك عن طريق عرض الصور كصور فوتوغرافية، بغض النظر عن الجهاز الذي التقطت بواسطته، و طريقة التقاطه، وفى هذه الحالة نشير إلى الصور بكونها في الصيغة التناظرية "analog format".

كذلك يمكن عرض الصور باستخدام الحاسب الآلي بصيغة رقمية «digital format» على هيئة مصفوفة من النقط المضيئة (بكسل) كل منها يعبر عن قيمة معينة من خلال شدة السطوع .... كذلك يمكن عرض الصور، سواء كانت رقمية أو تناظرية بتدرجات اللون الرمادي (صور مونوكروماتية) أو كصور ملونة بأسلوب الجمع بين قنوات تمثل حيزات مختلفة من الأطوال الموجية .

عند توافر صور الاستشعار عن بعد بالصيغة الرقمية ، تتم معالجتها و تحليلها رقمياً ، فقد تتم عملية المعالجة قبل استخلاص المعلومات و ذلك لتحسين الصورة، و كذلك قد يكون الغرض من المعالجة هو تحديد الأهداف واستخلاص المعلومات بدون التدخل البشري . و لكن تظل تلك العملية مستخدمة على نطاق ضيق حيث لا يمكن الاستغناء بالكامل عن العنصر البشري، و لكنها تستخدم لمساعدة المتخصص .

وقد بدأ استخدام «المعالجة الرقمية» حديثاً بعد توافر التسجيل الرقمي للبيانات الخاصة بالاستشعار عن بعد، ولكن من قبل كان الاعتماد على المتخصص فقط ، حيث يتم تحليل الصورة بصرياً . و لكل من هاتين الطريقتين سلبياتها و إيجابياتها :

• التعامل اليدوي يحتاج إلى القليل من المعدات المتخصصة، بينما التعامل الرقمي يحتاج الكثير من المعدات المتخصصة والمكلفة كذلك .

• التعامل مع الصور يدوياً يجعل من الصعب تحليل أكثر من صورة معاً ، و لكن عند استخدام «الكمبيوتر» يصبح بإمكاننا التعامل مع صور أكثر تعقيداً، و بالتالي فإن التعامل الرقمي مع الصور مفيد أكثر في حالة تحليل أكثر من نطاق طيفي معاً، أو التعامل مع مجموعات كبيرة من البيانات بشكل أسرع .

• التحليل البصري أو اليدوي هو عملية تعتمد على العنصر البشري ، و بالتالي فإن النتائج تختلف باختلاف المتخصص الذي يقوم بالعملية .

بينما التعامل الرقمي يكون أكثر موضوعية و تكون نتائجه متسقة أكثر، و لكن يظل من الصعب التأكد من دقة و صحة تلك النتائج .

نظراً لكل ما سبق، فإن عمليتي التحليل الرقمي و اليدوي لصور الاستشعار عن بعد ليستا عمليتين متعارضتين، فكل منهما لها مميزاتها، و في معظم الأحيان يتم استخدام الطريقتين معاً لتحليل الصور، و لكن يظل تقرير أهمية و استخدام المعلومات المستخلصة من الصور، راجعاً للخبراء والمتخصصين.

١.٤ عناصر التحليل البصري:

كما ذكرنا سابقاً، فإن تحليل «صور الاستشعار» عن بعد يتضمن تحديد الأهداف المختلفة في الصورة، و قد تكون تلك الأهداف طبيعية أو صناعية و تتكون من نقط و خطوط ومساحات. يتم تحديد الأهداف حسب الطريقة التي تبعث أو تعكس بها الإشعاعات، و يتم تسجيل ذلك باستخدام مستشعر، ثم تحويلها إلى صورة مثل الصور الجوية و صور الأقمار الصناعية.

ما الذي يجعل تحليل الصور أكثر صعوبة من رؤيتنا و تحليلنا للأشياء من حولنا يومياً؟ أحد تلك الأسباب أننا نفقد إحساسنا بالأعماق عند التعامل مع صور ثنائية الأبعاد، إلا إذا استطعنا عرضها بشكل مجسم، لنتمكن من محاكاة البعد الثالث الخاص بالارتفاعات. كذلك رؤية الأهداف من فوقها مباشرة، يعطي رؤية مختلفة تماماً عما نألفه، و بالتالي عند جمع تأثير الرؤية مع المقياس المتغير و قلة التفاصيل التي يمكن تمييزها، يؤدي ذلك إلى عدم التعرف على بعض الأهداف حتى المألوف منها. و أخيرا إننا نستطيع تمييز حيز معين من الأطوال الموجية فقط، و عند تصوير أطوال موجية خارج ذلك الحيز، فإنه يكون من الصعب علينا إدراكها.

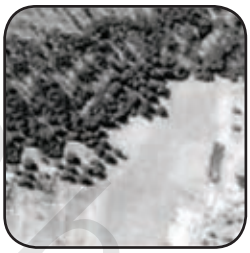
تمييز الأهداف هو أساس التحليل و استخلاص المعلومات من الصور. فمراقبة الاختلافات بين الأهداف و الخلفية المحيطة بها، يشمل مقارنة الأهداف المختلفة بناء على درجة اللون، الشكل، الأنماط، البنية، الظل، الترابط. التحليل البصري باستخدام تلك العوامل هو جزء من حياتنا اليومية، سواء انتبهنا لذلك أم لا، ففحص صور الأقمار الصناعية في تقرير الأرصاد الجوية، أو مراقبة أجسام عالية السرعة من طائرة مروحية، هي أمثلة على التحليل البصري للصور. وفيما يلي سنشرح تلك العناصر مع وجود صورة توضح كل منها.

درجة اللون tone: تعبر عن السطوع النسبي (أو اللون) لعناصر الصورة ، و بشكل عام فإن درجة اللون هي عنصر أساسي في التمييز بين الأهداف المختلفة. كذلك فإن درجة اللون تساعد على تمييز باقي العناصر من الشكل و النمط و الظل و غيرها .

الشكل shape : يشير إلى البنية العامة للأشياء، حيث يمكن اعتباره أحد المفاتيح الأساسية للتمييز بين الأهداف . فالأشكال ذات الحدود المنتظمة، غالباً ما تكون أهدافاً حضرية أو زراعية (حقول)، بينما الأهداف الطبيعية (مثل الغابات) غالباً ما يكون لها شكل غير منتظم ، إلا إذا كان البشر قد تدخلوا بإزالة أجزاء ، أو تمهيد طريق . المزارع و الحقول التي يتم ريها باستخدام المرشات الدوارة، تظهر و كأن لها شكل دائري !!

الحجم size: حجم الأهداف في الصورة يكون مرتبطاً بالمقياس ، فمن الضروري تقييم حجم الهدف بالنسبة لباقي الأهداف في الصورة، و كذلك الحجم المطلق له، و ذلك لسهولة تمييز الهدف . فتحديد الحجم التقريبي للهدف يساعد على سهولة الحصول على المعلومات بشكل أسرع ، فعلى سبيل المثال: إذا كان المطلوب هو تحديد استخدام مناطق معينة من الأرض، و تم تحديد حجم الأبنية الخاصة بتلك المنطقة، فإذا كانت كبيرة الحجم مثل المصانع و المخازن، بالتالي يمكن استنتاج أن تلك المنطقة تجارية، أما إذا كانت الأبنية صغيرة فقد تكون منطقة سكنية .

النمط pattern: يعبر عن ترتيب الأهداف التي يمكن تمييزها . فالتكرار المنظم لدرجات الألوان و التكوينات المتشابهة ، يُكوِن نمطاً محدداً يمكن تمييزه. فمثال على ذلك ، البساتين التي توجد بها الأشجار على مسافات متساوية من بعضها، و المنازل التي تبعد عن بعضها مسافات منتظمة ، فهي تمثل أنماطاً معينة .



التباين اللوني (البنية) Texture : يشير إلى ترتيب درجات الألوان وتكرارها فى مناطق معينة من الصورة . التباين اللونى للأسطح الخشنة يتكون من مجموعة تدرجات لونية، حيث تتغير تدرجات اللون الرمادى بشكل مفاجئ فى مساحة صغيرة من الصورة ، فى حين أن التباين اللونى للأسطح الناعمة يكون قليلاً جداً ، وغالباً ما تكون تلك الأسطح عبارة عن الأراضي المنتظمة، مثل الأراضي العشبية ، و الحقول ، أو الأسفلت . أما الأهداف التي لها سطح خشن وبنية غير منتظمة فهي مثل الغابات.

ويعتبر التباين اللوني أحد أهم عناصر التمييز بين السمات و الأهداف فى الصور الرادارية .

الظل shadow: يساعد في تكوين فكرة عامة عن ارتفاعات الأهداف مما يجعل تحديدها أكثر سهولة .

ولكن على الرغم من ذلك قد تؤثر الظلال على تمييز الأهداف التي تقع في محيطها ، حيث تصبح تلك الأهداف غير واضحة بالنسبة لما حولها . يفيد الظل كذلك في تعزيز و تحديد طبوغرافية و تضاريس الأرض ، خصوصاً في الصور الرادارية.

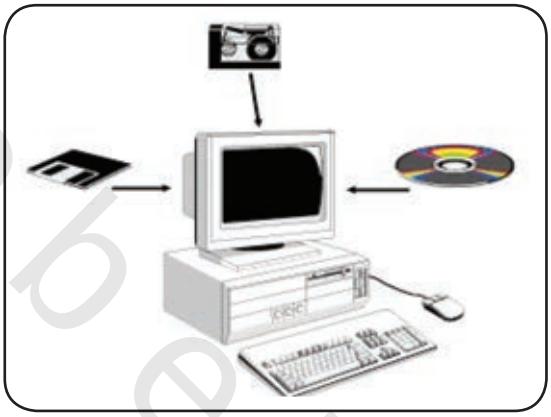
الترابط association : يؤخذ في الاعتبار العلاقة بين الهدف المراد تحديده و أهداف أخرى مجاورة تم تمييزها . ففي المثال السابق، معرفة أن المباني في تلك المنطقة هي مبان تجارية ، يرتبط ذلك بوجود طرق رئيسية ، بينما المنطقة السكنية ترتبط بوجود مدارس و ملاعب . وفي الصورة بالأعلى ، يرتبط وجود بحيرة بوجود قوارب و مَرسى خاص بها و منطقة ترفيهية مجاورة .

٢.٤ معالجة الصور الرقمية:

في عالمنا المعاصر، حيث التقدم التكنولوجي الكبير ، معظم بيانات الاستشعار عن بعد يتم تسجيلها بالصيغة الرقمية، و بالتالي عند استخلاص المعلومات من الصور تستخدم المعالجة الرقمية للصور بشكل أو بآخر .

تشمل المعالجة الرقمية العديد من العمليات، منها تغيير الصيغة و تصحيح البيانات و تحسين الصور ، و في بعض الأحيان تتم عملية التصنيف للأهداف في الصور باستخدام الكمبيوتر بشكل كامل .

بالإضافة إلى وجود الصيغ الرقمية ، يجب أن يتوافر جهاز حاسب مخصص لتلك العملية ويسمى أحياناً بنظام تحليل الصور . يوجد العديد من الأنظمة التجارية التي تم تطويرها من أجل تلك العملية .

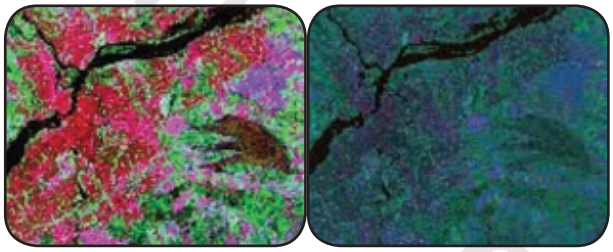


يمكن تقسيم عمليات معالجة الصور إلى أربعة أقسام أساسية:

- معالجة أولية .
- تحسين الصور .
- تحويل الصور .
- تصنيف الصور و تحليلها .

المعالجة الأولية "preprocessing": تشمل العمليات التي تكون هناك حاجة إليها قبل البدء في عمليات التحليل و استخلاص المعلومات الأساسية ، و تنقسم عادة إلى تصحيحات راديومترية ، و تصحيحات هندسية .

التصحيحات «الراديومترية» ، تتضمن تصحيح البيانات من الأخطاء الناتجة عن عدم انتظام المستشعر و الضوضاء (noise) نتيجة الظروف الجوية ، و كذلك إجراء بعض التحويلات على البيانات؛ كي تعبر تعبيراً صحيحاً عن الإشعاعات المنعكسة أو المنبعثة التي رصدها المستشعر . أما التصحيحات الهندسية فتشمل تصحيح التشوهات الهندسية؛ نتيجة الاختلافات في الزوايا والمسافات بين الأرض وجهاز الاستشعار ، و كذلك تحويل البيانات لإحداثيات العالم الحقيقي (خطوط الطول و دوائر العرض) .

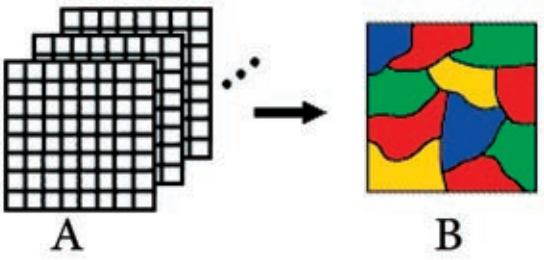


تحسين الصورة "Image enhancement":

الغرض من هذه المجموعة هو تحسين مظهر الصورة حتى يصبح تحليلها و التعامل معها بصرياً أكثر سهولة، و من ضمن تلك المعالجات "مد التباين" "contrast stretching" و تعمل على زيادة التمييز اللوني بين الأهداف المختلفة بالصورة، و عملية " الترشيح المكاني" "spatial filtering" التي تستخدم لتعزيز أو إخفاء بعض الأنماط الموجودة في الصور .

تحويل الصورة "Image Transformation":

تتشابه تلك العمليات في مفهومها مع عمليات التحسين ، و لكن على عكسها فهي تعمل على البيانات على أكثر من نطاق طيفي معاً . تستخدم العمليات الحسابية (طرح ، جمع ، ضرب ، قسمة) لدمج أو تحويل النطاقات الأصلية إلى صور جديدة ذات وضوح أفضل ، أو لتوضيح خصائص معينة في الصورة .

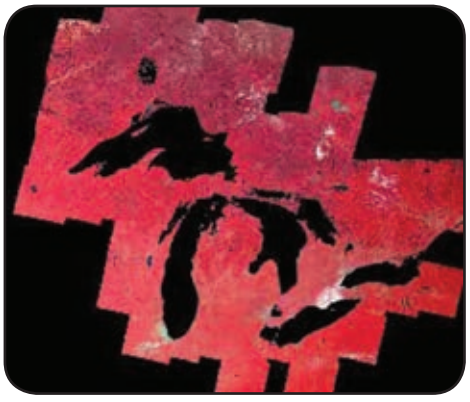


تصنيف الصور و تحليلها "Image classification and analysis" :

هي مجموعة عمليات تستخدم لتحديد و تصنيف أجزاء الصورة (pixels)، و عادة ما يتم التصنيف على مجموعة بيانات متعددة الأطياف (A) ، و يتم تصنيف كل «بكسل» في الصورة بحيث تنتمي إلى فئة معينة (B)، بناءً على خصائص البكسل و سطوعها . و توجد عدة طرق للتصنيف سوف نتناول اثنتين منها باختصار، و هما التصنيف الموجه ، و التصنيف غير الموجه supervised , and unsupervised .

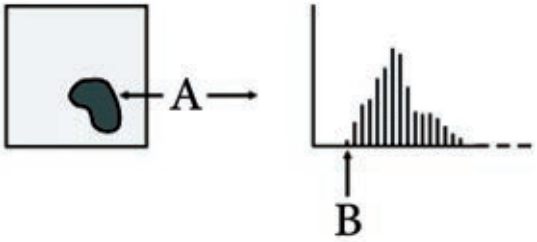
فيما يلي سوف نتناول الفئات الأربع لمعالجة الصور بشيء من التفصيل:

٣.٤ المعالجة الأولية:

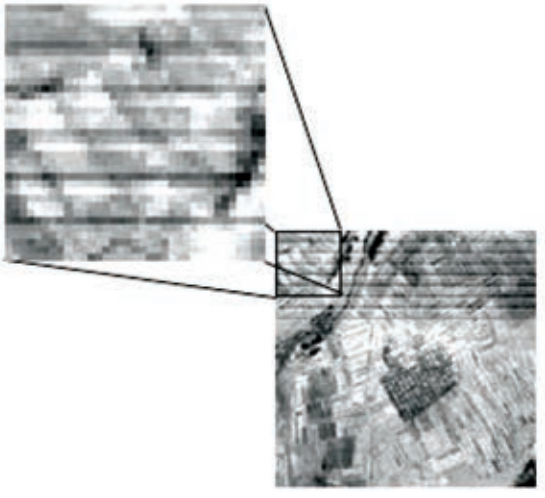


عمليات المعالجة الأولية تسمى في بعض الأحيان عمليات التصحيح و التعديل ، حيث إن الهدف منها هو تصحيح التشوهات و الأخطاء الهندسية والراديومترية. فالتصحيحات الراديومترية تكون ضرورية بسبب التغيرات في الإضاءة، و الزوايا والأبعاد الهندسية، و الظروف المناخية، والضوضاء. وتختلف كل من تلك العوامل تبعاً للمستشعر ومنصة الاستشعار و الظروف المحيطة بالعملية، كذلك قد يتم تحويل أو معايرة البيانات بالنسبة لوحدات (مطلقة) معروفة للإشاعات والانعكاسات، و ذلك لتسهيل عملية المقارنة بين البيانات .

الاختلافات في الإضاءة و الزوايا و الأبعاد الهندسية بين الصور (للمستشعرات البصرية)، يمكن تصحيحها عن طريق العلاقات الهندسية و المسافة بين مساحة الأرض المرصودة و الشمس، و جهاز الاستشعار. تكون تلك العملية هامة عند مقارنة عدة صور - لنفس المنطقة- ملتقطة في أوقات أو تواريخ مختلفة، و أيضاً عند تجميع عدة صور لنفس المستشعر "Mosaic" ، مع الحفاظ على ظروف الإضاءة لكل صورة منها .



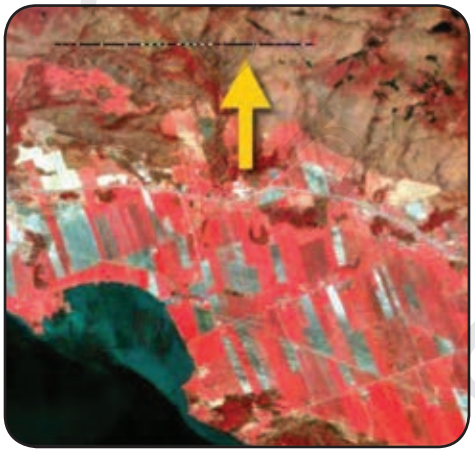
كما ذكرنا في الفصل الأول ، فإن «تشتت الأشعة» يحدث عندما تمر خلال الغلاف الجوي و تتفاعل معه، و هذا التشتت يقلل من الأشعة التي تضيء الأهداف ، كذلك فإن الغلاف الجوي يؤثر على الأشعة المنعكسة من الهدف إلى المستشعر ، و بالتالي تقل الأشعة التي تصل إليه . توجد عدة عمليات لتصحيح تأثير الغلاف الجوي، تختلف بدءاً من التعامل مع الظروف الجوية أثناء التقاط الصور، وصولاً إلى الحسابات البسيطة التي تعتمد فقط على بيانات الصورة . و مثال على تلك العملية هو فحص قيم السطوع لنقاط الصورة (pixels) في منطقة ظل لهدف معتم (مثل بحيرة كبيرة) (A)، و تحديد أصغر قيمة (B)، و تتم عملية التصحيح بطرح تلك القيمة – الخاصة بكل نطاق على حدة- من كل نقاط الصورة (pixels) الموجودة في ذلك النطاق، و بما أن التشتت يعتمد على الطول الموجي (راجع الفصل الأول) ، بالتالي تختلف أصغر قيمة من نطاق لآخر، و تعتمد تلك الطريقة على افتراض أن الانعكاس عن الأهداف المختلفة- إذا كان الجو صافياً - يجب أن يكون صغيراً جداً، ذلك إذا كان لا يساوي صفراً . و إذا رصدنا قيماً أكبر من الصفر ، فيتم اعتبارها ناتجة عن التشتت في الغلاف الجوي .



الضوضاء (noise)، قد تحدث نتيجة أخطاء في استجابة المستشعر أو في تسجيل و إرسال البيانات. يوجد أشكال شائعة للضوضاء، تشمل وجود خطوط في الصورة، و يجب إزالة تلك التأثيرات قبل إجراء أية تحسينات أو تصنيفات على الصورة . يوجد نوعان من تلك الضوضاء (التشوهات): Striping , Dropped lines .

النوع الأول "التخطيط" Striping، كان شائعاً في أنظمة الماسحات الضوئية متعددة الأطياف للقمر "لاند سات"، و ذلك نتيجة الاختلافات في استجابة أجهزة الرصد الستة للماسح الضوئي بمرور الوقت. كذلك توجد بعض الاختلافات بين أجهزة الرصد، وبالتالي فإن قيمة السطوع نفسها يتم تمثيلها بأكثر من شكل تبعاً لاختلاف جهاز الرصد. و يؤدي ذلك إلى ظهور خطوط متكررة بشكل منتظم في الصورة. عملية التصحيح تقوم بعمل تصحيح نسبي بين أجهزة الرصد الستة، و ذلك لجعل القيم الخاصة بها قريبة من بعضها البعض .

النوع الثاني "الخطوط الناقصة" Dropped lines، يحدث عند وجود أخطاء في النظام، ينتج عنها فقد أو خلل في بعض البيانات على طول خط الرصد . و يتم تصحيح ذلك الخطأ عن طريق إزالة هذا الخط و استبدال قيم النقاط (pixels) الخاصة به بقيم النقاط التي فوقه أو تحته أو متوسط تلك القيم .

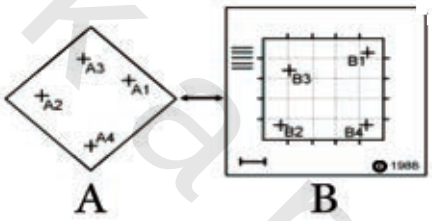


في العديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد ، يكون من الضروري تحويل الأعداد الرقمية إلى وحدات القياس التي تعبر عن الإشعاع أو الانعكاس الحقيقي عن الأسطح. ويتم ذلك بناءً على معرفة مفصلة باستجابات المستشعر، و كذلك الطريقة التي يتم تحويل الإشارة (التناظرية) بها إلى عدد رقمي، ويسمى ذلك بالتحويل من التناظري إلى الرقمي analog-to-digital (A-to-D) conversion. وعن طريق إجراء العملية العكسية لذلك التحويل، يتم حساب كمية الإشعاع المقابلة لكل بكسل، و بالتالي يمكن إجراء المقارنات بشكل صحيح حتى بين أجهزة الاستشعار المختلفة .

كما ذكرنا في الفصل الثاني ، فإن كل صور الاستشعار عن بعد تكون معرضة للتشوهات الهندسية المختلفة، و تحدث تلك التشوهات نتيجة عدة أسباب ، منها :

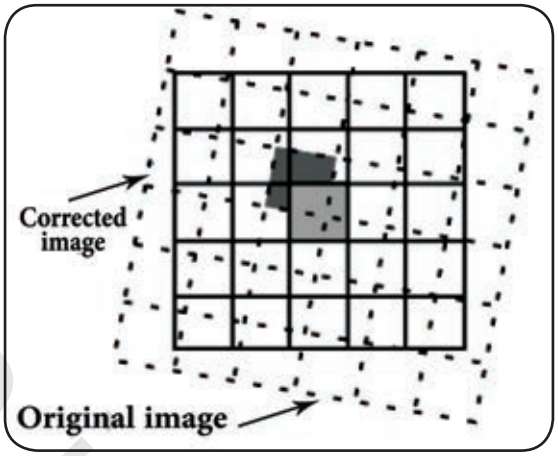
- منظور المستشعر .
- حركة نظام المسح الضوئي .
- حركة المنصة الحاملة للمستشعر، و اتجاهها و ارتفاعها ، و كذلك سرعتها .
- التضاريس الأرضية .
- دوران و تحدب الأرض .

التصحيحات الهندسية يجب أن تقوم بمعادلة تلك التشوهات، و بالتالي يكون التمثيل الهندسي للصورة أقرب ما يكون للواقع، العديد من تلك التشوهات يكون منتظما و متوقعا، و بالتالي يمكن العمل على تفاديه عن طريق التحكم في المستشعر و حركة المنصة، أما التشوهات الأخرى فهي غير منتظمة أو عشوائية، و بالتالي لا يمكن تصحيحها بنفس الطريقة ، و لذلك يصبح من الضروري تسجيل البيانات بالنسبة لنظام إحداثيات أرضي معروف .



عملية التسجيل الهندسي geometric registration process ، تشمل تحديد الإحداثيات (بالنسبة للصورة من صفوف ، و أعمدة) لعدة نقط واضحة و يمكن تمييزها، تسمى "نقط التحكم الأرضية "GCP" (Ground Control Points)، على الصورة التي بها تشوه هندسي (النقاط في A) و مطابقتها لمكانها الحقيقي بالإحداثيات الأرضية (خطوط الطول و دوائر العرض)، حيث إن الإحداثيات الأرضية الحقيقية يتم قياسها من الخريطة (مثل النقاط في الصورة B)، سواء في صورتها الورقية أو الرقمية، و تسمى تلك العملية بـ "التسجيل من الصورة للخريطة" "image_to_map registration".

و بمجرد تحديد عدة أزواج من نقاط التحكم "GCP"، يتعامل «الكمبيوتر» مع معلومات الإحداثيات ، و يقوم بتحديد معادلات التحويل المناسبة لتطبيقها على إحداثيات الصورة الأصلية (الصفوف و الأعمدة)، لتوقيعها على الإحداثيات الجديدة (الإحداثيات الأرضية)، كذلك يمكن إجراء عملية التسجيل تلك عن طريق تسجيل صورة (أو أكثر) بالنسبة لصورة أخرى، بدلاً من تسجيلها لنظام إحداثيات جغرافية ، عندئذ تسمى تلك العملية بـ (التسجيل من صورة لصورة) "image_to_image registration"، و غالباً ما يتم عملها قبل تنفيذ عمليات التحويل الأخرى، والتي سوف نتعرض لها فيما بعد .



من أجل تصحيح الصورة المشوهة هندسياً، توجد طريقة تسمى "إعادة حساب القيم" "resampling"، تستخدم لتحديد القيم الرقمية للـ pixels الخاصة بالصورة الجديدة ، حيث تقوم بحساب القيمة الجديدة لكل «بكسل» من القيم الخاصة بالصورة غير المصححة، و يتم ذلك باستخدام إحدى هذه الطرق الإحصائية :

1. Nearest neighbor

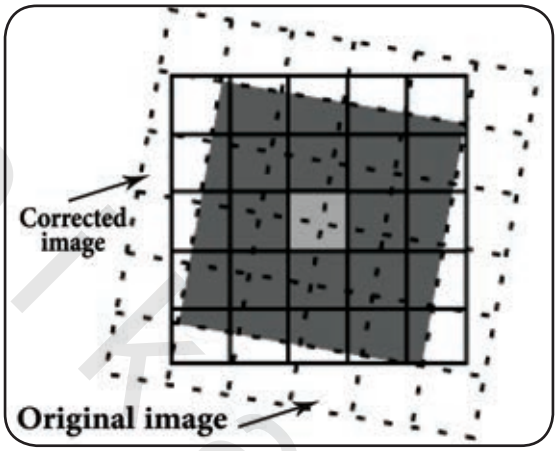
2. Bilinear interpolation

3. Cubic convolution

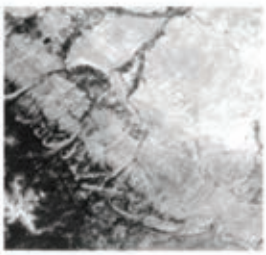
الطريقة الأولى Nearest neighbor ، تستخدم القيم الخاصة بالـ «Pixels» الموجودة في الصورة القديمة الأقرب إلى مكان الـ «Pixels» الجديد في الصورة المصححة . تعتبر هذه هي أبسط الطرق ، ولا تسبب تغيراً في القيم الأصلية، و لكن قد ينتج بسببها تكرار بعض القيم (pixels)، بينما يُفقد البعض الآخر. هذة الطريقة قد ينتج عنها تكون صورة بها أخطاء كأن تكون عناصرها مفككة أو متجمعة على هيئة تكتلات .

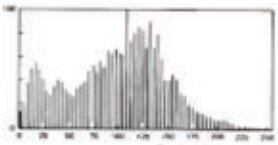
الطريقة الثانية Bilinear interpolation ، تعتمد على حساب الوسط المرجح "weighted average" لأقرب أربع نقاط (pixels) بالنسبة «للبكسل الجديدة» . تلك العملية تقوم بتغيير القيم الأصلية للعناصر ، و تكون صورة جديدة ذات قيم مختلفة بالكامل ، قد يكون ذلك التغيير غير مرغوب فيه إذا كانت هناك المزيد من العمليات سوف تتم على الصورة (مثل التصنيف بناءً على الاستجابة الطيفية)، فإذا كانت هذه هي الحالة ، يكون من الأفضل إجراء تلك العملية بعد عملية التصنيف .

الطريقة الأخيرة Cubic convolution ، تقوم بحساب الوسط المرجح أيضاً ، و لكن لست عشرة بكسل من الصورة الأصلية، و في هذه الطريقة. كما في الطريقة السابقة. تتغير قيم النقاط في الصورة الجديدة تماماً، و لكنهما تنتجان صوراً أكثر وضوحاً و تتجنبان كذلك الأخطاء التي تنتج من الطريقة الأولى .



٤.٤ تحسين الصور:

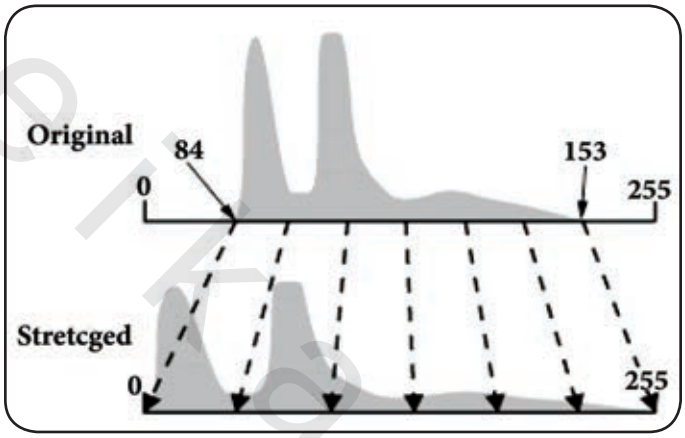




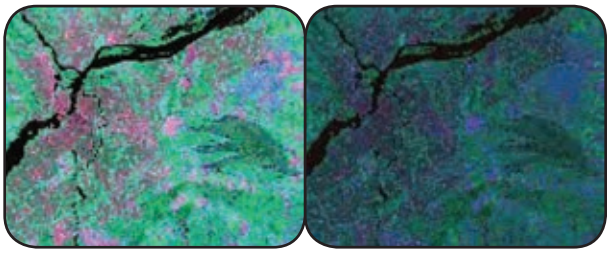
يتم تحسين الصورة حتى يصبح التعامل معها و فهمها أكثر سهولة ، و من مميزات الصور الرقمية أنها تسمح لنا بالتعامل مع قيمة كل «بكسل» في الصورة. في بعض الأحيان، بالرغم من عمل التصحيحات الراديومترية وإزالة تأثيرات الإضاءة و التأثيرات الجوية، إلا أن الصورة قد تظل بحاجة إلى بعض التعديلات حتى يسهل فهمها . أجهزة الاستشعار عن بعد، خصوصاً تلك الموجودة بالأقمار الصناعية، يجب أن يتم تصميمها بحيث تتعامل مع مستويات الطاقة الخاصة بالهدف و الخلفية المحيطة به، و التي تكون ثابتة بالنسبة لكل الظروف .

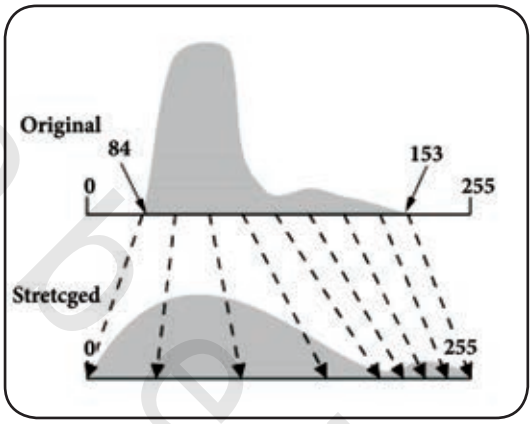
نتيجة اختلاف الاستجابة الطيفية للأهداف بشكل كبير (الغابات، و الصحاري، و المناطق الجليدية، و المسطحات المائية)، لا يمكن عمل تصحيح راديومتري موحد للصورة بالكامل . لذلك فكل تطبيق و كل صورة تكون لها قيم مختلفة .

في الصور الأصلية قبل التعديلات ، تكون المستويات الخاصة بها تشغل نطاقاً صغيراً من القيم الرقمية (حوالي ٨ بت، أو ٢٥٦ مستوى)، في عملية تعزيز التباين يتم تغيير القيم الأصلية حتى يتم استخدام جزء أكبر من النطاق المتاح ، و بذلك يزداد التباين بين الأهداف و الخلفية . وحتى نتمكن من فهم عملية تحسين التباين يجب فهم المدرج الإحصائي لقيم نقاط الصورة "Histogram"، فهو تمثيل بياني لقيم السطوع التي تكون الصورة، يتم تمثيل قيم السطوع (٠ ـ ٢٥٥) على المحور السيني (X ـ axis) ، أما مرات تكرار تلك القيمة في الصورة فتمثل على المحور الصادي (y ـ axis) .

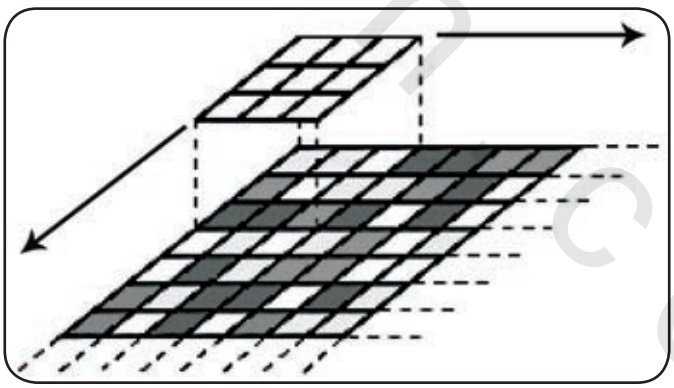


توجد عدة طرق لتحسين التباين في الصورة، سوف نغطي القليل منها فقط، أبسط طريقة منها هي"linear contrast stretch" ، في هذه الطريقة نقوم بتحديد أقل و أقصى قيمة للسطوع في الصورة، ثم إجراء بعض التحويلات لمد ذلك المدى حتى يغطي النطاق المتاح بالكامل . ففي المثال بالأعلى تشغل القيم الحقيقية الحيز من ٨٤ و حتى ١٥٣، حيث يشغل تلك المستويات (٧٠ مستوى) أقل من ثلث النطاق الحقيقي المتاح، فتتم عملية التحسين بمد تلك المستويات حتى تغطي الحيز بالكامل (٠-٢٥٥). يؤدي ذلك إلى تحسن التباين العام للصورة، فالمناطق ذات الألوان الفاتحة تصبح فاتحة أكثر و العكس بالنسبة للمناطق الداكنة، مما يسهل تمييز محتويات الصورة . الصورة بالأسفل توضح تلك العملية، فالصورة على اليسار هي قبل التحسين و الأخرى بعده .



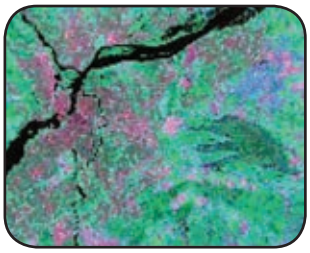


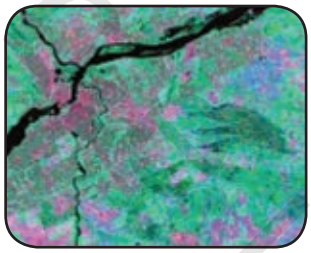
التوزيع المتساوي لقيم مستويات السطوع في الصورة بحيث تغطي الحيز بالكامل ، لا يكون في كل الأحوال مناسباً لتحسين الصورة، خصوصاً عندما تكون القيم الأصلية غير موزعة بالتساوي في هذه الحالة تستخدم طريقة أخرى تكون مناسبة أكثر ، و هي "histogram_equalizedstretch"، تعتمد تلك العملية على إعطاء قيم أكبر للمناطق التي تتكرر أكثر في "histogram"، و بالتالي سوف يزداد وضوح التفاصيل في تلك المناطق . في أحيان أخرى، يكون المطلوب هو تحسين التباين في مناطق معينة من "histogram". فعلى سبيل المثال، إذا كان لدينا صورة لمصب نهر ، و الأجزاء التي بها مياه في الصورة تشغل المستويات (من ٤٠ إلى ٧٦)، فإذا أردنا تحسين و تعزيز تفاصيل المياه في الصورة – لرؤية الاختلافات في كمية الرواسب - على سبيل المثال - بالتالي في تلك الحالة، نقوم بمد النطاق الخاص بمستويات السطوع للمياه فقط ليشغل النطاق الكامل (٠ - ٢٥٥)، و باقي التفاصيل في الصورة - ماعدا المياه - إذا كانت قيمتها أقل من ٤٠ سوف تصبح بصفر و إذا كانت أعلى من ٧٦ ستكون بـ ٢٥٥، و بالتالي تُفقد تلك التفاصيل، و لكن التفاصيل في المياه سوف تتضح و تتحسن بشكل كبير .



الترشيح المكاني "spatial filtering" : يتضمن عدة عمليات «معالجة رقمية» أخرى لتحسين مظهر الصورة، فهذا النوع من المرشحات يتم تصميمه لتوضيح أو طمس أحد معالم الصورة بناءً على خاصية "spatial frequency"، التي تعبر عن تكرار الاختلافات في درجات ألوان الصورة، فالمناطق الخشنة "Rough" في الصورة، هي تلك التي تحدث بها تغيرات مفاجئة و كثيرة في مساحة صغيرة، ويكون لها تردد مكاني كبير، بينما العكس صحيح للمناطق الناعمة "smooth".

تتم "عملية الترشيح" عن طريق تمرير "نافذة" تتكون من مجموعة من البكسل (pixels) (مساحتها تكون ٣×٣ أو ٥×٥، و هكذا ..)، تمر تلك النافذة على كل بكسل في الصورة، و يقوم بعملية حسابية تستخدم قيم البكسل التي تحتها ، ثم استبدال قيمة البكسل التي تقع في وسط النافذة بالقيمة الجديدة التي تم حسابها. يتم تمرير ذلك المرشح على كل الصفوف والأعمدة في الصورة بمقدار بكسل لكل مرة، و يتم تكرار تلك العملية الحسابية في كل مرة، حتى تتم للصورة بالكامل وتتكون صورة جديدة .

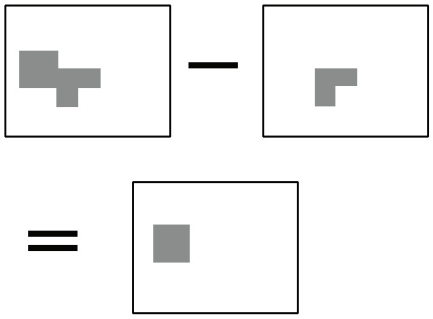




"مرشح الترددات المنخفضة" "low-pass filter"، يستخدم لجعل المناطق في الصورة أكثر تجانساً ، و تقليل التفاصيل الصغيرة في الصورة ، و بالتالي فهو يقوم بتنعيم الصورة بشكل عام. أما "مرشح الترددات العالية" "high-pass filter" فيكون له تأثير معاكس، حيث يقوم بجعل تفاصيل الصورة أكثر وضوحاً و حدة . يمكن تحقيق تأثير ذلك المرشح ، عن طريق تعريض الصورة لمرشح ترددات منخفضة، ثم طرح الصورة الناتجة من الصورة الأصلية، و بالتالي ينتج عنه صورة تحتوي على الترددات العالية فقط "edge detection filters"، تستخدم لتحديد العناصر و الخصائص ذات الطبيعة الخطية، مثل الطرق و حدود الحقول . هذا النوع من المرشحات مفيد في بعض التطبيقات الجيولوجية، و ذلك لتحديد التكوينات الجيولوجية الخطية .

٥.٤ تحويلات الصورة:

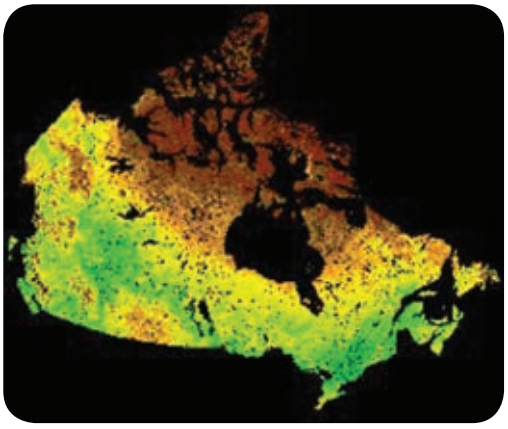
تشمل التحويلات معالجة البيانات على عدة نطاقات معاً ، سواء كان مصدرها هو صورة واحدة متعددة الأطياف أو أكثر من صورة لنفس المنطقة تم التقاطها في أوقات مختلفة، و بالتالي ينتج عن تلك التحويلات صور جديدة تُظهر بعض الخصائص و المعالم أكثر من الصورة الأصلية .



عمليات التحويل الأساسية تستخدم عمليات حسابية بسيطة ، مثل طرح الصور من بعضها ، حيث تستخدم عادة لتحديد الاختلافات بين صورتين لنفس المنطقة على فترات مختلفة . وتفيد تلك العملية في مراقبة التغيرات في المناطق الحضارية في المدن، و كذلك مناطق إزالة الغابات .

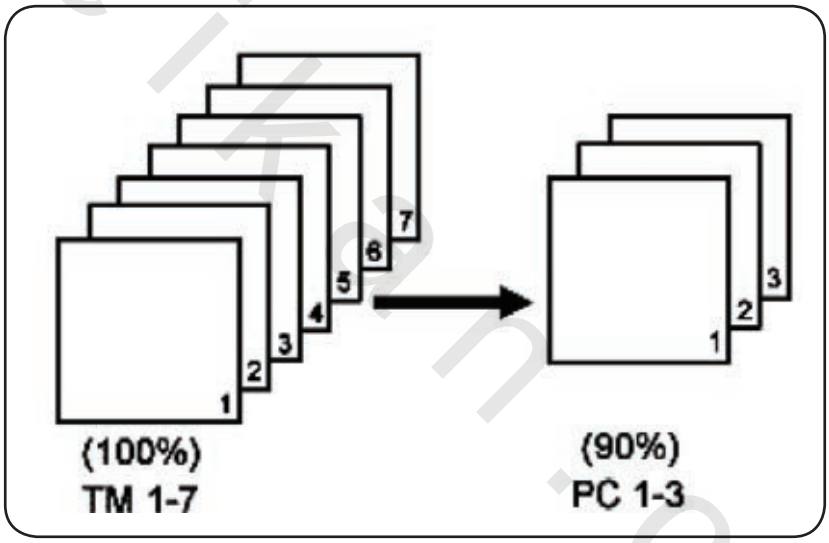
تقسيم الصورة (أو النسب الطيفية)، واحدة من أشهر التحويلات التي تتم على الصور، حيث تستخدم لتحديد و تمييز الاختلافات في الاستجابة الطيفية لمختلف أنواع الغطاء الأرضي . فبتقسيم البيانات الخاصة بالنطاقات الطيفية المختلفة ، تنتج صورة جديدة تتضح بها الاختلافات في النطاقات الطيفية التي لم تكن واضحة. و فيما يلي مثال لتوضيح تلك العملية ، النباتات (السليمة) تقوم بعكس الإشعاعات بقوة في حيز الأشعة تحت الحمراء القريبة ، بينما تمتص بقوة الضوء الأحمر المرئي، بينما بعض الأسطح الأخرى مثل التربة و المياه ، تقوم بعكس الطاقة بشكل متساو تقريباً في كل من حيز الأشعة تحت الحمراء القريبة و الضوء الأحمر ، فعلى سبيل المثال، إحدى صور القمر "لاندسات" على النطاق ٧ (الأشعة تحت الحمراء القريبة من ٠,٨ إلى ١,١ مم) و مقسمة بواسطة النطاق ٥ (اللون الأحمر من ٠,٦ إلى ٠,٧ مم)، سوف تنتج عنها نسب أكبر من ١,٠ للنباتات، و نسب قريبة من ١,٠ للتربة و المياه. و بذلك يمكن تمييز النباتات عن أي غطاء أرضي آخر، كذلك قد نتمكن من تمييز المناطق التي بها نباتات غير سليمة أو مصابة ، حيث تكون لها انعكاسات قليلة للأشعة تحت الحمراء القريبة، مقارنة بالنباتات السليمة .

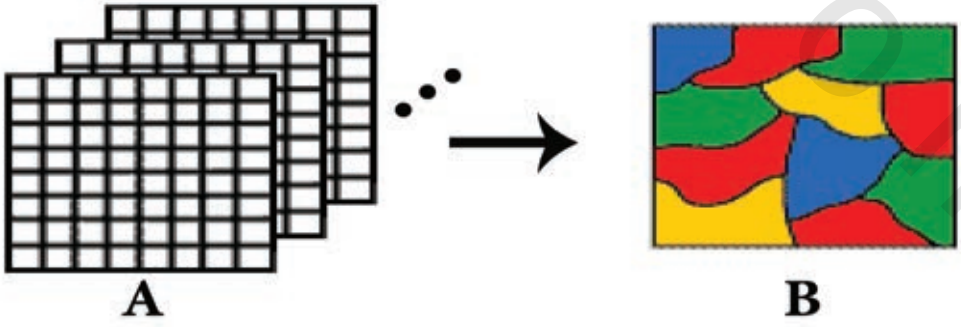
توجد فائدة أخرى لاستخدام تلك الطريقة، و هي تقليل تأثيرات الإضاءة التي تحدث نتيجة طبوغرافية الأرض ، و ذلك لأننا نتعامل مع نسب و ليس قيم السطوع . و لكن على الرغم من ذلك ، فإن المناطق المنحدرة التي تغطيها الغابات تختلف قيم الانعكاسات بها تبعاً لاتجاهها بالنسبة لضوء الشمس . توجد أنواع أخرى من النسب أكثر تعقيداً تشمل مجموع و فرق النطاقات الطيفية لأجهزة استشعار مختلفة ، يتم استخدامها لمراقبة ظروف و أحوال النباتات ، واحدة من تلك الطرق هي "NDVI" (Normalized Difference Vegetation Index)، و التي كانت تستخدم لمراقبة النباتات على نطاق القارات أو العالم، باستخدام جهاز قياس الإشعاعات المتطور (AVHRR)، على متن سلسلة أقمار (NOAA) .



النطاقات المختلفة للبيانات متعددة الأطياف ترتبط ببعضها البعض بشكل كبير . فعلى سبيل المثال، النطاقات ٤، و٥ للقمر "لاندسات" (يمثلان اللونين الأخضر و الأحمر بالترتيب)، لهما تقريباً نفس المظهر و ذلك لأن الانعكاسات لنفس الغطاء الأرضي تكون متساوية تقريباً. طرق التحويل التي تعتمد على معالجات معقدة للخصائص الإحصائية لمجموعات البيانات ، يمكن استخدامها

لتقليل البيانات غير المستخدمة (الزائدة) و زيادة الترابط بين البيانات . أحد هذه التحويلات هو "principal components analysis" الهدف من ذلك التحويل هو تقليل عدد النطاقات لمجموعة من البيانات ، و ضغط أكبر قدر ممكن من البيانات الأصلية لعدد نطاقات أقل ، و تسمى النطاقات الجديدة الناتجة عن تلك العملية بالمكونات (components). و مثال على تلك العملية، تحويل بيانات خاصة براسم الخرائط الموضوعي (Thematic mapper)، و التي تتكون من ثلاثة نطاقات، بحيث تحتوي أول ثلاثة نطاقات على نسبة أكبر من ٩٠٪ من المعلومات الموجودة في النطاقات السبعة الأصلية . التعامل مع تلك النطاقات الثلاثة و تحليلها يكون أكثر سهولة وكفاءة من التعامل مع النطاقات الأصلية كلها . تلك العملية و بعض التحويلات الأخرى يمكن استخدامها كطريقة لتحسين الصورة ، أو لتقليل عدد النطاقات التي سوف تستخدم في عملية التصنيف، و سوف نتحدث عنها فيما يلي .

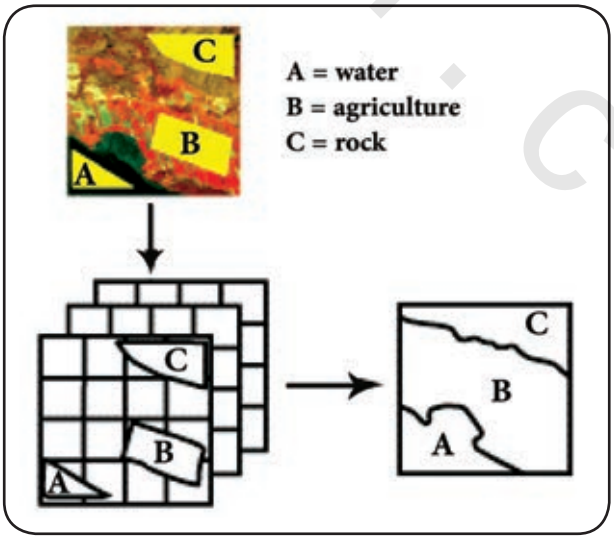




٦.٤ تصنيف الصور و تحليلها:

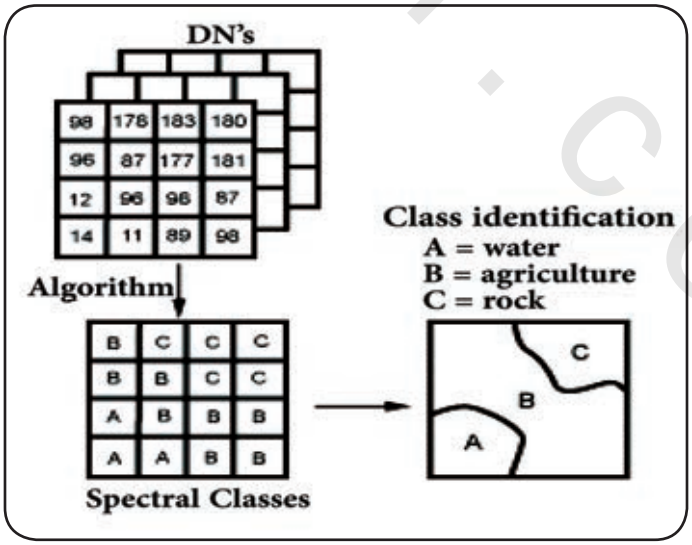
عملية التصنيف الرقمي للصور تستخدم المعلومات الطيفية الممثلة بالأعداد الرقمية لكل نطاق، حيث يتم تصنيف كل بكسل بناءً على تلك المعلومات الطيفية. يسمى ذلك النوع من التصنيف تحديد النمط الطيفي "spectral pattern recognition". في حالات أخرى يكون الهدف هو تصنيف كل النقاط pixels الموجودة في الصورة إلى فئات و مظاهر (مثل: المياه، الغابات الصنوبرية، الغابات الموسمية، محاصيل القمح، و الذرة ، وغيرها..). و تكون الصورة المتكونة عبارة عن مجموعات من النقاط pixels، تنتمي كل مجموعة من هذه النقاط إلى فئة ، فتكون عبارة عن خريطة موضوعية بالنسبة للصورة الأصلية.

عند الحديث عن الفئات (classes)، يجب التفريق بين الفئات الخاصة بالمعلومات والفئات الطيفية. حيث فئات المعلومات هي موضع الاهتمام بالنسبة للشخص الذي يقوم بتحليل الصورة، مثل أنواع المحاصيل المختلفة، و كذلك أنواع الغابات و الأشجار، و الصخور. أما الفئات الطيفية فهي مجموعة من النقاط pixels المتشابهة تقريباً من حيث السطوع، الهدف هو محاولة التوفيق بين الفئات الطيفية و فئات المعلومات، و نادراً ما نتمكن من تحديد فئة طيفية لكل فئة معلومات، ففي بعض الأحيان تكون هناك فئات طيفية لا تقابل أية فئة من المعلومات، كذلك قد تكون هناك فئة من المعلومات (الغابات مثلاً) تقابل عدة فئات فرعية طيفية مختلفة، فالغابات على سبيل المثال قد يكون لها عدة فئات طيفية فرعية، و ذلك نتيجة الاختلافات في العمر و نوع النباتات و كثافتها أو بسبب الظلال و الإضاءة. و تكون مهمة المحلل هي أن يقرر الاستفادة من الفئات الطيفية المختلفة، وكذلك كيفية مقابلتها لمعلومات مفيدة يمكن استخدامها.

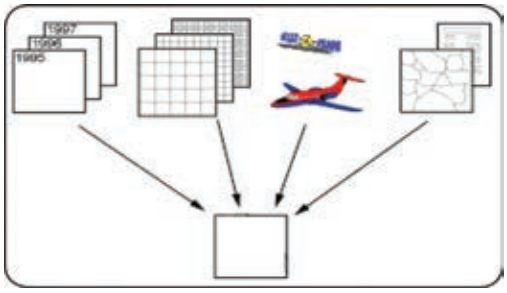


أنواع التصنيفات المختلفة، يمكن تقسيمها إلى نوعين أساسيين ، و هما التصنيف الموجه وغير الموجه . في التصنيف الموجه "supervised classification" ، يقوم المحلل بتحديد عينات تمثل مناطق مهمة (فئات المعلومات)، و تسمى تلك العينات بمجموعات التدريب training sets، و يعتمد اختيار العينات المناسبة على معرفة المحلل بالطبيعة الجغرافية للمنطقة، و أنواع الغطاء الأرضي الموجود بتلك المنطقة . و بالتالي يقوم المحلل "بتوجيه" عملية التصنيف إلى الفئات المختلفة، و تستخدم القيم الرقمية للنقاط في تلك المساحات (العينات) لتدريب الكمبيوتر على التعرف على المناطق المشابهة لها طيفياً . يستخدم الكمبيوتر برامج معينة لتحديد البصمة العددية لكل فئة تدريب، و بمجرد أن يقوم الكمبيوتر بتحديد البصمة الخاصة بكل فئة ، يقوم بمقارنة كل بكسل في الصورة ، و يتم تصنيفها تبعاً لأقرب فئة لها، و بالتالي فإننا في التصنيف الموجه، نقوم أولا بتحديد فئات المعلومات التي لها أهمية بالنسبة لنا ، ثم تستخدم في تحديد الفئات الطيفية التي تمثلها .

التصنيف غير الموجه "unsupervised classification"، هو عكس النوع السابق، حيث يتم تحديد الفئات الطيفية أولاً بناءاً على المعلومات الرقمية فقط، ثم تتم مطابقتها بفئات المعلومات بواسطة المحلل، و يتم استخدام برامج تجميع لتحديد المجموعات الإحصائية الموجودة في البيانات ، و عادة ما يحدد المحلل عدد الفئات التي يجب البحث عنها في البيانات، كذلك يمكنه تحديد الاختلافات و التغيرات لكل فئة. و النتيجة النهائية لعملية التجميع المتكررة تلك ، قد يكون بها بعض المجموعات التي يحتاج المحلل إلى أن يقوم بجمعها معاً أو تقسيمها و بالتالي فإن التصنيف غير الموجه لا يمكن أن يتم بالكامل بدون تدخل العنصر البشري ، و لكنه لا يبدأ بمجموعة فئات محددة من قبل مثل التصنيف الموجه .



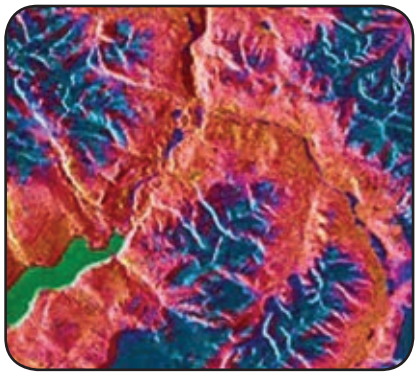
٤ـ٧ تكامل البيانات و تحليلها:



قديماً ، عندما كان الاعتماد على التصوير الجوي فقط ، كانت إمكانية إجراء تكامل بين البيانات المأخوذة من أكثر من مصدر محدودة. أما الآن، و قد أصبحت معظم البيانات متاحة بالصيغة الرقمية فقد أصبح الأمر أسهل بكثير . و تعتمد تلك العملية على جمع أو دمج البيانات مختلفة المصادر، و قد يتضمن ذلك أن تكون البيانات مختلفة زمنياً أو في دقتها أو طبيعتها أو نوع جهاز الاستشعار الملتقطة بواسطته .

تعرضنا سابقاً لنقطة تكامل بيانات مختلفة زمنياً، حيث تستخدم تلك البيانات لمراقبة التغيرات التي تحدث لمنطقة ما بمرور الوقت . و يمكن رصد تلك التغيرات بعدة طرق، منها المقارنة بين عدة تصنيفات ، أو التصنيف باستخدام مجموعات متكاملة من البيانات المختلفة زمنياً .

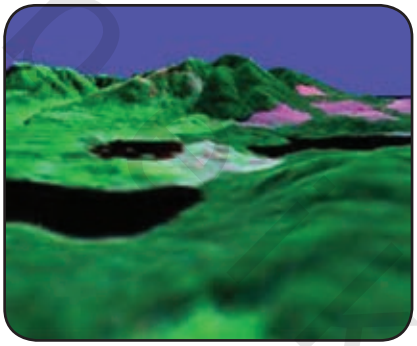
أما دمج الصور المختلفة في دقتها، فيستخدم في عدة تطبيقات ، فإذا قمنا بدمج صورة ذات دقة عالية مع أخرى ذات دقة أقل ، فإن ذلك يحسن دقة الصورة بشكل عام و يحسن التمييز بين عناصرها، و تستخدم تلك الطريقة مع الصور الخاصة بالقمر "سبوت"، حيث يتم دمج الصور البانوكروماتية ذات الدقة العالية (١٠ أمتار)، مع الصور متعددة الأطياف ذات الدقة الأقل (٢٠ متراً) . حيث إن الصور متعددة الأطياف توفر دقة طيفية عالية بينما الوضع البانوكروماتي يوفر دقة مكانية عالية .



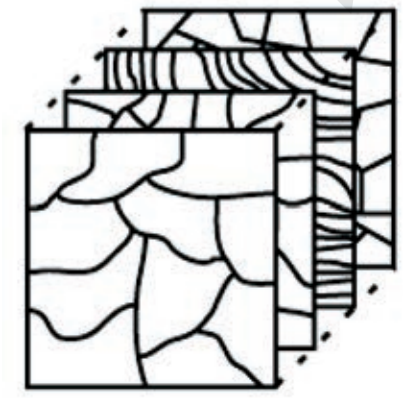
البيانات من أكثر من نوع لأجهزة الاستشعار يمكن دمجها أيضاً، و مثال على ذلك دمج الصور البصرية متعددة الأطياف مع الصور الرادارية، فهذان النوعان من البيانات يوفران معلومات تكمل بعضها البعض . فالبيانات البصرية، توفر معلومات طيفية

مفصلة، تفيد في التمييز بين الأنواع المختلفة من الأغطية الأرضية، بينما الصور الرادارية، توضح التفاصيل الهيكلية في الصورة .

في التطبيقات التي تستخدم بيانات متكاملة من عدة أجهزة استشعار ، يجب أن تكون تلك البيانات مسجلة بالنسبة لأحد أنظمة الإحداثيات الجغرافية، و ذلك يسمح أيضاً للبيانات الإضافية بالتكامل مع البيانات الأساسية . على سبيل المثال:



المعلومات الخاصة بالارتفاعات، في صيغتها الرقمية، تسمى "Digital Elevation Model" (DEM) يمكن دمجها مع البيانات الخاصة بالاستشعار عن بعد، لتستخدم في عدة أغراض . و قد تستخدم تلك البيانات في عملية التصنيف للصور، حيث إن تأثيرات الارتفاعات يمكن تصحيحها باستخدام تلك البيانات، مما يؤدي إلى تحسن دقة التصنيف بشكل عام . كذلك يستخدم هذا النوع من البيانات في عمل نماذج ثلاثية الأبعاد .



كما ذكرنا سابقاً ، فإن دمج البيانات المختلفة المصادر و الأنواع، هو الهدف الأساسي من عملية التكامل . عند التعامل بالبيانات في صيغتها الرقمية، حيث تكون جميع المصادر مسجلة بالنسبة لقاعدة جغرافية، يتم استخلاص البيانات على نطاق واسع. و هذا هو المفهوم الخاص بنظام المعلومات الجغرافية (GIS)، وتعتبر البيانات الرقمية للارتفاعات "DEM" هي مثال على ذلك النوع من البيانات، يوجد كذلك أمثلة أخرى مثل الخرائط الرقمية لأنواع التربة و الغطاء الأرضي، أنواع الغابات، و شبكات الطرق، والعديد من المعلومات التي تختلف تبعاً للتطبيق . النتائج التي يتم الحصول عليها بعد عمليات التصنيف لعناصر الصورة - على هيئة خريطة - يمكن استخدامها أيضاً في نظام المعلومات الجغرافية "GIS" كنوع آخر من المعلومات الذي يستخدم لتحديث خرائط موجودة بالفعل .

كذلك عند تحليل عدة أنواع من البيانات معاً، فإن المعلومات التي نحصل عليها تكون أكثر دقة . و يوجد عدد لا حصر له من التطبيقات التي تحتاج ذلك النوع من تحليل البيانات . وسوف نتحدث لاحقاً عن بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد

الفصـــل الخامس

تطبيقات الاستشعار عن بعد

obeikan.com

obeikan.com

المقدمة:

كما ذكرنا سابقاً، إن أجهزة الاستشعار يتم تصميمها بحيث يخدم كل منها غرضاً معيناً، فالمستشعرات البصرية (optical)، يهتم تصميمها بالنطاقات و المعلومات الطيفية، بينما في التصوير الراداري تلعب زاوية السقوط و نطاق أشعة الميكروويف المستخدمة دوراً هاماً في تحديد التطبيق الملائم للمستشعر.

فكل تطبيق له متطلبات خاصة،من حيث الدقة الطيفية و المكانية و الوقتية كذلك. وعادة ما يحتاج التطبيق الواحد إلى أكثر من نوع من أجهزة الاستشعار، ويشار إلى ذلك بالتكامل بين البيانات، و تسمى البيانات المساعدة التي تستخدم في التحليل بالبيانات الإضافية أو الفرعية (ancillary data).

سوف نتحدث عن تطبيقات الاستشعار عن بعد في هذا الجزء بإيجاز، و لن نتطرق على سبيل المثال إلى التطبيقات العملية في مجال الطقس و المناخ، و لكن سنتحدث عن التطبيقات المرتبطة بسطح الأرض.

٥ ـ ١ الزراعة:

تلعب الزراعة دوراً هاماً في اقتصاد الدول النامية و المتقدمة على السواء، فهي تمثل إحدى ركائز الصناعات بالنسبة للدول المتقدمة اقتصادياً، وكذلك هي ضرورة لسد الاحتياجات الغذائية للدول ذات التعداد السكاني المرتفع، فإنتاج الغذاء هو ضرورة للجميع وكذلك الاستفادة الاقتصادية منه هي هدف أساسي.

و يحتاج المُزارع أن تتوفر له معلومات حتى تزداد كفاءته، فهو بحاجة لمعرفة صحة المحاصيل و أماكن الإصابات و ظروف التربة، و كذلك يهتم التجار بمدى إنتاجية المَزارع من حيث الجودة و الكمية، حيث إن لها تأثيراً مباشراً على الأسعار و التجارة العالمية.

تستخدم الأقمار الصناعية و طائرات التصوير الجوي لتحديد أنواع المحاصيل وصحتها وحيويتها، و كذلك مراقبة الأنشطة الزراعية. و تشمل التطبيقات الزراعية للاستشعار عن بعد ما يلي:

- تحديد أنواع المحاصيل.
- تقييم ظروف الزراعة.

- تقدير إنتاجية المحاصيل .
- معرفة خصائص التربة .
- متابعة أنشطة التعامل مع التربة .
- مراقبة الأنشطة الزراعية .

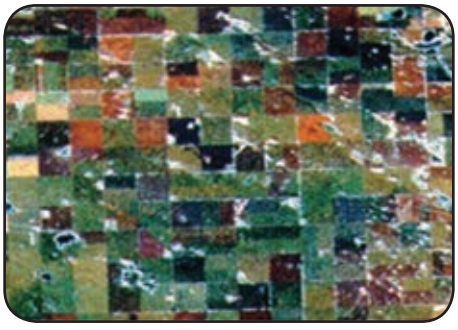
٥ـ١ـ١ تحديد أنواع المحاصيل:

مقدمة :

يتم إنتاج الخرائط التي توضح أنواع المحاصيل عن طريق المؤسسات الزراعية المحلية و الدولية، و ذلك بغرض التنبؤ بكميات المحاصيل الأساسية (كالحبوب بأنواعها) ، و معرفة بعض الإحصاءات عن إنتاج المحاصيل، و إنتاجية التربة في المناطق المختلفة، و كذلك تحديد العوامل التي تؤثر على صحة المحاصيل، و تحديد مناطق تضرر المحاصيل الناتج عن الجفاف أو الرياح ، و مراقبة الأنشطة الزراعية. توجد طرق تقليدية للحصول على تلك المعلومات، مثل عمل بعض الإحصاءات أو المسح الأرضي، ولكنها لا توفر معلومات بنفس الدقة مثل الاستشعار من البعد.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد وسيلة يمكن الاعتماد عليها، كما أن لها كفاءة عالية في جمع المعلومات ، و إلى جانب كونه يستطيع توفير رؤية شاملة ، فهو يستطيع كذلك توفير معلومات مفصلة عن صحة المحاصيل . فالانعكاس الطيفي يختلف تبعاً لنمو المحاصيل، وصحتها، و نوعها و لذلك يمكن متابعتها باستخدام أجهزة الاستشعار متعددة الأطياف. أما الرادار فيمكنه معرفة التركيب الداخلي و محتوى الرطوبة للمحاصيل، و بالتالي يمكنه توفير معلومات إضافية، و بجمع المعلومات الخاصة بالنوعين السابقين من أجهزة الاستشعار، نستطيع التمييز بين الفئات المختلفة ، و بالتالي تكون عملية التصنيف أكثر دقة .



البيانات المطلوبة:

تستخدم الصور الملتقطة على فترات زمنية مختلفة لتسهيل عملية التصنيف، و ذلك بالأخذ في الاعتبار التغيرات التي تطرأ على النباتات في مراحل النمو المختلفة، و ذلك يتطلب أن تتم معايرة المستشعرات، و أن يتم التصوير بشكل متكرر خلال فترة النمو . على سبيل المثال: محصول الكانولا، يكون من السهل تمييزه عند إزهاره ، و ذلك نتيجة التغيرات في الانعكاسات الطيفية .

كذلك البيانات التي يتم الحصول عليها من أكثر من جهاز استشعار تفيد في جعل عملية التصنيف أكثر دقة عن طريق توفير معلومات أكثر مما يمكن لجهاز واحد أن يوفرها، فالاستشعار باستخدام الأشعة تحت الحمراء مع الضوء المرئي (VIR)، يوفر معلومات عن صبغة الكلوروفيل في النباتات ، بينما الاستشعار بواسطة الرادار يوفر معلومات عن بنية النباتات و محتوى الرطوبة الخاص بها في المناطق التي بها غيوم و ضباب باستمرار ، يكون الرادار هو جهاز الاستشعار المناسب للتمييز بين أنواع المحاصيل المختلفة، نتيجة قدرته على تحمل تلك الظروف الجوية، بسبب أن الأطوال الموجية الخاصة به كبيرة و تتمكن من اختراق بخار الماء .

٥-١-٢ مراقبة المحاصيل و تقدير الأضرار:

مقدمة :

إن تقييم صحة المحاصيل، بالإضافة إلى الاكتشاف المبكر للإصابات و الأمراض، هو أمر حيوي للتأكد من إنتاجية الزراعة . فعلى سبيل المثال، وجود خلل في رطوبة النباتات أو وجود حشرات، و كذلك انتشار الفطريات أو الأعشاب الضارة، كل ذلك يجب اكتشافه مبكراً ، حتى تتوفر لدى المزارع فرصة تلافي الخسائر . و ذلك يتطلب أن تتم عملية الاستشعار عن بعد بشكل متكرر (على الأقل أسبوعياً)، وأن يتم توصيل المعلومات للمزارع بشكل سريع، عادة ما يكون خلال يومين .

كذلك فإن المحاصيل لا تنمو بشكل متساو خلال الحقل الواحد ، مما يؤدي إلى اختلاف كمية المحصول من مكان لآخر في الحقل، و قد يكون سبب هذه الاختلافات نقصاً في تغذية التربة أو أي مظاهر خلل أخرى . و يسمح الاستشعار عن بعد للمزارع باكتشاف المناطق التي تعاني من مشاكل، و بالتالي يتمكن من علاجها بالأسمدة أو المبيدات الحشرية و العشبية المناسبة. واستخدام تلك الطريقة لا يؤدي فقط لزيادة إنتاجية الأرض الزراعية، بل و يقلل التكلفة والتأثيرات البيئية كذلك .

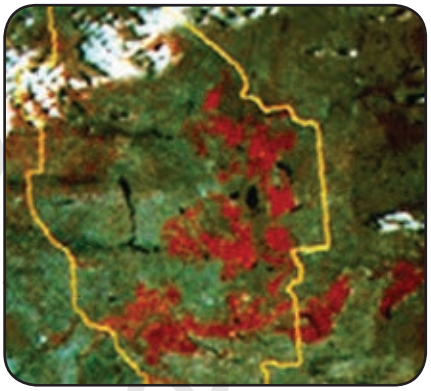
يوجد العديد من الأشخاص العاملين في مجالات تجارة و تثمين المحاصيل الزراعية، الذين لم تطأ أقدامهم أي حقل من قبل، و لكنهم بحاجة إلى معلومات عن صحة المحاصيل حول العالم ، حتى يتمكنوا من تثمين المحاصيل و إجراء المفاوضات و الاتفاقات التجارية، فالعديد من أولئك الأشخاص يعتمدون على مؤشر تقييم المحصول لمقارنة معدلات النمو و الإنتاجية على مر السنوات و لمعرفة مدى جودة الزراعة في كل دولة، و يساهم هذا النوع من المعلومات في معرفة المناطق التي قد تعاني من مشاكل مستقبلاً. فعلى سبيل المثال: المجاعة التي عانت منها إثيوبيا في أواخر الثمانينيات، حدثت نتيجة الجفاف الملحوظ الذي تسبب في تدمير العديد من المحاصيل، فمعرفة وتحديد تلك المناطق يساعد في التخطيط لمعالجتها ، و كذلك إيصال المساعدات الإنسانية .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد العديد من العوامل التي تسمح بمراقبة صحة المحاصيل المختلفة، و إحدى مميزات الاستشعار عن بعد باستخدام الضوء المرئي مع الأشعة تحت الحمراء (VIR) ، هو أن الأشعة تحت الحمراء لها حساسية كبيرة تجاه التغيرات التي تحدث في المحاصيل . فالتقنيات الحديثة في الاتصالات و التكنولوجيا، تسمح للمزارع بمتابعة الصور الخاصة بحقله واتخاذ القرارات و الإجراءات المناسبة، كما يساعد الاستشعار عن بعد في تحديد المحاصيل التي تأثرت بظروف الجفاف و الرطوبة ، و الحشرات، و الفطريات والأعشاب الضارة، أو المتضررة بسبب الظروف الجوية. و يتم التقاط الصور، خلال فترة النمو، ليس فقط من أجل اكتشاف المشكلات، و لكن أيضاً لمتابعة نجاح العلاج. ففي الصورة بالأعلى، قام إعصار بتدمير جزء من المحاصيل، و يظهر ذلك واضحاً في الصورة.

تحتوي النباتات السليمة على كمية كبيرة من صبغة الكلوروفيل (هي المادة المسئولة عن إعطاء النباتات لونها الأخضر)، و بالتالي فإن النباتات السليمة لا تعكس اللونين الأزرق و الأخضر، حيث تمتصها صبغة الكلوروفيل ، على عكس نطاق اللون الأخضر و الأشعة تحت الحمراء تكون الانعكاسات بهما كبيرة . أما النباتات و المحاصيل التي تعاني من التلف فتقل بها مادة الكلوروفيل، و كذلك تحدث تغيرات في تكوينها الداخلي، فيؤدي نقص مادة الكلوروفيل إلى تقليل الانعكاسات في نطاق اللون الأخضر ، بينما التغير في التكوين الداخلي للأوراق يؤدي إلى تقليل الانعكاسات في نطاق الأشعة تحت الحمراء، و بالتالي يكون من السهل اكتشاف وجود تلف أو تضرر مبكراً . فمعرفة نسبة انعكاسات الأشعة تحت الحمراء إلى انعكاسات اللون الأحمر، تعتبر مقياساً جيداً لصحة النباتات .

كما ذكرنا سابقاً، يوجد مؤشر يسمى Normalized Differential Vegetation Index NDVI ويستخدم لتحديد صحة النباتات، حيث إن النباتات السليمة تكون قيمة ذلك المؤشر بالنسبة لها كبيرة بسبب انخفاض انعكاسات الضوء الأحمر و زيادة انعكاسات الأشعة تحت الحمراء، فقيمة ذلك المؤشر تدل على حيوية النباتات و تأثرها بالظروف المناخية. مثال جيد على تأثير حيوية النباتات، الأراضي المروية وغير المروية، فالمحاصيل المروية تظهر



بلون أخضر ساطع في الصور ذات الألوان الحقيقية، أما المناطق الداكنة، فهي مناطق جافة قليلة النباتات، و لكن في التصوير اللوني الزائف (التصوير بالأشعة تحت الحمراء) تظهر انعكاسات الأشعة تحت الحمراء باللون الأحمر، و بالتالي فإن النباتات السليمة تظهر بلون أحمر ساطع، بينما المراعي الجافة مثلاً، تكون لها انعكاسات قليلة.

كذلك من الممكن فحص اختلافات نمو المحاصيل داخل الحقل الواحد، فالمناطق التي بها محاصيل سليمة و تنمو بشكل جيد، سوف تظهر بسطوع منتظم و موحد، أما المناطق المتضررة فستظهر بلون داكن أكثر مما يحيط بها. و إذا كانت البيانات تخضع لمرجع جغرافي، و كان لدى المزارع وحدة (نظام تحديد المواقع العالمي GPS)، فإنه يتمكن من تحديد المناطق المتضررة بسرعة، عن طريق معرفة إحداثيات موقعه بالنسبة لإحداثيات الصورة.

متطلبات التطبيق:

معرفة مناطق التضرر في المحاصيل و مراقبة صحتها، يتطلب صوراً ذات دقة عالية، و كذلك القدرة على التصوير متعدد الأطياف، كما أن أحد العوامل الضرورية لجعل المعلومات مفيدة للمزارع هو عامل الوقت، فعندما تصل البيانات و الصور التي توضح وجود مشكلة في محصول ما متأخرة (على سبيل المثال بعد أسبوعين من التقاطها) فإن ذلك لا يفيد في تلافي المشاكل والأضرار. كذلك فإن الصور تكون مطلوبة في أوقات معينة خلال مرحلة النمو، و بشكل دوري.

وبشكل عام فإن الاستشعار عن بعد لا يحل محل العمل الذي يقوم به المزارع ليتابع حقله، ولكنه يساعد في توجيهه إلى المناطق التي تحتاج عناية طارئة.

٢.٥ الغابات :

تعتبر الغابات أحد الموارد القيمة، فهي توفر الغذاء، و المأوى، و موطن للحياة البرية، ومصدر للوقود وبعض المكونات الطبية، و الأوراق. كما تلعب الغابات دوراً هاماً في موازنة غاز ثاني أكسيد الكربون على كوكب الأرض، و تمثل أيضاً حلقة وصل بين الغلاف الجوي و الأرض و المسطحات المائية. فالغابات الاستوائية المطيرة على وجه الخصوص، بها عدد ضخم من أنواع النباتات، و بالتالي فهي توفر مسكناً للعديد من الحيوانات المختلفة، كما أنها مصدر هام للمكونات الطبية. أهم المشكلات التي تواجه الغابات أنها مهددة بالفناء نتيجة أسباب طبيعية (مثل: الحرائق والأمراض)، أو الأنشطة البشرية (مثل: إزالة الغابات، إحراقها، تحويل الأراضي)، لذلك من الضروري مراقبة الغابات لمتابعة نمو و صحة النباتات، و كذلك استغلالها تجارياً على نحو جيد.

البشر عادة ما يعتبرون أن منتجات الغابات مفيدة أكثر من الغابات نفسها !! و لذلك فإن قطع الغابات للحصول على الأخشاب هو نشاط قديم و يحدث على نطاق العالم ، و تآكل الغابات له تأثير على المدى البعيد على المناخ و الحفاظ على التربة، و التنوع البيولوجي، و الأنظمة الهيدرولوجية، و لذلك هو أحد الاهتمامات البيئية الضرورية استخدام الغابات في الأغراض التجارية هو مجال هام على نطاق العالم ، و مع الضغوط المتزايدة للحفاظ على الغابات ، يجب على الشركات التي تقوم بقطع الأخشاب أن تكون أكثر كفاءة و اقتصادية و على دراية بأن تلك الممارسات لا يمكن أن تستمر .

يجب التأكد من أنه تتم إعادة زراعة الأشجار في المناطق التي يتم أخذ الأخشاب منها ، حيث يضمن ذلك توافر الأخشاب على المدى البعيد حتى تعوض الزيادة الكبيرة في التعداد السكاني .

أما التآكل الذي أسبابه غير تجارية فيحدث نتيجة:

- إزالة الغابات بغرض الزراعة ، أو التنمية العمرانية .
- الجفاف .
- زحف الصحراء .
- فقدان المياه الجوفية .
- الحشرات .
- الحرائق .

أو بعض الظواهر الطبيعية الأخرى (مثل الأمراض والأعاصير) .

في بعض مناطق العالم، خصوصاً المناطق الاستوائية، التي تغطي الغابات المطيرة بها مساحات من الأرض لها أهمية كبيرة، حيث تعتبرهذه الأراضي صالحة للزراعة بشكل كبير، و بالتالي يتم حرق الغابات أو إزالتها حتى يتم استغلال تلك الأرض. تحدث تلك الممارسات عندما لا يدرك البشر أهمية الغابات على المدى الطويل بسبب اهتمامه بالحصول على الغذاء فقط . فالأضرار التي تنتج عن ذلك النشاط لا تتمثل فقط في فناء الغابات الغنية بأنواع الأحياء المختلفة، و لكن أيضا حرق الغابات ينتج عنه الكثير من غاز ثاني أكسيد الكربون ، وبالتالي تزداد ظاهرة الصوب الزجاجية (الاحتباس الحراري) .

بالطبع فإن مراقبة صحة الغابات أمر ضروري للحفاظ عليها ، فانقراض بعض الأنواع الهامة مثل أشجار "المنغروف" "Mangrove"، في المناطق الساحلية، و اختفاء الكائنات الحية التي تستوطن منطقة معينة، كل ذلك يؤثر على البشر و المجتمع بشكل سلبي، و بالتالي تبذل الكثير من المجهودات لمراقبة ووضع قوانين تحمي تلك المناطق .

تتمثل التطبيقات العالمية و المحلية للاستفادة من الغابات (و التي تستخدم الاستشعار عن بعد) في تنمية الغابات كمصدر للغذاء ، و المحافظة على تنوع الكائنات الحية،و مراقبة الغابات و إعادة زراعتها، و المعاملات التجارية، و حماية المناطق الساحلية، و مراقبة الحياة البرية، و بعض الاهتمامات البيئية الأخرى .

تساعد التغطية العالمية للغابات الدول النامية التي لا تمتلك الكثير من المعلومات عن غاباتها على إدارة و تنمية الغابات. فمعرفة نوع الغطاء الأرضي، و تحديد المناطق الساحلية وأماكن تجمع المياه في الغابات، و مراقبة أنشطة قطع الأشجار و إزالة الغابات، و تحديد أماكن حرائق الغابات، كلها احتياجات ضرورية على مستوى العالم ، و يتم استخدام الاستشعار عن بعد في تلك الأغراض .

تشمل التطبيقات التي تستخدم الاستشعار عن بعد على الغابات:

١) رسم الخرائط الاستطلاعية:

الأهداف التي تهتم بها المنظمات البيئية هي تحديد أنواع الغابات، و مراقبة تآكل الغابات، و مراقبة الخصائص الحيوية الفيزيائية .

٢) الأغراض التجارية:

الأهداف التي تهم شركات و هيئات إدارة الموارد هي:

- تحديد مناطق إزالة الغابات .
- تحديد مناطق الحرائق .
- تقدير الكتلة الحيوية .
- تقدير أنواع و كميات النباتات المختلفة .

٣) المراقبة البيئية:

تهتم السلطات المسئولة عن الحفاظ على البيئة بمراقبة كمية و صحة و تنوع الغابات.

- إزالة الغابات .
- أنواع النباتات .
- حماية السواحل .
- صحة الغابات .

٥-٢-١ تحديد مناطق إزالة الغابات :

مقدمة:

إزالة الغابات هي مشكلة عالمية ، و لها الكثير من الآثار المترتبة عليها . على سبيل المثال في أوروبا، قامت الملوثات (مثل الأمطار الحمضية والدخان و المواد الكيميائية من المصانع) بتدمير نسبة كبيرة من الغابات، فقد دمرت الملوثات أكثر من نصف غابات تشيكوسلوفاكيا و كانت هناك تأثيرات مماثلة في كل من ألمانيا،و بولندا، و الدول الاسكندنافية . و في الدول الاستوائية، تتم إزالة الغابات المطيرة، و استصلاح تلك الأراضي للزراعة، مما أدى لخسارة مساحات كبيرة من الغابات الاستوائية في أمريكا اللاتينية (أمريكا الوسطى، جنوب المكسيك، هايتي)، و أمريكا الجنوبية (البرازيل)، و إفريقيا و آسيا . و في كل من هايتي و مدغشقر على وجه الخصوص، كانت النتائج مدمرة، فخسارة الغابات أدت إلى تجريف التربة ، و ترسب الطمي في مجاري الأنهار، و أثر ذلك على الملاحة و مصائد الأسماك، و مواطن الحياة البرية، و مياه الشرب، و كذلك إنتاجية الزراعة و الاكتفاء الذاتي .

وأشجار المنغروف "Mangrove"، التي تحمي مصبات الأنهار، تتم إزالتها من أجل التوسع العمراني، أو تربية الأحياء المائية أو يتم تدميرها بواسطة الملوثات و الترسيب . و لذلك فإن متابعة صحة تلك الأشجار هو أمر هام لحماية المناطق الساحلية من التآكل والانحسار، و كذلك حماية الأراضي من خطر الفيضان.

كما أن خسارة الغابات تؤدي إلى فقدان التنوع الحيوي على سطح الأرض، و الذي يتحكم في قدرتنا على التكيف مع الظروف المتغيرة و البيئة . فالغابات المطيرة يعيش فيها حوالي نصف أنواع النباتات و الحيوانات على سطح الأرض، و تدمير مساحات كبيرة منها يؤدي إلى تقليل التنوع الجيني.

ويقوم الاستشعار عن بعد بمراقبة معدل و مدى انتشار إزالة الغابات، و كذلك إعادة زراعتها.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يستخدم الاستشعار عن بعد، آليات كثيرة لتحليل و تحديد مشكلة إزالة الغابات . فالصور الملتقطة على فترات زمنية مختلفة تستخدم لتحديد التغيرات التي طرأت على المنطقة، حيث تتم مقارنة الصور التي التقطت قبل سنوات بالصور الحديثة، و ذلك لتحديد و قياس حجم التوسع في

عمليـة إزالـة الغابات . أما البيانات مختلفة المصادر (أكثر من جهاز استشـعار)، فتسـتخدم لتوفير معلومات مكملة، فالصور الرادارية مع الصور الضوئية، يمكن اسـتخدامها لمتابعة حالة عمليات إزالـة قائمـة بالفعل أو أخرى جديدة أو تقييم عمليات إعادة زراعـة الغابات . ففي الدول التي تنظم و تتحكم في عمليات إزالة الغابات، يستخدم الاستشعار عن بعد، كوسيلة لمراقبة ما إذا كانت الشركات تتبع تلك القوانين أم لا .

الصور ذات الدقة العالية، توفر رؤية تفصيلية لتآكل الغابات، بينما الرادار يمكنه توفير صور للمناطق التي تحجبها الغيوم . و بشكل عام فإن أجهزة الاستشعار عن بعد توفر رؤية للمناطق التي مـن الصعـب الوصول لها، حيـث كان القطع غير القانوني للغابات سيسـتمر لفـترات طوية إذا لم توجد تلك الوسائل .

متطلبات التطبيق:

تعتمد مبادرات المراقبة العالمية- مثل الدراسـات التي أجريت على انحسار الغابات المطيرة- على تغطية مناطق كبيرة بشكل مستمر ، لذلك من الضروري استخدام جهاز استشعار قابل للتطوير ولإنتـاج أجيـال جديدة منه . كذلك يتطلـب الأمر أن تغطي الصور مناطـق كبيرة، و أن تكون ذات دقـة عاليـة أو متوسـطة، و ذلك بناء على مـا إذا كان المطلوب تحديد أماكـن الإزالة فقط أم رسمهـا بدقـة . و في التطبيقـات التي تحتاج صـورا بتوقيتات مختلفة، يمكن اسـتخدام الصور ذات الدقـة العالية لتحديد الأسـاس الذي تتـم المقارنة بناءا عليـه، أما الصور ذات الدقة الأقل فتسـتخدم لمراقبة التغيرات .

٢-٢-٥ تحديد الأنواع المختلفة:

مقدمة:

تحديـد أنـواع الغابـات و النباتات ، هـو أمر ضـروري لكل من الجهـات المهتمـة بالحفاظ على الغابات، و كذلك الشركات المهتمة بالغابات من أجل ما توفره من مواد . و تحديد نوع الغابات يتم على نطاق واسع، أما تحديد أنواع النباتات فهو يحتاج إلى تفاصيل دقيقة .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

الاستشـعار عـن بعـد يوفـر وسـيلة سـريعة لتحديـد و تمييز أنـواع الغابـات، حيـث إن تلك العمليـة تكـون أكثـر صعوبـة و مكلفة و تسـتهلك الكثـير من الوقـت بالطـرق التقليدية كمـا أنـه يوفر البيانـات في أكثر من دقـة (دقة عالية أو متوسـطة أو منخفضـة) بحيث تكون مناسـبة للتطبيقـات المختلفـة، و علـى النطاق المحلـي أو العالمـي كذلك . و تحديـد الأنواع على نطـاق كبير فيمكـن أن يتم باسـتخدام الصور متعـددة الأطياف أو الصور الجويـة، بينما الصور الـتي تحتـاج تفاصيل كثـيرة يمكـن التقاطها باسـتخدام الـرادار أو الصـور متعـددة الأطياف . تسـتخدم تلـك الصـور بالإضافـة للمعلومات الـتي يمكن اسـتنتاجها منهـا في أنظمـة المعلومات الجغرافية (GIS)، و ذلك للاستفادة منها في تحليلات أكبر .

أما الصور الطيفية الفائقة، فيمكنها توفير دقة مكانية عالية مع الحفاظ على دقة القياسات الإشعاعية (الدقة الراديومترية) عالية. و يمكن استخدام تلك المعلومات الطيفية الدقيقة، لتحديد البصمة الطيفية لأنواع النباتات المختلفة، و كذلك لبعض إصابات الأشجار، كما أنها توفر رؤية مميزة للغابات، لا توفرها التقنيات الأخرى.

متطلبات التطبيق:

المتطلبات تعتمد على حجم الدراسة المراد إجراؤها ، فإذا كان المطلوب هو إجراء استطلاع على منطقة معينة، فتتم تغطية مساحة متوسطة باستخدام جهاز استشعار خاص بتحديد الاختلافات بين أنواع الغابات المختلفة (كثافة الظلال و أوراق الأشجار، الانعكاسات الطيفية). و التقاط الصور لنفس المنطقة في فترات زمنية مختلفة يساعد في معرفة التغيرات الفصلية لمختلف أنواع النباتات.

ولمعرفة التفاصيل الخاصة بأنواع النباتات نحتاج لدقة عالية، و كذلك أجهزة استشعار متعددة الأطياف.

كما أن القدرة على عرض الصور بشكل مجسم ، تساعد في معرفة كثافة الغابات، وارتفاع الأشجار، و الأنواع. و بشكل عام، معرفة خواص الغابات تتطلب وجود بيانات متعددة الأطياف و أجهزة تمت معايرتها بدقة.

٣-٢-٥ تحديد أماكن الحرائق:

مقدمه:

تعتبر الحرائق جزءاً من عملية إعادة إنتاج الغابات ، حيث تتسبب في تفتح البذور و تنشيط المواد الغذائية في التربة. و لكن نظراً لسرعة انتشارها، فقد تشكل خطراً على الحياة البرية والمناطق السكنية، كما يؤدي إلى فقدان الأخشاب. و لذلك يجب توافر المعلومات للسيطرة على انتشار الحرائق، و لتقييم تعافي الغابات بعد الحرائق.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يستخدم الاستشعار عن بعد في متابعة كل من انتشار الحرائق، وإعادة نمو الغابات بعدها. فهو يستخدم كأداة استطلاع، للوصول للمناطق البعيدة أو التي يصعب الوصول لها بالطرق التقليدية، و بالتالي يتم إبلاغ المنظمات المعنية بمراقبة انتشار الحرائق. أجهزة الاستشعار الخاصة بـ (NOAA AVHRR , GOES) يمكن استخدامها لتحديد أماكن الحرائق المشتعلة وذلك لقدرتها على استشعار الحرارة، حيث إن المستشعرات البصرية قد يعيقها عن التصوير الدخان المتصاعد من الحرائق، أو الضباب أو الظلام. و عندما تتم المقارنة بين المناطق المحترقة و المناطق التي مازالت مشتعلة، تتوفر معلومات عن سرعة و اتجاه انتشار النيران.

و يقوم الاستشعار عن بعد بتوفير معلومات تساعد في الوصول لمكان الحريق، أو الهرب منه، أو للتخطيط لمكافحة الحرائق، و متابعة تحسن المناطق المتضررة بعد انتهاء الحريق .

كما يمكن ـ على مدار عدة سنوات بعد الحريق ـ التقاط صور مختلفة زمنياً لمتابعة التطور والتحسن لتلك المنطقة .

متطلبات التطبيق :

البيانات الخاصة بالمستشعرات الحرارية مناسبة أكثر لتحديد أماكن الحرائق التي مازالت قائمة، بينما البيانات الخاصة بالمستشعرات البصرية (الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء) تكون أكثر ملاءمة لمتابعة التطور و التحسن في المناطق التي تضررت سابقاً من الحرائق . متابعة آثار الحرائق تتطلب دقة عالية أو متوسطة، و لا تشترط أن تتوافر البيانات بسرعة، بينما اكتشاف الحرائق يتطلب توافر البيانات بسرعة عالية، لتسهيل الاستجابة، و لكنه لا يتطلب دقة عالية، فالدقة المتوسطة كافية .

٣ـ٥ الجيولوجيا:

تتضمن الجيولوجيا دراسة التضاريس، والتركيبات الأرضية وطبقات الأرض، وذلك لفهم العمليات الفيزيائية التي تؤدي إلى تكوين القشرة الأرضية . و غالبا ما يشار لها على كونها استكشاف واستغلال المصادر المعدنية و الهيدروكربونية لتحسين ظروف و مستوى المعيشة للمجتمع، النفط يوفر البترول، و الغاز لوسائل النقل والمواصلات المختلفة، أما المحاجر المختلفة توفر المكونات الأساسية لعمليات البناء، و الفحم يستخدم لإنتاج الطاقة ، و المعادن النفيسة و الأحجار الكريمة تستخدم لتصنيع المجوهرات، و النحاس و الزنك و المعادن الأخرى تستخدم في العديد من الأغراض المختلفة . تتضمن الجيولوجيا أيضاً دراسة الأخطار المحتملة مثل : البراكين، و الانهيارات الأرضية، و الزلازل، فتلك المعلومات مهمة للدراسات الجيوتقنية المرتبطة بالبناء و الهندسة .

كما أن الدراسات الجيولوجية غير مقتصرة على الأرض فقط، فباستخدام الاستشعار عن بعد تتم دراسة تركيب و تكوين الكواكب و الأقمار الأخرى .

يستخدم الاستشعار عن بعد كأداة لاستخلاص المعلومات حول الأرض و تكوينها وطبقاتها، و لكن عادة ما يتم استخدامه إلى جانب مصادر أخرى للمعلومات توفر بيانات مكملة. حيث إن البيانات متعددة الأطياف توفر معلومات عن الصخور و تكوينها بناءً على الانعكاسات الطيفية. أما الرادار فيوفر رؤية عن طبوغرافية الأرض و مدى خشونتها، و هي معلومات قيمة جداً، خصوصاً عند استخدامها بالتكامل مع معلومات أخرى و بالتالي نحصل على تفاصيل دقيقة عن سطح الأرض و تضاريسها .

الاستشعار عن بعد لا يستخدم فقط في التطبيقات المباشرة للجيولوجيا، و لكن يستخدم أيضاً لتحديد الطرق الموصلة لمناطق التعدين، و مراقبة استصلاح الأراضي .

التطبيقات الجيولوجية للاستشعار عن بعد تشمل التالي:

- رسم خرائط للترسبات السطحية .
- رسم الخرائط الصخرية .
- رسم الخرائط الهيكلية .
- استكشاف المناطق الرملية و الحجرية .
- استكشاف المعادن .
- استكشاف الهيدروكربونات .
- الجيولوجيا البيئية .
- تحديد أماكن الأخطار الأرضية .

٥-٣-١ رسم الخرائط الهيكلية و تحليل تضاريس سطح الأرض:

مقدمة:

الجيولوجيا الهيكلية تلعب دوراً هاماً في اكتشاف المعادن و تحديد الأخطار المحتملة، ففهم التركيبات و التكوينات المختلفة هو مفتاح التعامل مع حركة القشرة الأرضية، و التي كونت الشكل الحالي لسطح الأرض، و يستخدم ذلك في تحديد المناطق التي يحتمل وجود نفط أو غاز بها، عن طريق تحديد الطبقات السفلى للأرض ، و مدى التشكل في القشرة الأرضية في تلك المنطقة . أما الحصول على تفاصيل أكثر حول البنية الأرضية فيتم عن طريق التقنيات الجيوفيزيائية .

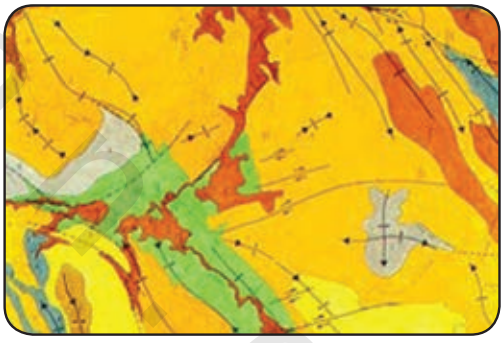
وتساهم تلك الدراسة في معرفة الأخطار المحتملة و تحديد أماكنها، مثل الزلازل و الانهيارات الأرضية و النشاط البركاني، كذلك معرفة أماكن التصدعات يفيد في تجنب البناء على تلك المناطق حيث يزداد بها نشاط الزلازل .

obeikan.com

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

رسم الخرائط الهيكلية يمكن أن يتم من خلال منظور شامل لمنطقة كبيرة، أو على نقاط معينة، و لكن الاستشعار عن بعد يوفر الرؤية الشاملة للمناطق، و يسمح أيضاً للجيولوجيين باستخدام معلومات من مصادر أخرى إلى جانب تلك المعلومات، لتحقيق التكامل بين البيانات، مثل المعلومات الجيومغناطيسية.

بعض أجهزة الاستشعار عن بعد توفر معلومات مختلفة و فريدة، مثل المعلومات التي توفرها أجهزة الرادار عن تضاريس سطح الأرض، و عند مقارنة تلك المعلومات الخاصة بتفاصيل السطح بالمعلومات الجيولوجية الأخرى، يتم استنتاج بعض البيانات و المعلومات عن طريق الترابط بين الخصائص المختلفة. فعلى سبيل المثال: يمكن تمييز نوع معين من الصخور عن طريق صورته الرادارية، و التي قد تشير إلى وجود كثافة مغناطيسية عالية أو انحراف جيوكيميائي.



تتميز أجهزة الرادار ذات الرؤية الجانبية، بأن ظروف الإضاءة الخاصة بها يمكن التحكم فيها، و كذلك الزوايا والأبعاد يتم اختيارها بحيث تلائم طبيعة الأرض و التضاريس.

متطلبات التطبيق:

في المناطق التي تتميز بوجود غطاء نباتي كثيف يكون من الصعب رصد التكوينات الطبيعية، حيث إن الظلال الكثيفة تصعب عمل المستشعرات البصرية. أما الرادار فهو يستطيع رصد التغيرات الطبوغرافية رغم وجود الأشجار و الظلال.

التحليلات الهيكلية يتم إجراؤها على نطاق مناطق بأكملها، و ذلك للحصول على نظرة إجمالية و شاملة لتفاصيل الأرض في تلك المنطقة. فالخصائص الجيولوجية تقاس على مدى كبير (كيلومترات)، و لذلك فإن معظم التطبيقات تتطلب صوراً ذات مقياس صغير لتغطية العنصر موضع الاهتمام بشكل كامل. في مناطق أخرى تستخدم الصور الجوية ذات المقياس الكبير لرسم خرائط أماكن الأخطار المحتملة مثل الانهيارات الأرضية.

في معظم الأحوال لا ترتبط تلك التطبيقات بالوقت، و بالتالي لا تكون هناك حاجة لسرعة استلام الصور و البيانات. و لا يعتبر التقاط الصور بصفة دورية عامل مهم إلا إذا كانت هناك دراسة يتم إجرائها على التغيرات التي تحدث للقشرة الأرضية على مدار الزمن .

أكثر العوامل أهمية في بيانات الاستشعار عن بعد هو توافر معلومات عن طبيعة سطح الأرض، و يلائم الرادار تلك الخصائص نظرا لرؤيته الجانبية، فالتصوير باستخدام زوايا سقوط صغيرة يعزز من رؤية تفاصيل السطح و تكوينه، كما يمكن الاستفادة من الظلال في تحديد الارتفاعات و الأشكال.

٥-٣-٢ رسم الخرائط الجيولوجية :

مقدمة:

رسم الخرائط للوحدات الجيولوجية، يتكون بشكل أساسي من تحديد الوحدات الفيزيوغرافية و التكوينات الصخرية، حيث يتم وصف تلك الوحدات بناءً على عمرها وسماكتها و تكوينها. يمكن استخدام الاستشعار عن بعد في وصف الصخور عن طريق اللون وكذلك عوامل التعرية و الظروف الجوية .

ويفيد ذلك في اكتشاف البترول و المعادن المختلفة، حيث أن تلك الموارد توجد في تكوينات صخرية معينة، فالتركيب الصخري تحت الأرض، قد يكون قابلاً للاحتفاظ بالبترول أو يسمح بوجود أنواع معينة من المعادن، و بالتالي فإن العلماء يقومون بدراسة التركيبات و التكوينات الصخرية و ذلك ليتمكنوا من تحديد الأماكن التي يحتمل وجود تلك الموارد بها حتى تبدأ عملية الاستكشاف في تلك المناطق. تعتبر معرفة طبيعة الصخور الأرضية هي أمر حيوي لعمليات البناء و التشييد، والتعدين، وكذلك في الاستفادة من الأرض في تلك المنطقة و التخطيط العمراني، كما أن فهم توزيع الوحدات المختلفة يساعد في معرفة التاريخ الجيولوجي لسطح الأرض .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

الاستشعار عن بعد يفيد في:

١) رسم خرائط الوحدات الإقليمية ، المفيدة في عمل دراسات و تحليلات على نطاق صغير، وكذلك عمل التحليلات الميدانية للحصول على خرائط مفصلة .

٢) فهم التوزيع المكاني و العلاقات السطحية بين الوحدات الجيولوجية، فالاستشعار بواسطة الضوء المرئي إلى جانب الأشعة تحت الحمراء (VIR) يوفر المعلومات الطيفية المرتبطة بتكوين تلك الوحدات، و يمكن استخدام مصادر متعددة للحصول على معلومات شاملة عن علم طبقات الصخور .

الصور المجسمة تساعد على تحديد و تمييز الوحدات الجيولوجية عن طريق عرضها بشكل ثلاثي الأبعاد .

أما الصور الجوية فيتم التقاطها في المواقع و استخدامها كخريطة أساسية في التحليلات .

متطلبات التطبيق:

يوجد نوعان من عمليات رسم الخرائط، أحدهما على نطاق صغير والآخر على نطاق أكبر، و بالتالي تختلف متطلبات كل منهما عن الآخر من حيث المصادر و المعايير .

١. فعلى نطاق موقع معين أو مساحة معينة، توفر الصور الجوية دقة عالية، و بالتالي تستطيع توفير الكثير من المعلومات .

كذلك يمكن عرض تلك الصور بشكل مجسم، حتى يسهل تقييم طبيعة الأرض و التضاريس في تلك المنطقة.

٢. أما على النطاق الإقليمي، فيجب توافر تغطية لمساحة كبيرة بدقة معتدلة، و في تلك الحالة يكون استخدام مجموعة من مصادر البيانات متكاملة مع بعضها البعض هو الأفضل، فيتم استخدام الرادار مع المستشعرات الضوئية .

كذلك فإن تكرار التقاط الصور و سرعة الحصول عليها ، ليست أمراً هاماً في ذلك المجال، حيث إن الخصائص الجيولوجية تكون ثابتة نسبياً .

٤.٥ الهيدرولوجيا :

الهيدرولوجيا، هي علم دراسة المياه على سطح الأرض، سواء كانت مسطحات مائية على سطح الأرض، أو متجمدة على هيئة جليد أو ثلج، أو مخزنة في التربة. و ترتبط الهيدرولوجيا بالعديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد ، خاصة الغابات و الزراعة، حيث إن المياه هي عنصر أساسي في كل منهما .

معظم العمليات الهيدرولوجية غير ثابتة ليس فقط على مدار السنوات و لكن كذلك باختلاف و تغير الفصول، و بالتالي يجب أن تتم متابعتها بشكل دوري .

الاستشعار عن بعد يوفر رؤية شاملة لتوزيع و حركة الظواهر الهيدرولوجية، حتى تلك التي يتعذر الوصول لها بالطرق التقليدية للمساحة الأرضية (ground surveying) .

استخدام أجهزة الرادار يسمح بالتقاط الصور في الظروف الجوية القاسية، و كذلك في الظلام .

فيما يلي أمثلة لبعض التطبيقات الهيدرولوجية:

- تحديد أماكن الأراضي الرطبة و مراقبتها .
- قياس رطوبة التربة .
- مراقبة الثلوج و تحديد أماكن انتشارها .
- قياس سُمك الثلوج التي تغطي سطح الأرض .
- مراقبة الجليد المتكون في الأنهار و البحيرات .
- مراقبة الفيضانات و تحديد أماكنها .
- رصد التغيرات التي تطرأ على الأنهار .
- تحديد أماكن مصارف المياه و أماكن تجمع مياه الأمطار .
- رصد النقص في قنوات الري .
- تحديد مواعيد الري .

١.٤.٥ تحديد أماكن الفيضانات:

مقدمة:

أحد الظواهر الطبيعية في الدورة الهيدرولوجية هي الفيضانات ، فهي ضرورية لتعويض النقص في خصوبة التربة، عن طريق تزويدها بالعناصر الغذائية و الرواسب، و لكن بالرغم من ذلك فهي قد تودي بحياة الكثيرين وتحدث تدميراً مؤقتاً لموطن بعض الحيوانات، و تدميراً دائماً للبنية التحتية للمناطق الحضرية و الريفية .

و الفيضانات الداخلية يمكن أن تحدث بسبب تهدم السدود الطبيعية أو الصناعية، أو ذوبان الجليد و الثلوج بشكل كارثي، أو الأمطار، أو بسبب تكدس الجليد في الأنهار .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

تستخدم تقنيات الاستشعار عن بعد لقياس ومراقبة انتشار الفيضانات، و ذلك لتوجيه جهود الإنقاذ للمناطق المتضررة، و لتحديد مدى التضرر للأراضي و البنية التحتية. كما أن دمج بيانات الاستشعار عن بعد في نظام معلومات جغرافية "GIS" يسمح بإجراء قياسات سريعة لمستويات المياه، و الضرر، و كذلك تحديد المناطق التي يحتمل حدوث فيضانات بها. و يفيد هذا النوع من البيانات الجهات التي تتنبأ بالفيضانات،

obeikan.com

والشركات التي تعمل في مجال الطاقة الكهرومائية، و السلطات المعنية بالحفاظ على المياه، وجهات تخطيط المدن و الطوارئ، و كذلك شركات التأمين . و يعتبر تحديد أماكن الفيضانات المحتملة هو أمر هام للتخطيط و اختيار طرق النقل و المواصلات .

متطلبات التطبيق:

معظم الجهات التي تستفيد من تلك البيانات ، تحتاج تلك المعلومات أثناء حدوث الأزمات، و لذلك فهي تحتاج الحصول على المعلومات سريعاً، و العكس بالنسبة للشركات العاملة في مجال الهيدرولوجيا، أو الجهات المسئولة عن تقدير الخسائر أو التخفيف من أثر الفيضانات. الظروف المؤدية لحدوث الفيضانات غالباً ما تكون قصيرة الأجل، و تحدث في أجواء سيئة، و لهذا السبب فإن المستشعرات البصرية، رغم أنها توفر معلومات كثيرة، إلا إنها لا تستطيع اختراق السحب و الغيوم حتى تتمكن من رصد المنطقة المطلوبة، و بالتالي فإن استخدام أجهزة الرادار "SAR" يفيد في تلك الحالة. فهو يتمكن من التمييز بسهولة بين المياه و اليابسة، و بالتالي يمكن تحديد مدى انتشار الفيضان، كما أنه يساعد على تحقيق استفادة أكبر باستخدام تلك البيانات مع صور للمناطق المتضررة قبل حدوث الفيضان، و ذلك لتحديد آثار الفيضانات، ثم دمجها في نظام معلومات جغرافية "GIS"، بالإضافة إلى معلومات مساحية و معلومات عن شبكة الطرق .

٢.٤.٥ رطوبة التربة:

مقدمة :

رطوبة التربة هي مقياس مهم لتحديد كمية المحاصيل المتوقعة، و كذلك المناطق التي تضررت من الجفاف (مثل بعض المناطق في أفريقيا)، و المناطق التي بها تجمعات من المياه نتيجة الأمطار . رطوبة التربة، تشير إلى المياه الموجودة في الطبقات العليا من التربة (على عمق 1-2 م)، و التي من المحتمل تبخرها إلى الجو. حيث إن الاكتشاف المبكر لظروف الجفاف التي يحتمل أن تؤدي إلى تلف المحاصيل الزراعية، أو تكون مؤشراً لحدوث جفاف في تلك المناطق، هو أمر هام لتحسين الجهود المبذولة لتحذير المزارعين أو لتجهيز المساعدات الإنسانية للمناطق المتضررة ، أو لإعطاء التجار العالميين ميزة تنافسية .

كما أن رطوبة التربة يمكن استخدامها كمؤشر على حدوث الفيضانات ، فعندما تتشبع التربة بالمياه بالقدر الذي لا يجعلها قادرة على استقبال المزيد من مياه الأمطار يمكن أن يؤدي ذلك لحدوث فيضانات .

وفي المناطق التي يحدث بها إزالة للغابات، تساعد معرفة رطوبة التربة على تقدير كميات الأمطار و معدلات التبخر و تآكل التربة .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد معلومات عن رطوبة التربة على نطاق واسع و ليس مناطق معينة. أجهزة الرادار توفر صور ذات جودة عالية و قياسات دقيقة، و ذلك لأن أشعة الرادار المنعكسة عن الأرض تتأثر برطوبة التربة و بطبوغرافية الأرض ومدى انتظام سطح الأرض، وكذلك الغطاء النباتي ، فإذا لم تتغير تلك العوامل الأخيرة، يمكن مراقبة التغيرات التي تحدث في رطوبة التربة بمرور الوقت، عن طريق التقاط الصور في أزمنة مختلفة. حيث إن الرادار في حقيقة الأمر يتأثر بثابت العزل الكهربائي الخاص بالتربة، و هي خاصية تعتمد على كمية المياه الموجودة في التربة.

ويهتم بهذا النوع من البيانات كل من المسوقين للمنتجات الزراعية، و وسطاء السلع والبضائع، و المسئولين عن الأنشطة الزراعية على نطاقات كبيرة، و شركات توليد الطاقة الكهرومائية.

متطلبات التطبيق:

حيث إن جهاز الاستشعار يجب أن يقوم برصد ظروف الرطوبة ، لذلك فإن استخدام جهاز الرادار أفضل من المستشعرات البصرية. يجب أيضا أن يتم رصد تلك المناطق بشكل دوري و متكرر، خاصة أثناء نمو النباتات لمتابعة التغيرات في رطوبة التربة ، و يجب أن يكون زمن الحصول على تلك المعلومات قليلاً حتى يتسنى للمزارعين تلافي الأضرار التي قد تنتج عن الجفاف أو الرطوبة الزائدة. و باستخدام الصور عالية الدقة يتمكن المزارعون من ري الأراضي بشكل صحيح، وأيضا تسمح التغطية الإقليمية بمعرفة ظروف التربة و زراعة النباتات مما يفيد السلطات والجهات المعنية بالزراعة.

٥.٥ الجليد :

تعتبر ظاهرة الجليد إحدى الظواهر الطبيعية التي يتعرض لها من يعيشون في المناطق الشمالية من الكرة الأرضية، و تؤثر هذه الظاهرة على أنشطتهم الحياتية. فالجليد يغطي جزءاً أساسياً من سطح الأرض و هو عامل مهم في بعض الأنشطة التجارية مثل : الصيد و الشحن، و كذلك في حماية السواحل و بعض الصناعات، و دراسة التغيرات المناخية العالمية. و الجليد القطبي يغطي مساحة كبيرة، تصل تقريباً إلى مساحة تساوي مساحة قارة أمريكا الشمالية، ٢٥ مليون كم^2. و يلعب الجليد دوراً هاماً في "إضاءة الأرض" "Albedo"، و ذلك المصطلح يشير إلى انعكاسية سطح الأرض، فالثلوج و الجليد لها قدرة كبيرة لعكس أشعة الشمس، و أي تغير في توزيعها يؤثر على كمية الأشعة التي تمتصها الأرض . ففي الظروف المناخية الدافئة، تذوب أجزاء من الجليد و بالتالي تقل كمية الأشعة المنعكسة عن سطح الأرض، فتزداد درجة الحرارة على الأرض بشكل عام. العكس أيضاً صحيح، فالجليد يزداد في الظروف المناخية الباردة و بالتالي تزداد الأشعة المنعكسة عن سطح الأرض، و ينتج عن ذلك انخفاض درجات الحرارة . و لهذا فإن تلك التغيرات في توزيع الجليد والثلوج و تأثيرها على المحيطات والغلاف الجوي هي محل اهتمام من العلماء الذين يهتمون بدراسة التغيرات المناخية العالمية.

في فصل الشتاء، يشكل الجليد في نصف الكرة الشمالي حاجزاً كبيراً أمام السفن التي تبحر في المحيطات أو على السواحل ، مما يصعب وصولها للموانئ، كما أن الجبال و الكتل الجليدية تشكل أخطاراً محتملة بالنسبة لحركة الملاحة، وقد تمنع الانهيارات الجليدية الوصول إلى السواحل، وغالباً ما يتطلب الأمر شق طرق خلال الجليد حتى تستطيع السفن الوصول من المياه المفتوحة إلى الموانئ، و بالتالي فإن المعلومات حول أنواع الجليد و حركته و تركيزه، هي معلومات ضرورية . لذلك يتم عمل تحليلات و نشرات يومية للأخطار الجليدية، و تنبؤات موسمية أيضاً .

يمكن استخدام الاستشعار عن بعد لتحديد أماكن أنواع الجليد المختلفة، و أماكن الطرق الرئيسية التي تم شقها في الجليد، و كذلك مراقبة حركة الجليد.

في ظل التطور التكنولوجي، يمكن أن يتم إرسال المعلومات للعملاء خلال وقت قصير من التقاطها، و يحتاج هذا النوع من المعلومات كل من خفر السواحل و سلطات الموانئ، و الشحن التجاري و عمليات الصيد، و كذلك بناء السفن و إدارة الموارد (التعدين و استخراج البترول)، والشركات المتخصصة في البنى التحتية، و العلماء و الجهات المهتمة بالبيئة، و شركات التأمين البحري .

فيما يلي أمثلة على التطبيقات الخاصة بالجليد:

- تركيز الجليد .
- نوع / عمر/ حركة الجليد .
- رصد و تحديد أماكن الجبال الجليدية .
- تحديد أماكن الطرق خلال الجليد من أجل الملاحة و الشحن و عمليات الإنقاذ.
- الظروف الجليدية .
- التاريخ الجليدي للمنطقة و الظروف الجليدية من أجل التخطيط العمراني .
- الحياة البرية .
- مراقبة التلوث .
- بحث التغيرات المناخية العالمية .

١-٥-٥ نوع الجليد و تركيزه :

مقدمة :

السفن التي تبحر عند خطوط العرض العليا (الشمالية أو الجنوبية) عادة ما تواجه بعض العوائق من الكتل الجليدية أو الكتل المتحركة التي تطفو على سطح المياه، و قد تم تصميم كاسحات الجليد لتسهيل السفر في هذه المناطق و لكن الأمر يتطلب معرفة بالطرق المناسبة للسفر عبر الجليد. كذلك من الضروري معرفة امتداد الجليد و نوعه و تركيز و توزيع كل نوع هذه المعلومات مفيدة أيضاً في عمليات التنقيب البحري و الإنشاءات و التنمية الساحلية .

الجليد في البحار غير منتظم أو متجانس، فما قد يبدو أنه غطاء جليدي واحد، قد يختلف كثيراً في خشونته و قوته و درجة ملوحته و سمكه. الكتل الجليدية و الجليد الطافي على سطح المياه يتكون من تجمعات جليدية من أنواع مختلفة. و عادة ما يعرف الجليد بعمره (متكون حديثاً أو منذ عام أو عدة سنوات) ، فالجليد المتكون حديثاً عادة ما يكون ناعم و غير سميك (٥-٣٠ سم) و يكون أقل مقاومة لكاسحات الجليد. أما الجليد الذي عمره عام واحد يكون أكثر سماكة (٣٠ - 200 سم) ، و يمكن أن يشكل خطراً على السفن بما فيها كاسحات الجليد، وعندما يتفتت هذا النوع من الجليد إلى كتل و قمم جليدية يصبح من الصعب تخطيه و عبوره. والجليد الذي عمره أكثر من عام يكون سمكه كبير (أكثر من ٢م) و تقل درجة ملوحته فتزداد صلابته الداخلية. و يشكل هذا النوع من الجليد خطراً حقيقياً على السفن و المنشآت البحرية. يتم رسم خرائط توضح الأنواع المختلفة للجليد و تركيزه، و توزع على العاملين في البيئات البحرية و الذين يمكن أن يؤثر الجليد على أنشطتهم.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

مراقبة الظروف الجليدية من الأرض عادة ما يكون ملائم ولكنه لا يسمح بمعرفة امتداد أو توزيع الثلوج. و لكن الاستشعار عن بعد سواء كان من الفضاء أو الجو يتمكن من توفير تلك المعلومات المهمة، حيث أن أماكن الجليد يمكن تحديدها بسهولة من صور الاستشعار عن بعد ، وعندما يتم إسنادها لمرجع جغرافي تكون مصدر مفيد للمعلومات. كما يمكن للاستشعار عن بعد أن يوفر معلومات كافية تسمح بمعرفة نوع الجليد (و من ثم معرفة سمكه)، و من هذه المعلومات يتم رسم الخرائط و الرسوم التوضيحية الخاصة بالجليد و التي يتم توزيعها على من يحتاجون تلك المعلومات.

يعتبر الرادار من أفضل أجهزة الاستشعار لمراقبة الظروف الجليدية و ذلك لأن أشعة الميكروويف بالإضافة لزوايا و أبعاد الرؤية يوفران معاً قياسات للخصائص الداخلية و السطحية للجليد. و تتأثر الأشعة المنعكسة للرادار بالخصائص العازلة للجليد (و التي تعتمد على درجة الملوحة و درجة الحرارة)، و عوامل السطح (خشونة السطح ، الغطاء الجليدي)، والتركيب الداخلي.

و يعتبر السطح هو أكثر العوامل تأثيراً على الأشعة المنعكسة إلى الرادار، و تستخدم تلك الأشعة لمعرفة عمر الجليد، فالجليد المتكون حديثاً يقوم بعكس جزء قليل من الأشعة باتجاه الرادار، لذلك فهو يظهر بمظهر داكن في الصور الرادارية، و ذلك نتيجة للانعكاس المنتظم للأسطح الملساء، و الذي يقوم بعكس الأشعة في اتجاه واحد تقريباً. أما الجليد المتكون منذ عام واحد فتختلف درجة سطوعه بناءً على درجة خشونته نتيجة الاحتكاك و التكسر. و الجليد الموجود منذ عدة سنوات تكون درجة سطوعه عالية نتيجة الانعكاس غير المنتظم، و ذلك لقلة درجة ملوحته و تكوينه المسامي.

وتستخدم المستشعرات البصرية ذات الدقة المتوسطة، مثل "NOAA's AVHRR" لتوفير تغطية جيدة لامتداد الجليد إذا كانت الظروف الجوية جيدة (الدقة = ١كم).

الاستشعار السلبي باستخدام أشعة الميكروويف يلعب دوراً هاماً في هذا التطبيق، فالأشياء عموماً (بما فيها البشر!) تشع كميات صغيرة من أشعة الميكروويف، و التي يمكن رصدها عن طريق أجهزة الاستشعار. فالجليد و المياه يشعان كميات مختلفة تماماً عن بعضهما البعض، و بالتالي يسهل التمييز بينها . لكن العيب الرئيسي لهذا النوع من الاستشعار هو انخفاض دقته المكانية (حوالي ٢٥ كم)، حيث إنها غير كافية لأغراض الملاحة عبر الجليد .

متطلبات التطبيق:

يظهر الجليد في المحيطات عند دوائر العرض العليا عند القطب الشمالي و القارة القطبية الجنوبية، و لكن الجليد يغطي البحار و البحيرات الأساسية للشحن و الملاحة في الدول الشمالية وبخاصة روسيا وكندا واليابان و دول شمال أوروبا و الدول الإسكندنافية . فالمناطق التي تقع عند دوائر العرض العليا تتعرض لقلة الإضاءة الشمسية في الشتاء عندما يكون الجليد في أقصى فترات تكونه. و كان ذلك أحد المعوقات الرئيسية للاستشعار عن بعد لفترات طويلة قبل استخدام الرادار في هذا التطبيق ، فهو يمتلك القدرة على التصوير ليلاً و نهاراً ، و في الظروف المناخية السيئة، ولذلك يعتبر أفضل أجهزة الاستشعار لمعرفة نوع و تركيز الجليد .

حتى تكون المعلومات مفيدة في أغراض الملاحة ، يجب أن يتم التقاط الصور بشكل دوري، وأن تتم معالجتها حتى تصبح جاهزة للاستخدام خلال وقت قصير. ويوجد أكثر من دقة لصور الاستشعار عن بعد، فالصور ذات الدقة العالية تكون مفيدة في التطبيقات الملاحية، بينما الصور ذات الدقة الأقل، و التي تغطي مساحات أكبر تستخدم في تخطيط الطرق. و في التطبيقات الملاحية، تستمد تلك المعلومات قيمتها من الوقت، فيجب استخدامها سريعاً خلال وقت قصير، بينما في توقع التغيرات المناخية العالمية يمكن استخدام تلك المعلومات رغم مرور الوقت .

يتميز القمر «رادارسات» "RADARSAT" بخصائص مدارية و مواصفات للمستشعر الخاص به تفيد في هذا المجال ، فهو يقوم بتغطية القطب الشمالي مرة يومياً ، و يمكن الحصول على المعلومات منه عن طريق المحطة الأرضية مباشرة إلى السفينة التي تحتاج تلك المعلومات خلال ٤ ساعات. ويمكن للرادارات المحمولة جواً تغطية مناطق معينة مباشرة بدقة عالية ، وهو أمر هام للتطبيقات التي يكون الوقت عنصراً هاماً فيها، لذلك فهي مفيدة رغم أنها مكلفة . و يعتبر فصل الشتاء هو أفضل الأوقات لتحديد أنواع الجليد و الحصول على معلومات منها، حيث إن ذوبان الجليد يؤثر على تمييز أنواع الجليد المختلفة، و يجعل استخلاص المعلومات أمراً أكثر صعوبة . أجهزة الاستشعار الحديثة يتم تصميمها بحيث توفر قياسات تفصيلية لمدى انتشار و امتداد الجليد.

٥ـ٥ـ٢ حركة الجليد:

مقدمة:

يتحرك الجليد بسرعة، و بشكل غير متوقع أيضاً ، في بعض الأحيان بسبب تيارات المحيط أو الرياح، الجليد الذي يطفو على سطح المياه يتحرك أحياناً مثل الصفائح التكتونية، و أحياناً يتشقق مثل الصدوع في الوديان ، أو يصطدم ببعضه البعض ، مكوناً نسخاً مصغرة عن جبال الهيمالايا ، و سلاسل من التلال و الكتل الجليدية . و بعض السفن يتم حصارها أو تدميرها بسبب الضغط الناتج عن تلك الكتل الطافية من الجليد، و أيضاً المنشآت الساحلية قد تتعرض للتدمير بسبب قوة اصطدام ذلك الجليد المتحرك . لذلك من الضروري فهم حركة الثلوج في المناطق التي يوجد بها منشآت أو بالقرب من حركة الشحن و الصيد.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد قياسات دقيقة لمعدل و اتجاه حركة الجليد ، فالكتل الجليدية تختلف في تكوينها و شكلها مما يسمح بتمييزها عن بعضها البعض، و يتم رصد حركتها حتى يكون من الممكن اختيار الطرق المناسبة للملاحة و الشحن ، و كذلك التنبؤ بتأثيرها على المنشآت الثابتة مثل الجسور و المنصات، يحتاج إلى هذا النوع من المعلومات العاملون في مجال الشحن البحري و الصيد و السياحة ، إلى جانب المهندسين العاملين في إنشاء و صيانة الجسور و المنصات .

متطلبات التطبيق:

مراقبة حركة الجليد تتطلب أن يتم التصوير بشكل دوري، حتى نتمكن من رصد حركة الجليد قبل أن يصبح التتبع صعباً بسبب الحركة أو التغيرات في المظهر. الاستشعار الإيجابي باستخدام أشعة الميكروويف (الرادار) يوفر مصدراً مناسباً للتصوير في مختلف ظروف المناخ والإضاءة، و يحمل القمر «رادارسات» هذا النوع من أجهزة الاستشعار، و مساره المداري يضمن أن تتم تغطية المناطق القطبية الشمالية يومياً، مما يسمح بتصوير المنطقة بشكل دوري. و تختلف الدقة المطلوبة للتصوير و الفترات الزمنية بين الصور الملتقطة تبعاً لحجم الكتل الجليدية و حركة الجليد في تلك المنطقة ، ففي المناطق التي تكون الحركة بها بطيئة تكون الدقة المطلوبة ١كم و الفترة الزمنية ١٠ أيام، أما المناطق التي تكون حركة الجليد بها أسرع ، فتكون الدقة المطلوبة ١٠٠ م و الفترة الزمنية من ١٢ـ٢٤ ساعة .

٥ـ٦ الغطاء الأرضي و استخدام الأراضي:

بالرغم من أن المصطلحين "الغطاء الأرضي" و "استخدام الأراضي" يتم استخدامهما بالتبادل، إلا أنهما يختلفان تماماً. فالغطاء الأرضي يشير إلى النباتات و البنية التحتية الحضرية و المياه والتربة و غيرها. و يعتبر تحديد و رسم الخرائط للغطاء الأرضي أمراً ضرورياً لإدارة الموارد الطبيعية و عمليات التخطيط، و مراقبة التغيرات و توفير معلومات تكون أساساً لرسم الخرائط الموضوعية (Thematic maps) .

أما استخدام الأراضي فيشير إلى الغرض الذي تستخدم فيه الأرض، مثل الأغراض الترفيهية أو كموطن للحياة البرية أو للزراع، و يحتاج هذا النوع من التطبيقات إلى رسم الخرائط الأساسية، بالإضافة إلى المراقبة المستمرة، حيث إن تلك المعلومات ترتبط بالوقت لمعرفة أي مساحة من الأرض يتم استخدامها في أية غرض، و لمراقبة التغيرات عبر الزمن . و تساعد تلك المعلومات في تطوير استراتيجيات للحفاظ على الموارد و التنسيق بين الاستخدامات المتعارضة .

ولذلك من الضروري التمييز بين الغطاء الأرضي و الاستخدامات الأرضية و المعلومات المرتبطة بكل منهما. و الخصائص التي يتم قياسها بواسطة الاستشعار عن بعد المرتبطة بالغطاء الأرضي يمكن عن طريقها استنتاج معلومات عن الاستخدامات الأرضية، مع وجود بعض البيانات المكملة .

الدراسات المرتبطة بهذا التطبيق هي متعددة المجالات في الواقع، و يتنوع المشاركون في هذا العمل من المؤسسات الدولية لحماية الحياة البرية إلى جهات البحث الحكومية . فكما ذكرنا، الجهات الحكومية تحتاج إلى معرفة الموارد الموجودة؛ و ذلك لحسن استغلالها والاستفادة منها، كما أن تلك المعلومات تفيد في التخطيط و التنمية و الصناعات و استصلاح الأراضي، كما أن اكتشاف بعض التغيرات على المدى الطويل في الغطاء الأرضي يمكن أن يكون بسبب بعض التغيرات المناخية .

وتهتم الشركات العاملة في استخراج البترول و التعدين و تصنيع الأخشاب، بكل من الغطاء الأرضي و الاستخدامات الأرضية . و التغيرات في الغطاء الأرضي تراقبها الجهات العاملة في مجال البحث البيئي وسلطات الحفاظ على البيئة و الشئون المحلية؛ و ذلك لفرض الضرائب على سبيل المثال أو لتحديد أماكن النباتات .

تطبيقات الاستخدامات الأرضية:

- إدارة الموارد الطبيعية.
- حماية الحياة البرية.
- رسم الخرائط الأساسية التي تستخدم في نظم المعلومات الجغرافية "GIS".
- الزحف العمراني.
- التخطيط للطرق و استكشاف الموارد.
- تحديد الأضرار الناتجة عن (الأعاصير/ الفيضانات/ البراكين/ الزلازل/ الحرائق).
- تقييم الضرائب و تحديدها.

١-٦-٥ التغيرات في استخدام الأرض (الريف/ الحضر):

مقدمة:

كلما زاد التعداد السكاني و تحول اقتصاد الدول من الزراعة للصناعة، انتشرت وازدادت المدن. فالزحف العمراني اعتدى على الأراضي الزراعية أو الغابات، و يعتبر نمو المدن هو مؤشر على انتشار الصناعات وتدهور الصحة البيئية للمنطقة بشكل عام .

فيتم رصد التغير في استخدام الأرض من الريف إلى الحضر لتقدير التعداد السكاني، و للتنبؤ باتجاه الزحف العمراني، و مراقبة المناطق المجاورة لمناطق الأخطار المحتملة، كما يمكن مراقبة مستوطنات اللاجئين المؤقتة ومدن الخيام و تقدير الكثافة السكانية بها .

ومقارنة العمران بالنسبة للأراضي الزراعية هو أمر ضروري للتأكد من أن العمران لا يأتي على حساب أراض زراعية هامة، و للتأكد من أن الزراعة تتم في أكثر الأراضي ملاءمة لها و أنها لن تتدهور بسبب العمران المجاور أو البنية التحتية.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

باستخدام التحليلات على فترات زمنية مختلفة، يعطي الاستشعار عن بعد منظوراً فريداً عن كيفية تطور المدن، حيث يعتبر العنصر الأساسي لرسم خرائط الاستخدامات الأرضية (الزراعة و العمران)، هو القدرة على التمييز بين الاستخدامات الريفية (الزراعة، و غابات المراعي) والاستخدامات الحضرية (الاستخدامات السكنية و التجارية و الترفيهية)، و يمكن الاستفادة من طرق الاستشعار عن بعد لتحديد استخدامات الأرض بطريقة عملية و اقتصادية و دورية على نطاق مساحات كبيرة من الأرض.

متطلبات التطبيق:

المتطلبات الخاصة بتحديد التغيرات في استخدام الأرض بين الريف / الحضر:

١) دقة عالية للحصول على معلومات مفصلة .

٢) بيانات متعددة الأطياف، و ذلك للتمييز الصحيح بين الاستخدامات المختلفة للأرض .

المستشعرات التي تعمل في نطاق الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي، تعتبر هي الأهم في هذا المجال. فبينما تستخدم أجهزة الرادار في رصد التفاصيل الحضرية (نظرا لقدرتها العالية على عكس الأشعة)، إلا أن بيانات المستشعرات البصرية (ضوء مرئي و أشعة تحت حمراء) تسمح بالتمييز الدقيق بين الاستخدامات المختلفة، مما يسمح برصد التحول من الريف إلى الحضر بدقة. و الصور التي يتم التقاطها خلال شهور الشتاء تكون مفيدة في التمييز التقريبي بين مناطق الحضر و غيره .

obeikan.com

أجهزة الرادار قد تكون مفيدة أيضاً في هذا المجال؛ نظراً لأن زوايا و أبعاد التصوير الخاصة بها تعزز رؤية الخصائص و المظاهر الحضرية (البشرية) مثل المباني. و يتم الحصول على أفضل نتائج إذا كانت الخصائص الخطية موازية لجهاز الاستشعار، و عمودية على الطاقة الكهرومغناطيسية الساقطة عليها.

و بشكل عام فإن هذا التطبيق لا يتطلب سرعة في الحصول على المعلومات أو التصوير بشكل دوري.

٥.٦.٢ رسم الخرائط للغطاء الأرضي / الكتلة الحيوية:

مقدمة :

رسم الخرائط للغطاء الأرضي يعتبر عنصراً حيوياً لاستغلال الموارد بالنسبة للجهات الحكومية، و الوكالات البيئية و كذلك الصناعات الخاصة. و يشمل الغطاء الأرضي كل شيء بدءاً من أنواع المحاصيل و الجليد و الثلوج إلى السهول و الغابات المطيرة و الأراضي القاحلة.

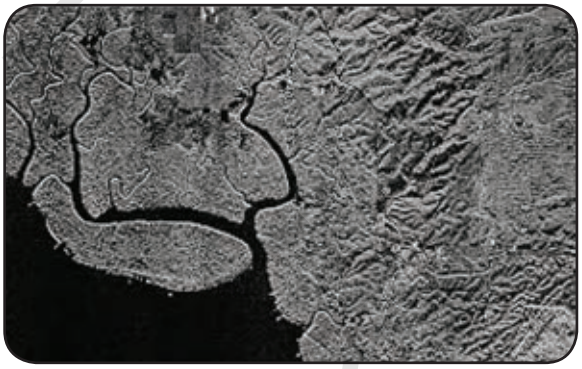
و تقوم برسم الخرائط الإقليمية للغطاء الأرضي، أية جهة مهتمة بمعرفة وحصر الموارد الموجودة في المنطقة لاستخدامها في أغراض التخطيط و الإدارة، و يوفر رسم خرائط الكتلة الحيوية تقديرات كمية للغطاء النباتي و المعلومات الفيزيائية الحيوية (Biophysical) و هي معلومات هامة لمعرفة مدى صحة الغابات.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يعتبر الاستشعار عن بعد هو أكثر الطرق عملية و أكثرها كفاءة من ناحية التكلفة لالتقاط صور دورية للغطاء الأرضي في المناطق المختلفة. فالمعلومات التي يوفرها تظهر التغيرات التي تطرأ على النباتات خلال نموها، سواء كانت تلك التغيرات مرتبطة بمادة الكلوروفيل (يتم رصدها باستخدام الأشعة تحت الحمراء)، أو مرتبطة بتكوينها (ترصد باستخدام الرادار). كما أنه من الصعب الحصول على معلومات عن إقليم ما باستخدام بيانات على نطاق صغير، فالاستشعار عن بعد يوفي هذا المطلب، بالإضافة إلى توفيره لبيانات متعددة الأطياف و المصادر والتوقيتات، و ذلك للتصنيف الدقيق للغطاء الأرضي.

متطلبات التطبيق:

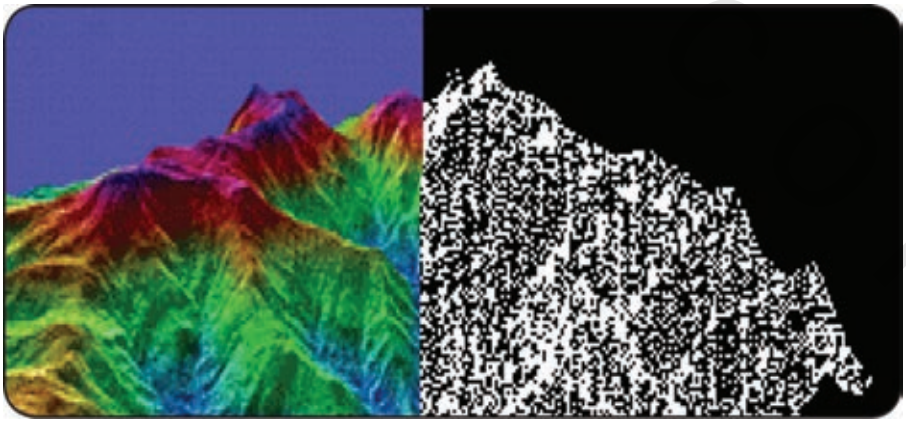
بالنسبة للدراسات التي تجرى للنباتات على نطاق القارات أو العالم، تكون الدقة الملائمة هي (١كم)، وذلك لأنها تتطلب مساحة تخزينية ومعالجة أقل، وهي أمور هامة يجب مراعتها عند العمل على مشاريع تغطي مساحات كبيرة جداً . وبالطبع المتطلبات تعتمد بشكل كبير على التطبيق الذي ستستخدم فيه .



عند دراسة مساحات كبيرة ، تزداد المساحة التي تتم تغطيتها على حساب الدقة، وإحدى الطرق المستخدمة للحفاظ على الدقة مع المساحات الكبيرة هي استخدام عدة صور ودمجها معاً في عملية تعرف باسم "Mosaicking".

المعلومات الخاصة بالغطاء الأرضي قد تتأثر بالوقت، فتحديد نوع المحاصيل قد يتطلب أن يتم التصوير في أوقات معينة مثل وقت الإزهار . كذلك التقاط الصور في توقيتات مختلفة يفيد في معرفة التغيرات التي تطرأ على النباتات في مرحلة النمو، وقد تستخدم تلك المعلومات في عملية التصنيف لأنواع النباتات المختلفة بناءً على خصائص نموها .

البيانات الخاصة بالمستشعرات البصرية تكون أكثر ملاءمة لرسم خرائط الغطاء النباتي، بينما الصور الرادارية تكون أفضل في المناطق التي تغطيها سحب كثيفة .



٥ـ٧ رسم الخرائط :

عملية رسم الخرائط هي عنصر هام في إدارة الموارد الطبيعية، حيث يمكن تمثيل كل من الخصائص الطبيعية و البنية التحتية، مثل شبكات الطرق و المناطق العمرانية و الحدود الإدارية، بالنسبة لنظام إحداثيات معين، و تعتبر الخرائط الأساسية (baseline)، و الموضوعية (thematic)، و الطبوغرافية (topographic)، هي أنواع هامة من الخرائط بالنسبة للتخطيط و المراقبة المستخدمين في عمليات الاستطلاع المدنية و العسكرية، و كذلك إدارة الاستخدامات المختلفة للأراضي، و خصوصاً إذا تم دمجها في نظام معلومات جغرافية (GIS). حيث تعتبر المعلومات التي تخص الارتفاعات أساسية للعديد من التطبيقات، و هي أساس نجاح برامج رسم الخرائط .

توجد حاجة متزايدة إلى استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في إنتاج الخرائط، لأنها توفر المميزات التالية: تغطية مجسمة ودورية لمناطق و مساحات كبيرة، و عدد قليل من الأيدي العاملة، و تخزين البيانات في صيغة رقمية لتسهيل التعامل معها؛ حتى تتوافق مع نظم المعلومات الجغرافية .

ويتعامل مع تلك الخرائط الكثير من المستخدمين، منهم شركات الموارد (الغابات، التعدين، البترول) والصناعات الهندسية، و الهيئات المسئولة عن البنية التحتية (الطاقة، الاتصالات، المواصلات)، وهيئات التخطيط الحكومية، والمؤسسات العسكرية.

وقد حدث تحول في نوع المستخدمين، من التطبيقات العسكرية إلى التجارية، مما أدى إلى ازدياد الطلب على الخرائط .

التطبيقات في مجال الخرائط تشمل :

١. قياس المساحات المستوية (planimetry) .
٢. نماذج الارتفاعات الرقمية (digital elevation models) .
٣. رسم الخرائط الموضوعية (thematic)، و الطبوغرافية (topographic) .

٥ـ٧ـ١ قياس المساحات المستوية:

مقدمة:

تتكون تلك العملية من تمييز و تحديد مواقع الغطاء الأرضي (مثل الغابات، المستنقعات)، والخصائص البشرية (مثل البنية التحتية، و شبكات الطرق). و تستخدم تلك المعلومات في التطبيقات التي تتم على نطاق واسع مثل التخطيط العمراني و الاستطلاعات العسكرية .

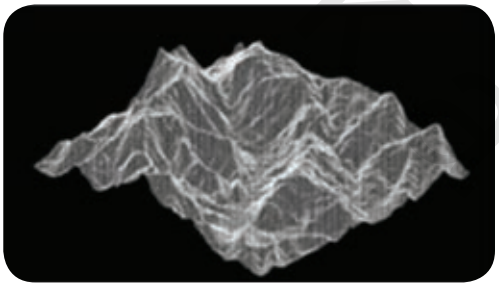
لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

تقنيات مسح الأراضي المصاحبة لاستخدام «نظام تحديد المواقع العالمي» "GPS" توفر دقة عالية، و لكن تظل محدودة بسبب بعض المشاكل مثل التكلفة و الكفاءة و صعوبة رسم الخرائط للمناطق البعيدة أو الكبيرة .

يوفر الاستشعار عن بعد وسيلة لتحديد و تمثيل البيانات بشكل ملائم بكفاءة عالية . و التطبيقات الخاصة بالمجالات الدفاعية العسكرية هي أهم تطبيقات هذا المجال، حيث لإنها تستخدم المعلومات الخاصة بالبنية التحتية و شبكات الطرق و الغطاء الأرضي .

متطلبات التطبيق:

يحتاج هذا المجال إلى دقة عالية ، فالدقة المكانية تلعب دوراً هاماً في كمية المعلومات التي يتم الحصول عليها من الصور، فالأمر لا يتعلق بالحصول على المعلومات فقط و لكن أيضاً بكونها تقع في مكانها الصحيح، فعلى سبيل المثال إذا كانت الصور النقطية الملتقطة (Raster data) لها دقة قليلة، يكون من الصعب تحديد مكان مركز نهر أو أحد خطوط الطاقة وتحويله إلى بيانات رقمية (Vector data).



زمن الحصول على المعلومات يجب إن يتراوح بين أسبوع وأسبوعين، ولكن التطبيقات الخاصة بالدفاع قد تحتاج فترة زمنية أقصر .

٢.٧.٥ نماذج الارتفاعات الرقمية:

مقدمة:

تحتاج التصحيحات الهندسية و الراديومترية للصور التي تحتوي على تضاريس، إلى توافر نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) "Digital Elevation Models" ، حيث تسمح برسم خطوط الكنتور ونماذج التضاريس ، مما يوفر مصدراً آخراً للمعلومات يفيد في تحليل البيانات .

معظم برامج رسم الخرائط الحديثة نادراً ما تحتاج إلى المعلومات عن الأسطح المستوية فقط، و بالتالي فإن الحاجة إلى نماذج الارتفاعات الرقمية تزداد بزيادة استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، و تحسن المعلومات التي يتم الحصول عليها بعد استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية. و يعتبر دمج معلومات الارتفاعات مع بيانات التضاريس ذا أهمية كبيرة للعديد من التطبيقات، وخاصة إذا تم استخدام بيانات رادارية، و ذلك لتقليل تأثير الظواهر السلبية الخاصة بالرادار (foreshortening, layover). و تستخدم تلك النماذج في عمل الخرائط الطبوغرافية .

يتم استخدام بيانات الارتفاعات- بالإضافة إلى الصور- لإنتاج مناظير مختلفة، تفيد في العديد من المجالات مثل: السياحة، و تخطيط الطرق، و التنمية، و تخطيط ملاعب الجولف. كما أنه يتم دمج هذه البيانات عند برمجة الصواريخ، و ذلك حتى تتمكن من عبور التضاريس المختلفة.

وبذلك فإن استخدام هذه البيانات يمتد ليشمل إدارة الموارد، والاتصالات، و الأغراض العسكرية.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوجد العديد من الطرق للحصول على هذه المعلومات، منها أن يتم الحصول على الارتفاعات باستخدام مقياس ارتفاعات أو نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، و استنتاج باقي الارتفاعات باستخدام البيانات الموجودة (Interpolation)، و لكن تلك الطريقة تستهلك الكثير من الوقت و الجهد. و كذلك طرق المساحة التقليدية تحتاج الكثير من الوقت.

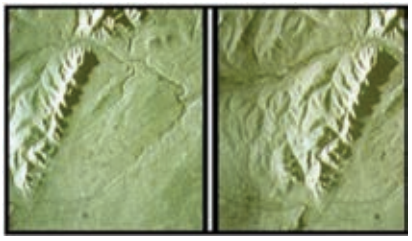
الحصول على نماذج الارتفاعات الرقمية باستخدام الاستشعار عن بعد يمكن أن يقلل التكلفة و يحسن الكفاءة، حيث يوجد العديد من أجهزة الاستشعار و الطرق المتبعة لتكوين هذه النماذج، و يوجد طريقتان أساسيتان :

1.Stereogrammetry

التي تستخدم الصور الجوية، و التصوير باستخدام الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء، و الصور الرادارية.

٢. قياس التداخل الراداري (Interferometry).

Stereogrammetry

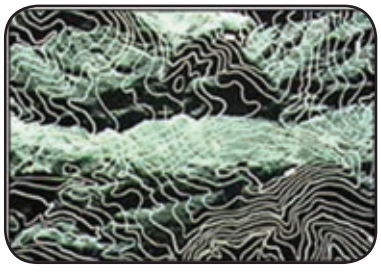


تشمل الحصول على بيانات الارتفاعات عن طريق صور مجسمة متداخلة، عادة ما تكون صور جوية، أو صور من القمر "SPOT"، أو صور رادارية.

خطوط الكونتور (خطوط تمثل الارتفاعات المتساوية) يمكن تتبعها في الصورة عن طريق عرض الصور بشكل مجسم.

Interferometry

تشمل جمع بيانات دقيقة حول الارتفاعات عن طريق دورات متتالية لجهاز رادار "SAR" محمول جواً أو في الفضاء، و يتم التقاط صور متتابعة من نفس المسار تقريباً ومقارنة الفروق بين الإشارات من حيث الطور الخاص بكل منها (phase)، حيث يقاس فرق الطور الخاص بكل بكسل على حدة، ويتم عرضهم على هيئة رسم بياني لقياس التداخل "interferogram". و يتم حساب المرتفعات عن طريق التصحيحات الهندسية و قياس فرق الطور. و الحصول على دقة عالية يكون عن طريق استخدام كلا من الصور الجوية (دقة تصل لعدة سنتيمترات) والصور الفضائية (دقة تصل إلى ١٠ م).



التطبيقات الأساسية لطريقة قياس التداخل هي تكوين نماذج الارتفاعات الرقمية، و مراقبة تغيرات سطح الأرض (مثل : قياس انحسار الأراضي نتيجة العمليات الطبيعية، و استخراج المياه الجوفية، و تضخم البراكين قبل انفجارها، و حركات القشرة الأرضية نتيجة الزلازل)، و تقييم الأخطار، و مراقبة الخصائص الطبيعية و الصناعية (مثل السدود) .

ويفيد هذا النوع من البيانات شركات التأمين التي قد تتمكن من تقييم الأضرار الناجمة عن الكوارث الطبيعية، و كذلك الشركات المتخصصة في مجال الهيدرولوجيا، و الباحثين المهتمين بالمراقبة الدورية للكتل الجليدية، و ذلك للحفاظ على الجسور، و التغيرات في الكتل الجليدية، و التضخم البركاني الذي يسبق الانفجار .

يمكن رسم خطوط الكونتور للخرائط الطبوغرافية باستخدام نماذج الارتفاعات، كما يتم دمج المعلومات الخاصة بالميل والخصائص مع مجموعات التصنيف المختلفة أو كمصدر معلومات منفصل، كما يمكن استخدام نماذج الارتفاعات لتصحيح صور الاستشعار عن بعد .

متطلبات التطبيق:

يعتبر العنصر الأساسي للطريقتين السابقتين هو أن يتم تصوير موقع الهدف مرتين باستخدام مستشعرات تصوير منفصلة، و ذلك للحصول على زوايا رؤية مختلفة .

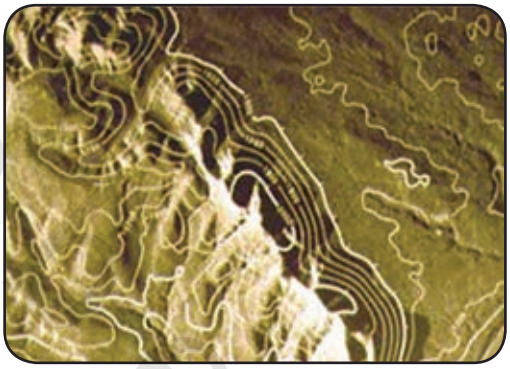
تعتبر الدقة هي عنصر أساسي، بينما زمن الحصول على المعلومات ليس أمراً حيوياً، والتصوير بشكل دوري يعتمد على ما إذا كان التطبيق يتضمن مراقبة التغيرات أم لا، و كذلك النطاق الزمني لتلك الدراسة .

٥-٧-٣ رسم الخرائط الطبوغرافية و الموضوعية:

مقدمة:

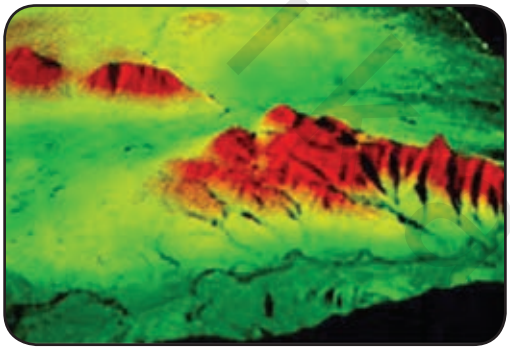
توجد حاجة متزايدة لوجود قواعد بيانات للمعلومات الطبوغرافية و الموضوعية (Thematic) وذلك لتسهيل التكامل بين البيانات و تحديثها، و تتكون الخرائط الطبوغرافية من خطوط الكونتور الخاصة بالارتفاعات و تفاصيل المساحات المستوية، و تستخدم كقاعدة وأساس للتطبيقات المدنية والعسكرية .

الخرائط الموضوعية تعتبر تكاملاً للصور الفضائية مع بيانات الاستخدامات الأرضية و الغطاء الأرضي، و المعلومات الطبوغرافية ، لتكوين "خريطة مصورة" "image map" موضح بها خطوط الكونتور و رسومات (vector data) تدل على المساحات المستوية (مثل الطرق)، و قد تم تطوير هذا المفهوم الجديد للخرائط الموضوعية، حتى يمكن الحصول على مميزات المعالجة الرقمية للمعلومات، وزيادة توافق أنواع البيانات المختلفة، و زيادة استخدام الأنظمة الجغرافية، و زيادة القدرة على تمثيل المعلومات على هيئة خريطة.



يتم الحصول على البيانات المستخدمة في ذلك النوع من الخرائط من قواعد بيانات البنية التحتية و الغطاء الأرضي، و الخصائص الطبوغرافية . ويمكن عرض مجموعات مختلفة من البيانات في هذه الخرائط، حيث يفيد كل منها أغراضاً معينة مثل تخطيط الطرق أو تحديد مواقع استخدامات معينة للأراضي أو إدارة الموارد الطبيعية .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟



حيث إنه من الضروري أن يكون لدى جهاز الاستشعار حساسية لتفاصيل السطح، فيعتبر الرادار الجهاز المناسب لرسم تلك الخرائط، كما يوفر قدرات استطلاعية تفيد الشركات المهتمة بالبحث و التنقيب عن المعادن و الهيدروكربونات. و يفيد ذلك في المناطق الشمالية البعيدة، حيث لا يوجد غطاء نباتي يعوق عملية الرصد للخصائص الطبوغرافية الدقيقة. والتصوير متعدد الأطياف مناسب جداً للحصول على معلومات إضافية عن الغطاء الأرضي، مثل الغابات، و بالتالي فإن الجمع بين البيانات متعددة الأطياف و البيانات الطبوغرافية يوفر معلومات مفيدة.

متطلبات التطبيق:

أهم المتطلبات هي أن تكون الصور غنية بالمعلومات و تتميز بدقة جيدة، مع الحفاظ على قدرة التعامل معها بسهولة، و يكون زمن الحصول على المعلومات كبيراً نسبياً، حيث يجب أن تتوافر تلك البيانات خلال أقل من عام منذ التقاطها.

٨ـ٥ مراقبة المحيطات و السواحل:

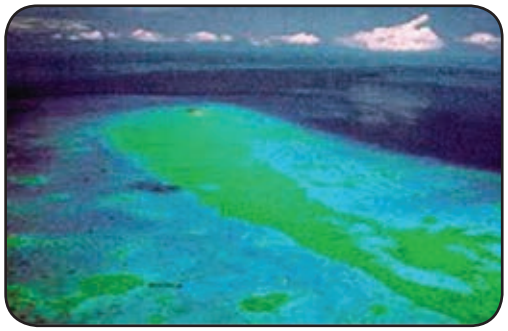
لا تعتبر المحيطات مصدراً مهماً للغذاء و الموارد الحيوية فحسب ، و لكنها أيضاً تمثل أحد العناصر الهامة للمواصلات و الطقس و مخزون غاز ثاني أكسيد الكربون ، و هي أساس الحفاظ على توازن المياه على كوكب الأرض، كما أن فهم ديناميكية المحيطات هو أمر ضروري لتقييم مخزون الثروة السمكية، و اختيار طرق سير السفن ، و التنبؤ ببعض الظواهر الطبيعية العالمية ، و مراقبة العواصف و التنبؤ بحدوثها ـ حتى يمكن تلافي أضرارها على الملاحة ـ و التنقيب في السواحل و المستوطنات الساحلية، و تشمل الدراسات التي تجرى على ديناميكية المحيطات، دراسة الرياح و الأمواج (اتجاهها و سرعتها و ارتفاعها)، و قياس الأعماق و درجة حرارة المياه و إنتاجية المحيطات.

تعتبر المناطق الساحلية واجهة بين المحيط و الأرض، و تتأثر بالتغيرات التي تحدث نتيجة التنمية الاقتصادية و تغير أنماط استخدام الأراضي ، كذلك تعتبر السواحل مناطق متنوعة بيولوجياً نتيجة المد و الجذر ، كما أن المناطق الساحلية غنية بالسكان، حيث يقطن أكثر من ٦٠ ٪ من سكان العالم بالقرب من المحيطات ، و بالتالي تتأثر تلك المناطق بالنشاطات البشرية المختلفة .

وتحتاج الجهات الحكومية المهتمة بتأثير تلك النشاطات على المناطق الساحلية ، إلى مصادر بيانات جديدة لمراقبة التغيرات التي تحدث، مثل تآكل الشواطئ ، و فقدان الموطن الطبيعي لبعض الكائنات ، و تلوث الشواطئ.

و تشمل تلك التطبيقات:

- تحديد أنماط المحيطات :
  - التيارات ، أنماط الدوامات في المناطق المختلفة.
  - المناطق الأمامية ، الأمواج الداخلية ، موجات الجاذبية ، الدوامات ، المناطق المتقلبة ، قياس أعماق المياه الضحلة.
- التنبؤ بالعواصف.
- تقييم المخزون السمكي و الكائنات البحرية :
  - مراقبة درجة حرارة المياه.
  - جودة المياه.
  - إنتاجية المحيط ، و تركيز العوالق النباتية و شدة الانجراف.
- البقع النفطية :
  - تحديد أماكن البقع النفطية وتوقع انتشارها أو انجرافها.



- o الدعم الاستراتيجي لاتخاذ القرارات الملائمة في حالة وجود بقع نفطية.
- o تحديد أماكن تسرب النفط الطبيعية و ذلك لاستكشافها.

• السفن :

- o طرق الملاحة البحرية.
- o مراقبة عملية صيد الأسماك.
- o قياس أعماق المناطق القريبة من السواحل.

• مناطق المد و الجزر:

- o تأثيرات المد و الجزر و العواصف.
- o تحديد مناطق اليابسة و المياه.
- o رسم خرائط للنباتات الساحلية.
- o تأثير النشاطات البشرية.

١.٨.٥ خصائص المحيطات:

مقدمة:

تحليل خصائص المحيطات يشمل تحديد شدة التيارات و اتجاهها، و كذلك الرياح، والتأثيرات التي تحدث بين المحيطات والغلاف الجوي.

يمكن معرفة أنماط الدوامات في المحيطات عن طريق مراقبة بعض الخصائص الأصغر مثل أمواج الجاذبية، وتفيد تلك المعرفة في تحديد المناخ العالمي ومراقبة التلوث والملاحة.

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد عدة طرق للحصول على المعلومات من المحيطات و المناطق الساحلية، حيث تقوم مقاييس التشتت "scatterometers" بقياس سرعة الرياح و اتجاهها، بينما مقاييس الارتفاع "altimeters" تقيس ارتفاع الأمواج.

أما الرادار فإنه يقيس التغيرات في سطح المحيط و مدى اضطراب السطح ، و تقوم أجهزة القياس الراديومترية بقياس درجة حرارة سطح المياه.

كما يمكن دمج المعلومات التي يتم الحصول عليها من الطوافات مع معلومات الاستشعار عن بعد؛ لتكوين خرائط مصورة (image maps) تعرض الأعاصير مع توضيح اتجاه الرياح و شدتها وارتفاع الأمواج . و تفيد هذه المعلومات النشاطات الهندسية التي تقام بالقرب من السواحل ، و عمليات الصيد و التنبؤ بالعواصف.

obeikan.com

متطلبات التطبيق:

بالنسبة للمعلومات الخاصة بحالة البحار و المحيطات (أمواج ، تيارات ، رياح)، تكون البيانات مرتبطة بالوقت، بمعنى أن المعلومات يكون لها قيمة إذا تم الحصول عليها وقت حدوث الظروف نفسها. فبالنسبة للتنبؤات الخاصة بالظروف الجوية واختيار الطرق الخاصة بالسفن، يجب أن يتم الحصول على المعلومات فورا ، مما يتطلب وجود خطين لإرسال واستقبال البيانات بين المستخدم ومصدر المعلومات.

تلعب ظروف سرعة الرياح دوراً هاماً بالنسبة لأجهزة الرادار عند استقبال الإشارات من سطح المحيط، فمثلاً عندما تكون الرياح منخفضة السرعة (٣.٢ م/ث) ، لا يكون جهاز الرادار حساسا لدرجة تكفي لمعرفة مدى اضطراب سطح المحيط و عندما تكون سرعة الرياح كبيرة جداً (أكثر من ١٤ م/ث) يغطي اضطراب سطح المحيط على أية خصائص أخرى قد تكون موجودة. و يعتبر المبدأ الأساسي لعملية التشتت الخاصة بتصوير سطح المحيط، هو «تشتت براج» "Bragg scattering"، حيث تقوم الموجات القصيرة بتشكيل أنماط متعددة على السطح، وتعتمد شدة الأشعة العائدة للرادار على زاوية السقوط والطول الموجي لأشعة الرادار، بالإضافة إلى ظروف وحالة المحيط عند التقاط الصور. موجات السطح التي تؤدي لحدوث التشتت لها طول موجي يساوي تقريباً الطول الموجي للقمر "رادارسات" (٥,٣ سم)، و تتكون تلك الموجات القصيرة عادة نتيجة تأثير الرياح على الطبقات العليا من سطح المحيط . هذه التغيرات تؤدي لتكون أنماط مختلفة للسطح يمكن لجهاز الرادار التقاطها.

٢.٨.٥ ألوان المحيط وتركيز العوالق النباتية:

مقدمة:

التحليلات الخاصة بلون مياه المحيط تستخدم كطريقة لمعرفة مدى صحة المحيط، عن طريق قياس النشاط الحيوي له. فالنباتات الموجودة في المحيطات تحتوي على صبغة الكلوروفيل، و التي تقوم بامتصاص الضوء الأحمر (مما ينتج عنه اللون الأزرق المائل للخضرة للمحيطات) وتعتبر مؤشراً جيداً على صحة المحيط ومستوى إنتاجيته . وتعطي القدرة على تحديد الأنماط المختلفة للون المحيطات سواء على نطاق إقليمي أو عالمي، رؤية عامة عن الخواص الأساسية للمحيطات.

كما أن فهم التغيرات في لون المحيط يمكن أن يساعد على إدارة الثروة السمكية وصور الحياة البحرية الأخرى، و يساعد في تحديد حصص المحصول، و مراقبة جودة المياه و تحديد مصادر تلوث المياه، سواء كانت طبيعية أو بشرية- مثل انتشار بقع الزيت أو الطحالب- و التي تشكل خطراً على المزارع السمكية والصناعات الأخرى المرتبطة بالأسماك .

و بشكل عام، فإن إنتاجية المحيط تكون في أقصاها في المناطق الساحلية، نتيجة الموجات المتقلبة التي تعمل على تدوير المواد المغذية .

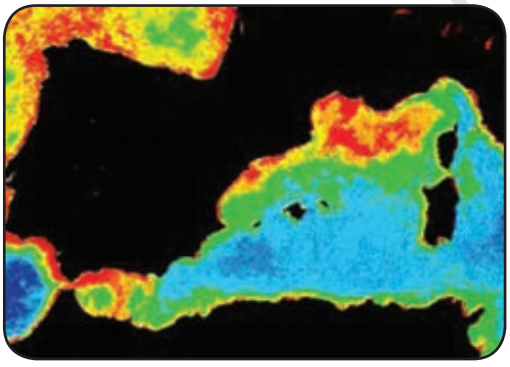
لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

توفر بيانات الاستشعار عن بعد القدرة على جمع المعلومات عن سطح المحيط على نطاق إقليمي. المستشعرات البصرية يمكنها التقاط بعض الأهداف مثل العوالق أو المكونات العضوية الذائبة، و التمييز بين انتشار البقع النفطية و انتشار الطحالب . أما البيانات الخاصة بالرادار فيمكنها توفير معلومات إضافية عن التيارات و الأمواج و بعض الخصائص الأخرى ، و بالتالي يمكن تكوين معلومات عن المحيط على مدار الوقت ، و ذلك عند عدم توافر البيانات البصرية بسبب السحب و ما إلى ذلك. و تحتاج الجهات المسئولة عن الصيد و الزراعة المائية إلى هذه المعلومات.

متطلبات التطبيق:

لقياس درجة لون المحيط يجب توافر بيانات متعددة الأطياف ، و كذلك يجب توافر تغطية شاملة لمعرفة توزيع النباتات و العوالق و درجة حرارة المياه. أما البيانات الطيفية الفائقة "hyperspectral data" فتسمح بوجود دقة أعلى في تحديد الأهداف المختلفة. و التصوير بشكل شهري أو موسمي يوفر البيانات المطلوبة لمعرفة النماذج، أما نشاطات صيد الأسماك فتحتاج إلى توافر البيانات بشكل يومي أو أسبوعي.

نحن على أعتاب عصر جديد من البيانات الخاصة بألوان المحيط، فالماسح الضوئي الخاص بالمناطق الساحلية (CZCS) "Coastal Zone Colour Scanner" الموجود على متن القمر الصناعي "Nimbus ـ 7" قام بجمع معلومات عن لون المحيط منذ عام ١٩٧٨ و حتى عام ١٩٨٦. وفي عام ١٩٩٦ بعد عقد من محدودية البيانات المتوافرة ، أطلقت ألمانيا جهاز استشعار آخر "Modular Opto ـ electronic Sensor"(MOS) وتبعتها اليابان بجهاز آخر و هو (OCTS) "Thermal Sensor" (Ocean Colour.



ثم تم إطلاق العديد من أجهزة الاستشعار الحديثة مثل (SeaWIFS) الذي أطلقته وكالة الفضاء "ناسا" عام ١٩٩٧، و(MERIS) الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية "ESA" عام ١٩٩٩، و (MODIS) عام ٢٠٠٠ و أطلقته وكالة "ناسا" أيضاً، و (GLI) أطلقته اليابان عام ١٩٩٩ ، و (OCI) أطلقته تايوان عام ١٩٩٨.

هذه الأجهزة المتطورة تقوم بجمع بيانات عن إنتاجية المحيط ، و كمية صبغة الكلوروفيل الموجودة و درجة حرارة سطح المياه . و قنواتها الطيفية مصممة بحيث تصل إلى أفضل انعكاس عن الأسطح و تدعم القياسات الكمية للخصائص الحيوية . و يوفر معظمها رؤية إقليمية بدقة قليلة (٥٠٠ – ١٢٠٠ م) .

٣.٨.٥ تحديد البقع النفطية:

مقدمة:

يمكن لبقع النفط أن تدمر الحياة البحرية، بالإضافة إلى تدمير بعض المواطن الخاصة بالحيوانات على الأرض و كذلك البشر. و معظم تلك البقع تتكون عند تفريغ السفن لحمولتها من الوقود قبل أو بعد دخول الميناء .

وتتكون البقع النفطية الكبيرة نتيجة اصطدام خزانات السفن بالشعاب المرجانية أو الصخور أو سفن أخرى، و يمكن رؤية تلك البقع داخل المجال البيئي الذي تؤثر عليه .

وعند وجود بقعة نفطية تقوم شركة البترول أو شركة الشحن بتقييم الحالة و تكوين فرق للتعامل مع الموقف، و محاولة الحد من انتشار البقعة. و إذا لم تتوافر لديهم الوسائل المطلوبة لذلك تقوم الجهات الحكومية المسئولة عن مواجهة الكوارث البيئية بالتعامل مع الموقف. وعند وجود أي بقع نفطية، تلعب الحكومات دوراً هاماً في تطبيق قوانين الحماية البيئية. و لضمان تقليل المناطق المتأثرة بالبقع النفطية و لتسهيل مجهودات الإزالة و التنظيف، يجب تحديد عدة عوامل :

١. موقع البقعة .
٢. حجم و انتشار البقعة .
٣. اتجاه و كمية حركة النفط .
٤. المعلومات الخاصة بالرياح ، التيارات ، و الأمواج للتنبؤ بحركة البقع .

لماذا يتم استخدام الاستشعار عن بعد؟

يوفر الاستشعار عن بعد ميزة مراقبة المناطق البعيدة أو حتى التي يصعب الوصول لها، على سبيل المثال: البقع النفطية المتسربة من خطوط الإنتاج، يمكن ألا يتم تتبعها لفترة من الزمن، وذلك لعدم التأكد من مكان البقعة و مدى، انتشارها، وبالتالي يستخدم الاستشعار عن بعد لتحديد مكان البقعة و إنتشارها .

بالنسبة للبقع في المحيطات، يمكن أن توفر بيانات الاستشعار عن بعد معلومات عن معدل واتجاه انتشار النفط باستخدام صور ملتقطة في عدة أوقات مختلفة، و تتم الإستفادة من تلك المعلومات بإدراجها في نظام محاكاة و توقع مما يساهم في تسهيل جهود التخلص من تلك البقع.

أجهزة الاستشعار عن بعد المستخدمة تشمل استخدام تصوير الفيديو و التصوير الفوتوغرافي، باستخدام الأشعة تحت الحمراء بواسطة الطائرات ، و التصوير الحراري بإستخدام الأشعة تحت الحمراء، و أجهزة الاستشعار التي تستخدم أشعة الليزر و الضوء المرئي و الرادارات، المحمولين جواً أو فضاءً، وتتميز أجهزة الرادار عن المستشعرات البصرية بأنها تستطيع توفير البيانات في الظروف الجوية السيئة و في الظلام. يستفيد من تلك المعلومات كل من خفر السواحل، ووكالات حماية البيئة العالمية، و شركات البترول، و عمليات الشحن، و شركات التأمين، وعمليات الصيد، و الجهات و الهيئات العسكرية المسئولة عن الدفاع .

obeikan.com

متطلبات التطبيق:

أهم المتطلبات في هذا المجال هو زمن الحصول على المعلومات و التصوير بشكل دوري لمراقبة حركة و انتشار البقع النفطية، كما يجب توافر أجهزة استشعار عالية الدقة حتى تتمكن من تحديد أماكن البقع بدقة، و كذلك يجب أن تتوافر تغطية لمساحات كبيرة. و تتميز الأجهزة المحمولة جواً بقدرتها على التصوير الدوري و تغطية مناطق معينة عند الحاجة إلى ذلك، و لكنها أكثر تكلفة، كما أن البقع النفطية تحدث عادة في ظروف جوية سيئة، و بالتالي تصعب مهمة الاستطلاع الجوي .

تعتبر الأجهزة التي تستخدم أشعة الليزر هي الأفضل في مجال تحديد أماكن البقع النفطية، كما أن لها القدرة على اكتشاف النفط على الشواطئ أو على الجليد، و تحديد نوع النفط المتسرب، و لكن يجب أن تكون السماء غير ملبدة بالغيوم، حتى تتمكن من تنفيذ مهمتها . وتظهر البقع النفطية في الصور الرادارية على هيئة أشكال دائرية لها لون داكن أكثر مما يحيط بها من مياه المحيط. و يعتمد تحديد أماكن تلك البقع بشكل كبير على سرعة الرياح، فعندما تكون سرعة الرياح أعلى من ١٠ م/ث، فسوف تنقسم البقعة إلى عدة بقع أصغر، مما يجعل من الصعب تحديد أماكنها.

Obeikan.com

الفصـــل السادس

رادار اختـــراق التربـــة

obeikan.com

الجيوفيزياء (Geophysics):

يختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه . ويعتمد فى ذلك على استخدام قوانين وخواص فيزيائية طبيعية، مثل الجاذبية الأرضية و المغناطيسية الأرضية، والإشعاع الطبيعي . التيارات الكهربائية الطبيعية التى تتولد فى الصخور نتيجة حركة السوائل فى مسام الصخور المختلفة، كذلك التيارات المتولدة نتيجة للشحنات المنتشرة فى الفضاء، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية تسجيل الموجات الزلزالية الاهتزازية الناتجة عن الزلازل الطبيعية أو الناتجة بفعل العوامل الصناعية، مثل استخدام المتفجرات أو أجهزة توليد الاهتزازات الأرضية المختلفة، كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية استخدام التقنية الرادارية، وكذلك طرق تسجيلات الآبار .

يعتبر علم الجيوفيزياء – بطرقه المختلفة – من أهم علوم الأرض، والتي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء، وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية، ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة، وفي مجال الدراسات الهندسية والدراسات البيئية. وقد ساهم التقدم الكبير الحادث في طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية وتقنيات برامج التحليل في حل الكثير من المشاكل التي تواجه القطاعات المهتمة بالثروات الطبيعية، سواء على مستوى القطاعات الحكومية، أو القطاعات الخاصة، أو حتى على مستوى الأفراد .

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق وعرة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين . وقد وفرت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

ما هي الجيوفيزياء التطبيقية :

وتعني استخدام الطرق الجيوفيزيائية في تحديد هدف معين تحت سطح الأرض ، مثل المياه الجوفية، والمعادن، والأجسام المدفونة بأنواعها ، والبترول والغاز ومعرفة التركيب الجيولوجي للطبقات التحت سطحية، وما تحتويه من كهوف أو صدوع أو فراغات و في مجال التطبيقات الهندسية .

وهناك عدة طرق للمسح الجيوفيزيائي مستخدمة منها :

أ ـ المسح بقياس الجاذبية الأرضية : ويستخدم في المراحل الأولى للاستكشاف، ويمكن بواسطته تكوين فكرة عن شكل وامتداد الحوض الرسوبي والاتجاهات البنائية ومواقع الفوالق، وبناءً على نتائجه يتم تحديد المناطق الأكثر أملاً، وتعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر، تبعاً لكثافة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة .

ب ـ المسح المغناطيسي: ويعتمد على قياس مغناطيسية الأرض التي تعتمد على التغيرات المغناطيسية في مكونات القشرة الأرضية .

ج ـ المسح السيزمي (الاهتزازي) بنوعيه (الانكساري والانعكاسي): والذي يشكل 90% من الأعمال الجيوفيزيائية التي تنفذ بهدف التنقيب عن النفط، ويمر هذا العمل بعدة مراحل هي :

١ـ العمل الحقلي .

٢ـ معالجة المعلومات .

٣ـ تفسير المعطيات : حيث يتم هنا تحويل المعلومات السيزمية إلى معلومات جيولوجية، فيتم إنشاء خرائط زمنية لمنطقة المسح يتم تحويلها إلى خرائط أعماق بعد إجراء قياسات للسرعة .

د ـ المسح بواسطة رادار إختراق التربة .

المسح السيزمي :

أداة عملية لتحديد التكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض ، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبة من السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة سيزمية، من نوع ريلي Rayleigh أو لف Love، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرض Geophones & Detectors، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة السيزمية (**الشكل رقم ١١**).

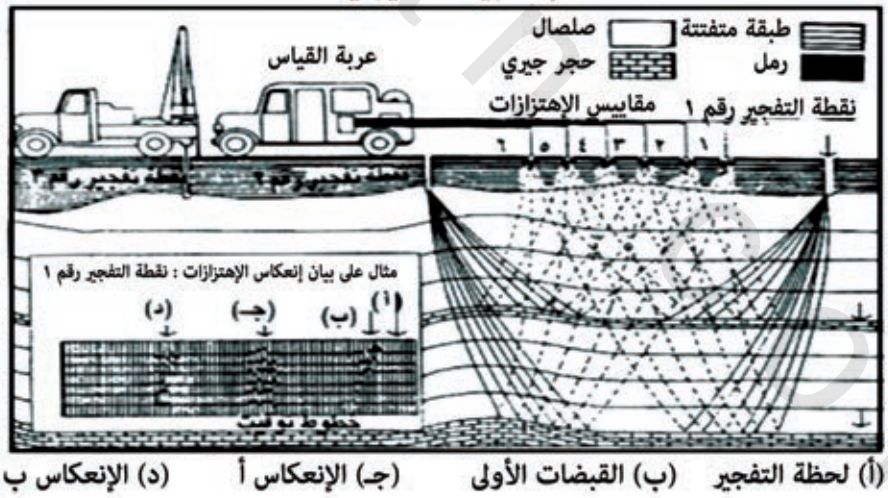
obeikan.com

ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التي تمر بها . ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاس ومقارنتها، وتعرف الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى ، وبيئة الترسيب، ومن ثم إنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديد أماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها .

و يجرى المسح السيزمي أيضاً في البحار ، باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عال، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغ تحت الماء لإحداث نبض سمعي Acoustic Pulse على فترات قصيرة متتابعة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين ١٠٠، ٤٠٠ متر . ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى ٢ـ ٢,٥كم باستخدام قاذف صغير لخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية .

الشكل رقم ١١

المسح الجيوفيزيائي
بالطريقة السيزمية



وتنقسم إلى قسمين :

١ـ انكسارية Refraction Seismology : وهذه الطريقة تعتمد على دراسة زمن أولى الموجات وصولاً وربطها بالمسافات بين المستقبلات التي تستقبلها ، أما بقية البيانات فلا نحتاج إليها في الطريقة الانكسارية ، من هذه الطريقة أستطيع التعرف على التغير في الصخور مع العمق ، كما أستطيع معرفة سرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط المختلفة، حيث تعتمد على معاملات المرونة elastic parameters لهذه الأوساط .

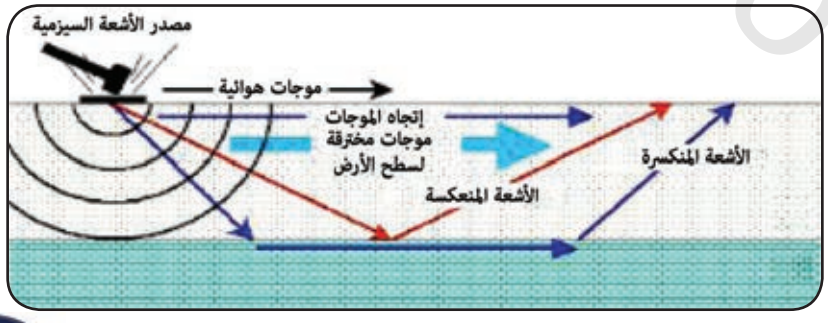
٢ـ انعكاسية Reflection Seismology : وهذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصل بعد الحركة الأرضية الأولى ، وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة ، يشبه الأمر دراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار .

أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومات عن نفس الطبقة الصخرية التي تمر بها، في حين أن الطريقة الانكسارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات .. وللطريقة السيزمية عيوب ومميزات مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى، أيضاً نفس الطريقتين السيزميتين بهما مميزات وعيوب مقارنة مع بعضها البعض .

مميزات الطريقة السيزمية وعيوبها مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى: من مميزات هذه الطريقة أنها تعطينا تصوراً عما هو موجود تحت سطح الأرض، وبذلك نستطيع من خلالها تحديد العمود الطباقي للمنطقة .. ولكونها تعتمد على انتشار الموجات في الصخور وحيث إن انتشار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصخر ، فإننا نستطيع ـ ومن حيث المبدأ ـ تحديد هذه المعاملات ..

وأيضا نستطيع الكشف عن الهيدروكربونات بواسطة هذه الطريقة.. ومن عيوب هذه الطريقة .. أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى.. ويتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً، بالإضافة إلى حاجة المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة ..

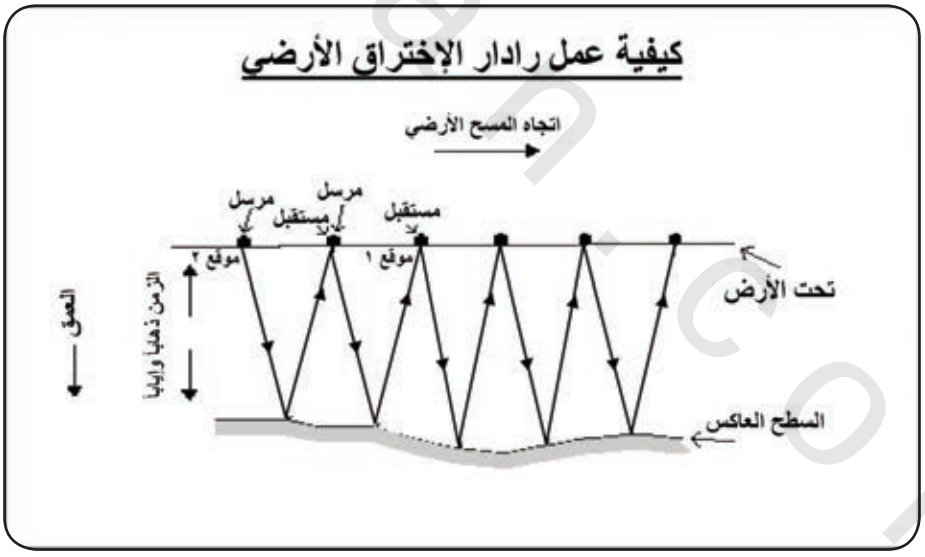
أيضاً الأجهزة المستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة في الطرق الجيوفيزيائية الأخرى ..



المسح الردارى GPR:

مقدمــة:

يعتبر الرادار الأرضي المخترق (GPR) تقنية حديثة ، حيث بدأ الكشف عن استخدام الجهاز في الأغراض البيئية والتجارية المختلفة، مثل التطبيقات الهندسية، وكذلك الآثار المدفونة والتطبيقات الجيولوجية، وطريقة الرادار الأرضي المخترق قريبة من الطريقة السيزمية مع اختلاف أن الطريقة السيزمية تعطي أعماقاً كبيرة، وكذلك تستخدم الموجات الصوتية (wave Acoustic) أما طريقة الرادار الأرضي المخترق فتعطي أعماقاً أقل، وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic wave) . وكلتا الطريقتين تعتمد على انعكاس الموجات من المواد التحت سطحية، ولكنها تختلف تماماً في مواصفات التطبيق على الموقع، ومن مميزات استخدام الموجات الكهرومغناطيسية أن طولها الموجي قصير نسبياً، ويمكن توليدها وإرسالها إلى تحت سطح الوسط لالتقاط وتحديد التغيرات في الخصائص الكهربية (ثابت العزل الكهربي) للوسط، ومن عيوب الموجات الرادارية أنها لا يمكن أن تُخترق المواد ذات التوصيلية الكهربية العالية مثل الطين الرطب، والذي يعتبر بيئة ممتازة لتقنية الانعكاس السيزمي .



شكل يوضح عملية اختراق الأرض

تاريخ الطريقة:

إن أول استخدام للموجات الكهرومغناطيسية لاستكشاف الأجسام المدفونة قد سُجل كبراءة اختراع في ألمانيا عام ١٩٠٤ م ، ونشر أول بحث في ألمانيا عام١٩١٠م في هذا المجال، وقد استخدم في هذه الأبحاث إرسال موجات مستمرة، وفي عام ١٩٢٦م طوّر أول استخدام للموجة الرادارية لاستكشاف الشقوق الطبيعية المدفونة، ثم أستخدمت تقنيات الموجة بشكل كبير ولعدة عقود، وفي عام ١٩٣٤ أطلق اسم رادار على خاصية (الإرسال والاستقبال اللاسلكي) للموجات في الاستكشاف وتحديد العمق ، وكان أول مسح راداري في أستراليا عام ١٩٢٩م لقياس عمق نهر جليدي .

لقد استخدم نظام الاختراق الأرضي منذ عام ١٩٦٠م في مجال التطبيقات الجيولوجية، وقد تطورت الطريقة في الوقت الحالي تطوراً كبيراً في مجال تفسير ومعالجة البيانات، وفي عام ١٩٨٠ أصبح أكثر استخداماً في المجالات الهندسية والآثار، وقد وجدت هذه الطرق الرادارية قبولاً كبيراً في مجال الهندسة المدنية في مناطق معينة، وفى عام ٢٠٠٠ ـ بدعم من معهد الآثار الروسي والأكاديمية الروسية للعلوم ـ تم تطوير الردار المخترق للأرض ليصل لأعماق أكبر، وأطلق على الجهاز الرادارى اسم «لوزا» LOZA .

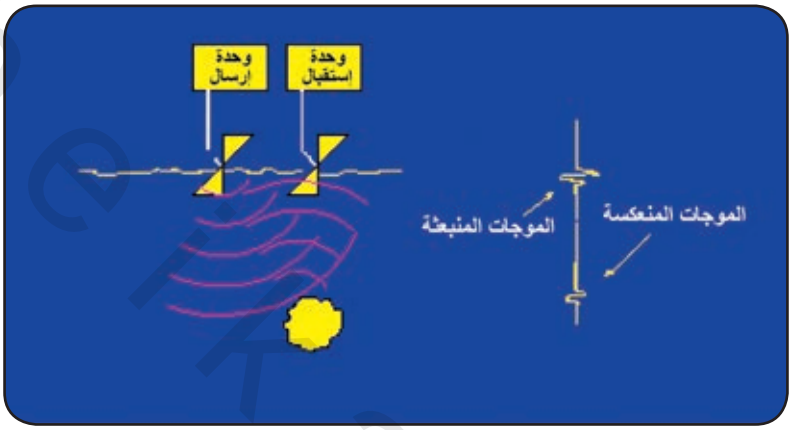
مبدأ الموجات الكهرومغناطيسية:ـ

يعتبر المسح الراداري طريقة جيوفيزيائية غير متلفة، طورت خلال الثلاثة عقود الماضية للاستكشاف الضحل وبدقة عالية، والفكرة العامة للرادار الأرضي المخترق هي إرسال موجات كهرومغناطيسية عالية التردد (١٠ ـ ٢٥٠٠ ميجاهيرتز) تحت سطح الوسط (سواءً خرسانياً أو جيولوجياً) حتى تخترق أهدافاً أو مواقع مختلفة، ثم تنعكس وترتد إلى السطح ويتم استقبالها في جهاز الاستقبال، ومن ثم يتم تحليل ومعالجة هذه الموجات بواسطة برامج التحليل للحصول على صورة للوسط الذي مرت فيه هذه الموجات، وتتأثر هذه الموجات، بالخصائص الكهربية المختلفة، وتعتمد على مدى التباين في تلك الخصائص، حيث ينعكس جزء منها ويتم تسجيلها بواسطة جهاز الاستقبال والجزء الآخر ينكسر أو يتشتت .

وتكون الطريقة فعّالة عندما يكون الوسط ذا قابلية توصيلية كهربية منخفضة مثل الثلج والرمل والزيت الخام، والصخور ، والماء النقي ـ إلخ، وتكون قليلة الفعّالية (التأثير) أو غير مجدية عندما يكون الوسط ذا قابلية توصيلية كهربية عالية مثل الطين ، والغرين ، والماء المالح وغير ذلك .

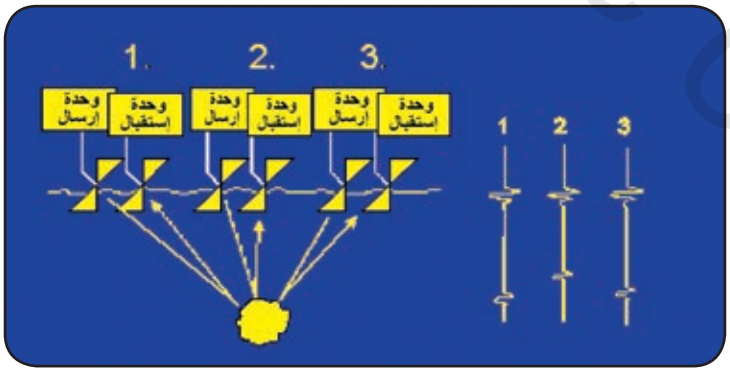
كيف يعمل جهاز الـ GPR

المبادئ الأساسية :



يشمل نظام الـGPR على جهاز مُرسل و مُستقبل ، كلا منهما متصل بهوائي منفصل ، وكل هذه المكونات مثبتة على الأرض، تخترق الموجات الكهرومغناطيسية مسافة معينة فى عمق الأرض، و تنعكس عندما تصطدم بهدف ما له خواص مختلفة عن خواص مكونات التربة مثل الأنابيب البلاستيكية والفراغات الموجودة تحت سطح الأرض، و هناك أيضاً اختلافات فى زمن انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية، طبقاً لخواص المادة التى اصطدمت بها هذه الموجات .

كيف يتم تكوين الصورة :



لبناء الصورة التى يمكن للمشغل تفسيرها، يقوم جهاز الرادار بإرسال الموجات، ويقوم الجهاز المستقبل باستقبال تلك الموجات المنعكسة وعرضها بصورة إشارات بنمط معين على شاشة تشبه شاشة جهاز الكمبيوتر، ثم يتم نقل الجهاز إلى المكان الذى يليه على سطح الأرض، و بالتالى عرض تلك الإشارات على الشاشة جنباً إلى جنب مع سابقتها، و عند الإنتهاء يتم طباعة هذه الإشارات، ويقوم المُشغل بتفسير هذه الإشارات وأنماطها لتحليل الأشياء الموجودة فى باطن الأرض .

أشكال تكوين أنماط العرض (القطع الزائد) :

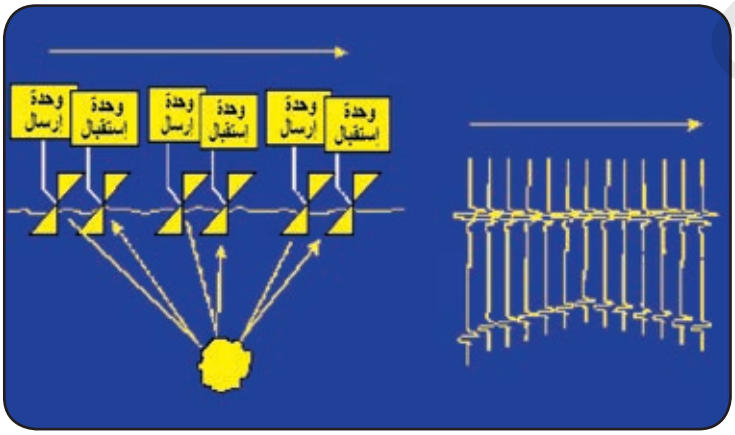
عندما يكون هناك شئ ما تحت الأرض، فإنه يأخذ المزيد من الوقت لتنعكس الموجات وتصل إلى المستقبل، لأن الموجات عندما تمر فى التربة العادية تأخذ وقتاً أقل من أن تمر من خلال جسم ما أو تربة رطبة، هذا التأثير يسبب تغيراً فى نمط الإشارات المرسومة على الشاشة لتأخذ شكل منحنى يسمى «القطع الزائد» .

المستخدمون ذو الخبرة يستطيعون التعرف على طبيعة الهدف الموجود تحت سطح الأرض عن طريق تحليل شكل القطع الزائد .

وأيضاً يمكن إنتاج أنماط أخرى من الإشارات المرسومة على الشاشة طبقاً للهدف الموجود تحت سطح الأرض، على سبيل المثال خزان مدفون تحت سطح الأرض قد يكون لديه صورة مستوية مع وجود منحنيات للأسفل عند النهايتين .

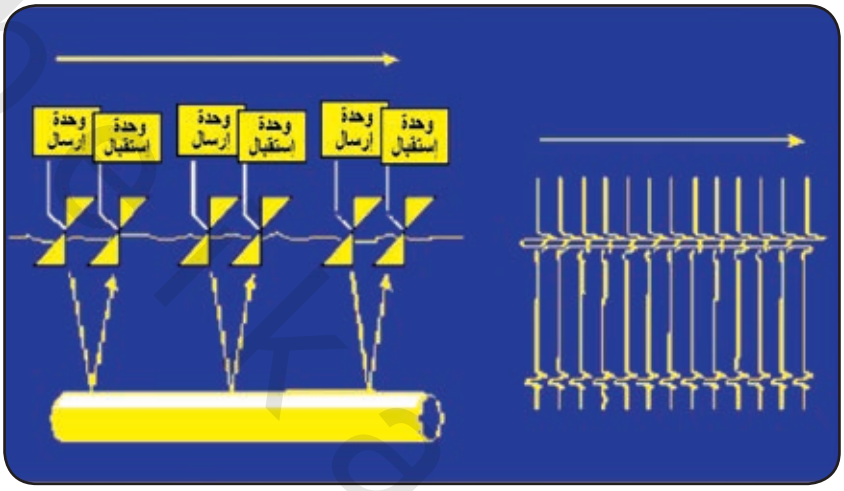
بعض الصور المبهمة :

إن شكل القطع الزائد يعبر عن وجود هدف ما تحت الأرض ، ولكن ماذا سيحدث إذا كان هناك أنبوب طويل في اتجاه المسح تحت الأرض؟ فسوف تظهر الصورة بشكل مستقيم بدون تغير فى نمط الإشارات وخصوصاً إذا كانت المسافة بين الجهاز و الأنبوب لا تتغير، وهذه المشكلة ستظهر أيضاً إذا كان هناك مياه جوفية أو طبقة من الصخر متماثلة فسيصعب تحديدها بالمسح في اتجاهها، ولذلك يجب تحديد هذه الأشياء بالمسح عمودياً عليها.



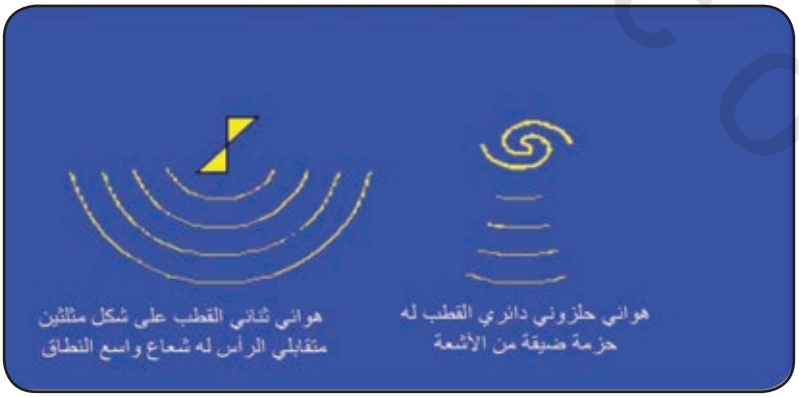
تأثير شكل الهوائي:

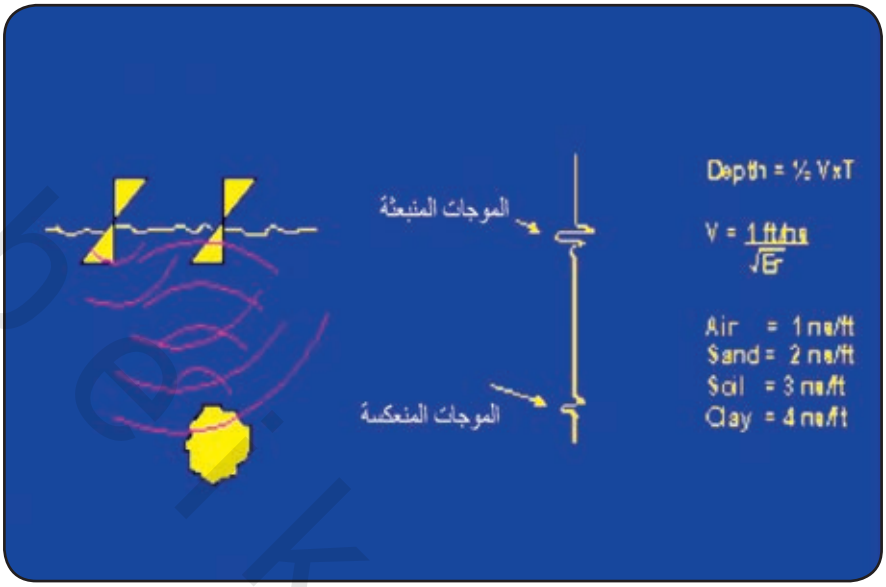
وهناك أنواع مختلفة من الهوائيات ذات أشكال حزم أشعة مختلفة منها هوائيات ثنائية القطب (هوائيات على شكل مثلثين متقابلي الرأس) ذات حزمة أشعة واسعة النطاق ، وبالتالي تغطي مساحة أكبر ، وهوائيات حلزونية ذات حزمة أشعة ضيقة ، وبالتالى تُغطي مساحة صغيرة .

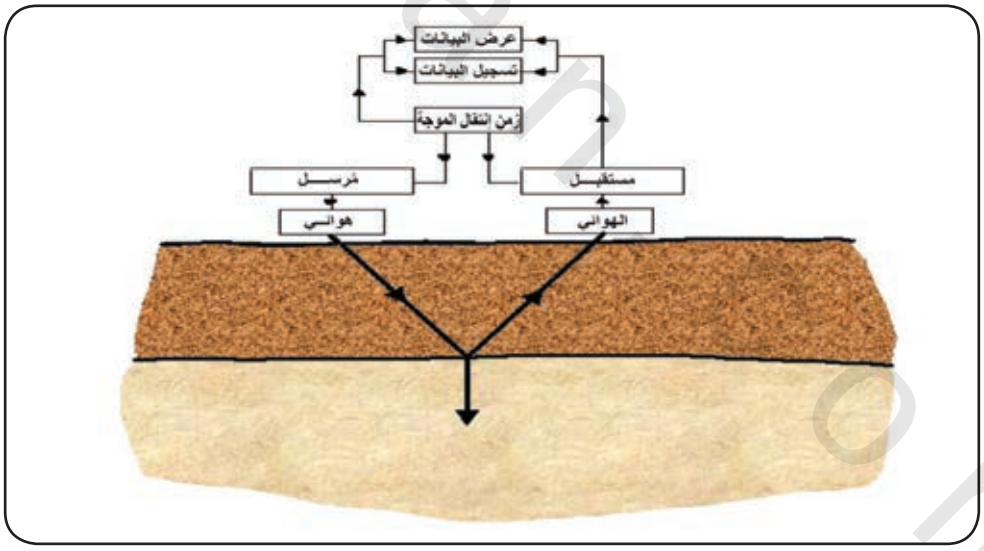


كيف يمكن تحديد عمق الهدف ؟

يصعب على جهاز الـGPR تحديد أو قياس عمق الهدف دون الحصول على بعض المعلومات عن ثابت العزل الكهربائي للتربة، فإن جهاز الـGPR يستطيع قياس الزمن بدقة عالية جداً، ولكن سرعة موجات الرادار تعتمد على نوع التربة، ولذلك فإن جهاز الـGPR يستطيع قياس العمق بشكل دقيق جدا عند معرفة ثابت العزل الكهربائي أو سرعة موجات الرادار في هذه التربة .







شكل توضيحي لخطوات GPR

أنظمة رادار الاختراق الأرضي :

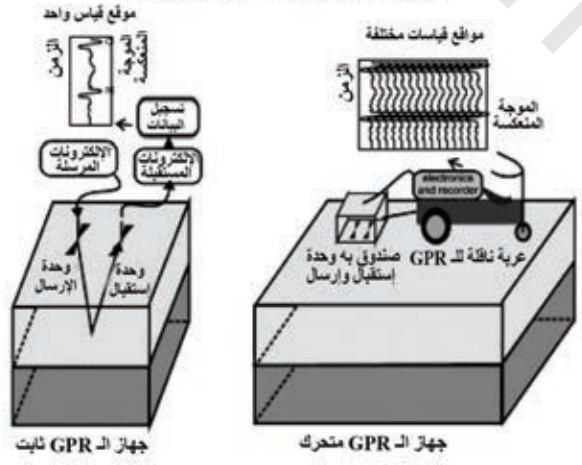
في الوضع الثابت يتحرك الهوائيان بشكل مستقل عن بعضهما البعض، مما يسمح بمرونة أكثر في عملية القياس عن الوضع الذي يكون فيه الهوائيان داخل صندوق معاً . فعلى سبيل المثال: مكونات الاستقطاب المختلفة يمكن تسجيلها بسهولة عندما يكون الهوائيان منفصلتين ويتم تسجيل الأثر "trace" على عدة مراحل :

١) يتم إرسال الموجة. ٢) يتم تشغيل المستقبِل ليبدأ في استقبال و تسجيل الإشارات .

٣) بعد فترة زمنية معينة، يتم وقف عملية الاستقبال ، و يسمى القياس الذي تم الحصول عليه وتسجيله خلال تلك الفترة بالأثر "trace".

و تعتبر الحالة المثالية في حالة وجود طبقة واحدة فقط وإرسال موجة واحدة و انعكاس واحد من تلك الطبقة. أما في الوضع المتحرك فيتم إرسال موجة من الرادار، ثم يتم استقبالها و تسجيلها في كل مرة يتم تحريك الهوائي بها مسافة محددة فوق سطح الأرض، أو فوق المادة التي يتم استكشافها. المسافات بين نقاط القياس تسمى"trace spacing"، و يجب اختيار تلك المسافة بناءً على حجم الهدف و الغرض من عملية المسح .

مدخلات ومخرجات نظام الـ GPR



وعند عرض الـ "traces" إلى جانب بعضها البعض، يتكون لدينا تسجيل الزمن ـ المسافة الذي يوضح كيفية تغير الانعكاسات في الطبقات المختلفة. إذا كانت التغيرات في الخصائص الكهربية (مثل التغير في مُعامل النفاذية) بسيطة، إذا يمكن عرض التسجيل الخاص بالزمن – المسافة كصورة ثنائية الأبعاد للأرض، حيث يمثل المحور الأفقي المسافة المقطوعة و المحور الرأسي يمثل الزمن الذي قطعته الموجة ذهاباً و إياباً. و يمكن تحويل الزمن على المحور الرأسي إلى سرعة (إذا كان معامل النفاذية معروفا) .

ويعتبر ذلك التمثيل هو أبسط طريقة لتمثيل بيانات رادار الاختراق الأرضي، و يمكن تكوينه أيضاً عن طريق استخدام الوضع الثابت عدة مرات متتالية مع الحفاظ على المسافة بين الهوائيين ثابتة .

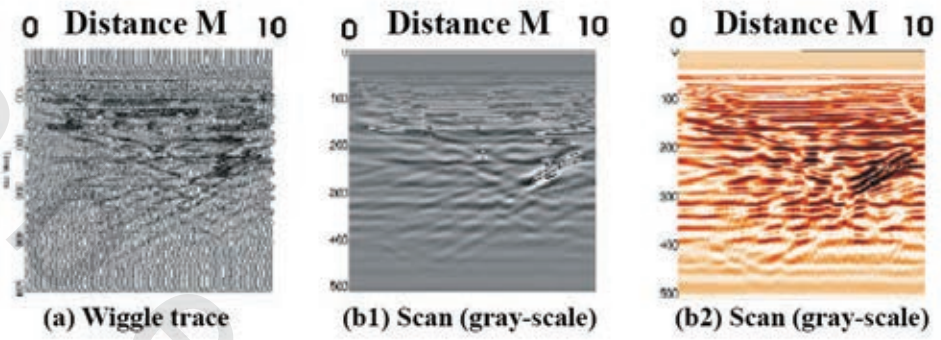
تتكـون معـدات رادار الاخـتراق الأرضـي من هوائيـان للإرسـال و الاسـتقبال و إلكترونيات التحكم و جهاز التسجيل، و غالباً ما يكون الهوائيان منفصلين و لكن في الوضع الثابت يمكن أن يكـون كل منهمـا داخل صندوق منفصل عن الآخر، أمـا في الأنظمة التي تعتمد على الوضع المتحرك فيكون الهوائيان معاً داخل نفس الصندوق .

يتم التحكم في أنظمة رادار الاختراق الأرضي بشـكل رقمي، و يتم تسجيل البيانات رقمياً للعمـل عليها لاحقـاً. و يتكون الجزء الرقمي في الجهاز من وحدة معالجة (micro-processor) وذاكرة (memory) ووحدة تخزين بيانات (Data Storage Medium) لتسجيل القياسات عليها. يمكن إجراء معالجة أولية للبيانات أثناء العمل، و ذلك لتنقيتها من الضوضاء (removal noise) أو إرسـال المعلومـات كما هـي ليتم التعامل معهـا و معالجتها لاحقاً. و تتم عمليـة إزالة الضوضاء الأولية باستخدام طرق رقمية أو إلكترونية، و ذلك قبل تسجيلها على وحدة التخزين. و عادة يجب عدم إجراء الكثير من المعالجات أثناء المسح إلا في حالة استخدام البيانات مباشرة بعد تسجيلها .

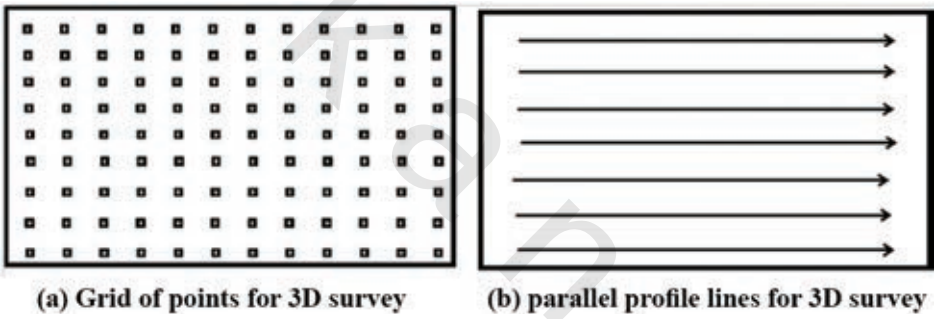
عرض البيانات و تحليلها:

يعتـبر عـرض الصور بشـكل واضح هو جزء من عمليـة تحليل البيانات و يوجـد ثلاثة أنواع لطـرق العـرض، في بعد واحد فقط، بعـدان اثنان، و ثلاثـة أبعاد، و لكن عـرض البيانات في بعد واحـد لا يفيد بشـكل كبـير إلا عند وضـع العديد مـن الـ "traces" إلى جانب بعضهـا البعض و عرضهم في بعدين أو ثلاثة أبعاد. و يتكون أي نوع من أنواع العرض من مجموعة من الـ "traces" حيث تعتبر هي الوحدة الأساسـية للعرض. و يمكـن اسـتخدام "trace" واحد لتحديد الأعماق التي توجد بها بعض الأجسام تحت سطح الأرض، عن طريق تمرير الهوائيين فوق سطح الأرض و تسجيل القياسات مع الحفاظ على المسافة بين الهوائيين ثابتة. و يعتبر تسجيل الزمن – المسافة الخاص برادار الاختراق الأرضي يشـبه إلى حد كبير تخطيط الموجات الصوتية. و يظهر في شـكل (A6) نوعان مختلفـان للـ "trace"، أول نوع هو الـ "wiggle trace" و لكنه غير عملي في الواقع؛ حيث يصعب عـرض عدد ضخم من الـ "traces" إلى جانب بعضها البعـض لتكوين الـ "trace wiggle"، و لذلك أصبـح العرض الأكثر اسـتخداماً هو الـ "scan" ، حيث يتم اختيار أحد تدريجـات الألوان لتعبر عن نطـاق معين من القيـم، و يوجد نوعان له أحدهما بتدرجات اللون الرمادي (من الأبيض إلى الأسـود) والآخر يستخدم تدرجات لونية للون معين، كما يظهر في شكل (A6) .

في حالـة العـرض في الأبعـاد الثلاثـة فإنـه يكـون في الأسـاس عبـارة عـن مجموعـة مـن الـ "traces" تم تسـجيلها عنـد نقـاط مختلفـة علـى سـطح الأرض. عـادة مـا يتـم تسـجيل البيانـات علـى هيئـة خطـوط جانبيـة، و ذلـك في حالـة أنظمـة التسـجيل المسـتمر ، أو علـى هيئـة نقـاط منفصلـة، و ذلك عنـد التسـجيل في الوضـع الثابت، يظهـر ذلك في شـكل (A7). في بعض الأحيان يجب توجيه الهوائيان بنفس الاسـتقطاب عند كل عملية تسـجيل، وذلك في حالة استخدام هوائيات ثنائية القطبية .



شكل A6: يوضح طرق العرض المختلفة

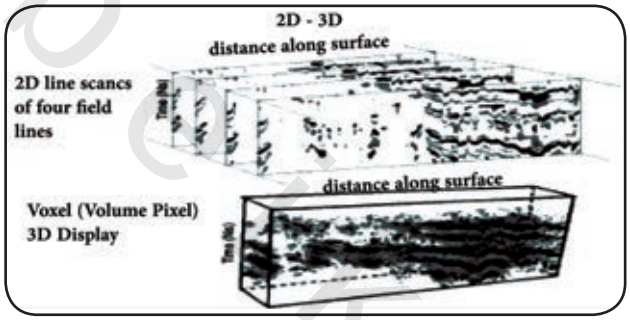


شكل 7A

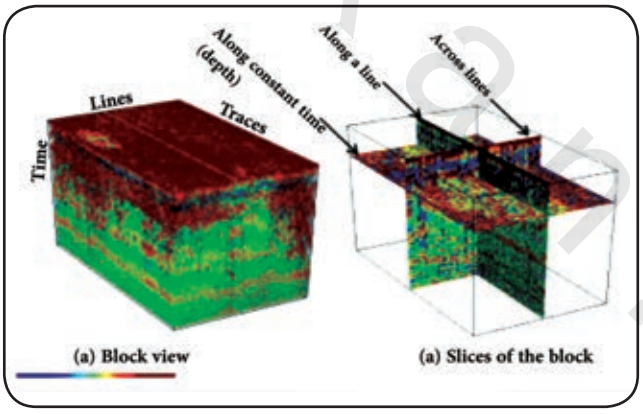
ويعتبر الوضع النموذجي لهوائي الإرسال و الاستقبال، هو أن يوضع كل منهما على مسافة من الآخر ثابتة لكل عملية قياس، و إذا كان الهوائيان يبعدان عن بعضهما البعض أصغر مسافة ممكنة، فإن ذلك يسمى (coincident antenna three dimensional GPR)، و يمكن إجراء القياسات في كل من الوضع الثابت و المتحرك . و عادة ما يتم تكوين العرض ثلاثي الأبعاد عن طريق عدة خطوط متقاربة كما يظهر في شكل (A8) . وبمجرد تكوين تلك المجموعات يمكن عرضها بعدة طرق، كما يظهر في شكل (A9) ويعتبر عرض البيانات بشكل ثلاثي الأبعاد هو جزء هام من عملية تحليل المعلومات وفهمها، حيث إن التعامل مع الأشياء و تحديدها يكون أسهل بكثير في تلك الحالة . ويعتبر تحسين الصورة عن طريق إزالة الضوضاء و التأثيرات الخارجية منها هو جزء حيوي من التعامل مع البيانات، و يتم عن طريق عدة عوامل :

١) اختيار تدريجات اللون المناسبة لكل مدى من القيم. ٢) عرض استقطاب واحد فقط لموجات الرادار.
٣) استخدام عدد محدود من الألوان. ٤) تقليل حجم البيانات المعروضة كلما زاد الهدف تعقيداً.
٥) عرض جزء محدود من الفترة الزمنية. ٦) اختيار زاوية الرؤية بدقة.

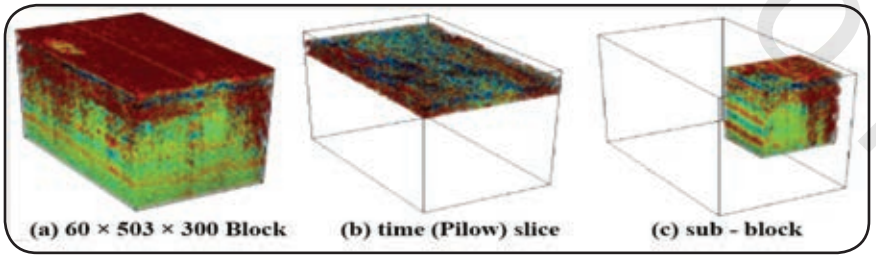
ويمكن إجراء بعض العمليات الأخرى على الصور في حالة كون الصور معقدة أو مع وجود عدة أهداف، وذلك عن طريق عرض القيم العظمى و الصغرى فقط لكل "trace" . ويظهر في شكل (A10) أمثلة على عرض جزء من الشكل ثلاثي الأبعاد واستخداماته في إزالة عيوب الصور .



شكل (A8): يوضح عملية تكوين شكل ثلاثي الأبعاد (a) تمثل مجموعة من الخطوط ثنائية الأبعاد (b) شكل ثلاثي الأبعاد



شكل (A9): يوضح عملية تقسيم "block" ثلاثي الأبعاد.



شكل (A10): يوضح "block" ثلاثي الأبعاد و "blocks_sub" لمناطق معينة بداخله.

خصائص مواد الأرض : ـ

المواد التى تؤثر على سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية فى باطن الأرض هما الماء والمواد الطينية، فنجد قطبية الماء تؤدي إلى خفض سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية بشكل كبير، وتوضح هذه المعادلات البسيطة مدى التأثير:

$$V = \frac{(3\times10^{8})}{\varepsilon^{1/2}}$$

حيث V = سرعة انتشار الموجة

ε = ثابت العزل الكهربي

$$a = 1.69\,\frac{\sigma}{\varepsilon^{1/2}}$$

حيث σ = التوصيلية الكهربية

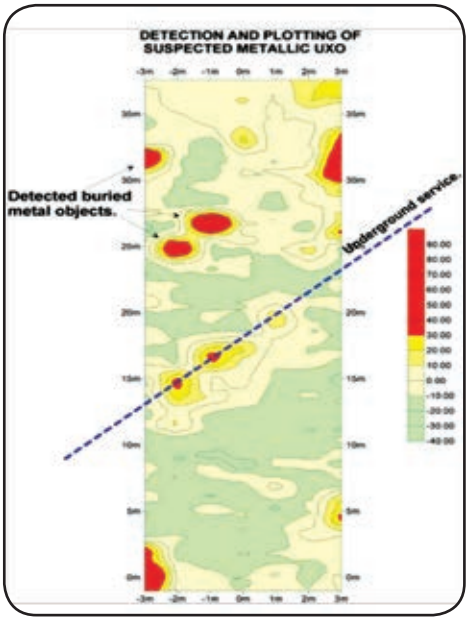
الخصائص الكهرومغناطيسية لمواد الأرض :

المـــــادة	العزل الكهربائي	التوصيلية الكهربائية	السرعة (متر/نانو ثانية)	إضعاف (ديسبل/متر)
هواء	1	0	0.3	0
مياه نقية	80	0.5	0.033	0.1
مياه البحر	80	3,000	0.01	1,000
رمال جافة	3-5	0.01	0.15	0.01
رمال رطبة	20-30	0.1-1	0.06	0.03-0.3
حجر جيري	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
حجر طفلي	5-15	1-100	0.09	1-100
طمي	5-40	2-1,000	0.06	1-300
جرانيت	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
ملح جاف	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
ثلج	3-4	0.01	0.16	0.01

تطبيقات رادار الاختراق الأرضي في مجالات مختلفة منها :ـ

- المجالات العسكرية (تحديد الأنفاق / مواقع الألغام المدفونة / تطهير مواقع الثكنات العسكرية) .
- مجال الآثار .
- تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة .
- الدراسات البيئية.
- الهندسة الجيوتقنية.
- الهيدرولوجيا.
- الزراعـــــــة.
- فى الطرق والكبارى.
- مناطق الغابـات.
- البنية التحتية.
- التعدين واكتشاف المحاجر.
- المناطق المغطاة بالجليد.

١ـ فى المجالات العسكرية



يستخدم رادار الاختراق الأرضي فى الكشف عن مواقع دفن الذخائر غير المنفجرة ومواقع القصف والحروب، والتي تحتوي على أجسام معدنية وغير معدنية مدفونة تحت سطح الأرض .

على سبيل المثال :ـ

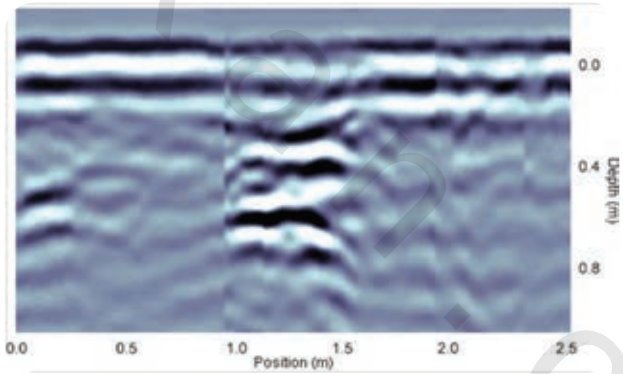
تم مسح رادار الإختراق الأرضي لمنطقة بالقرب من مطار مانيلا تعرضت للقصف الشديد خلال الحرب العالمية الثانية، فتم الكشف عن وجود أماكن ملونة باللون الأحمر موجودة بقطعة أرض في المنطقة التي تم مسحها بالجهاز، وبعد عمل مسح ميداني بهذه المنطقة، تم اكتشاف وجود قنابل يرجع تاريخها للحرب العالمية الثانية، كما هو موضح بالصورة .

مثال آخر : يوضح كيفية استخدام الشرطة لجهاز رادار الاختراق الأرضى في عملها :

حيث يتم استخدام رادار الاختراق الأرضي فى الكشف عن مخابئ المخدرات المدفونة والمال والأسلحة، وكذلك تحديد موقع المقابر السرية، والكشف عن الأجسام المعدنية المدفونة التي يمكن استخدامها في الطب الشرعي كأدلة جنائية .

مثال: -

حيث قام الطب الشرعي باستخدام رادار الاختراق الأرضي؛ للكشف عن وجود تغير بالتربة أو وجود أجسام مدفونة بها .

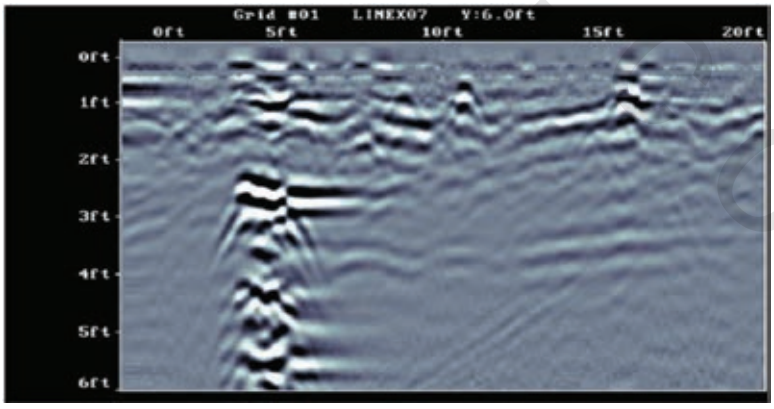


مقطع عرضي من رادار الاختراق الأرضي يبين مكان الهدف

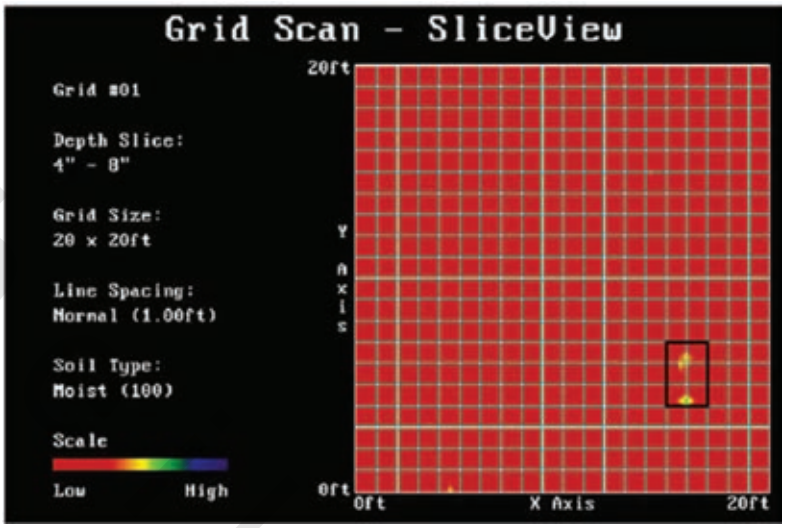
مثال آخر :ـ منظمة ROCIC (Regional Organized Crime Information Center)

تستخدم هذه المنظمة أجهزة الاستشعار عن بعد في الكشف عن الجرائم ومساعدتها في التحقيقات، ومنها جهاز رادار الإختراق الأرضي، حيث يستخدم فى إيجاد الأدلة المادية التى يصعب العثور عليها فى الجرائم ومنها جرائم القتل، حيث يقوم جهاز رادار الإختراق الأرضي بالكشف عن الجثث المدفونة وتم عمل تجربة لإختباره، حيث يحتوى جسم الإنسان على حوالى ٦٥٪ من الماء . فتم دفن ثلاثة أباريق من الماء ، وتم وضعها على عمق ٢ قدم في الحديقة ، وتم دفن بنادق على عمق ٣ قدم لإثبات أنه يحدد العناصر المعدنية وغير المعدنية، كما موضح بالشكل .

الشكل ١: موقع الأباريق التي دفنت في الحديقة



قطاع عرضي يوضح موقع الأباريق على عمق ٢ قدم

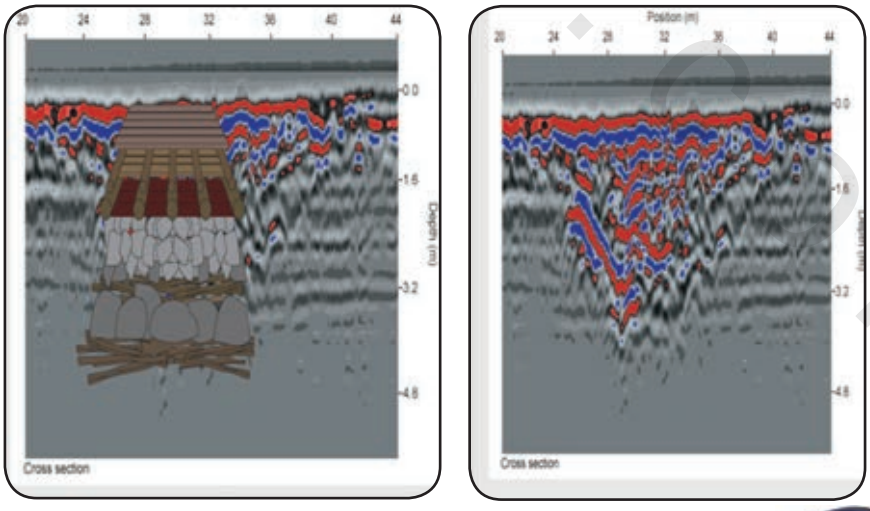


شكل يوضح عمق البندقية

٢ـ مجال الآثـــــار :

يعتبر لرادار الاختراق الأرضي القدرة على اكتشاف الآثار القديمة واكتشاف البنية التحتية التاريخية لها، مما جعل علماء الآثار يستخدمونه في عمليات البحث عن الآثار، لأنه يقوم بتوفير تكاليف الحفر من خلال تزويدهم بخرائط ذات دقة عالية عن باطن الأرض .

وأيضاً تم اكتشاف آثار طريق قديم بواسطة جهاز رادار الاختراق الأرضي، كما هو موضح بالشكل .

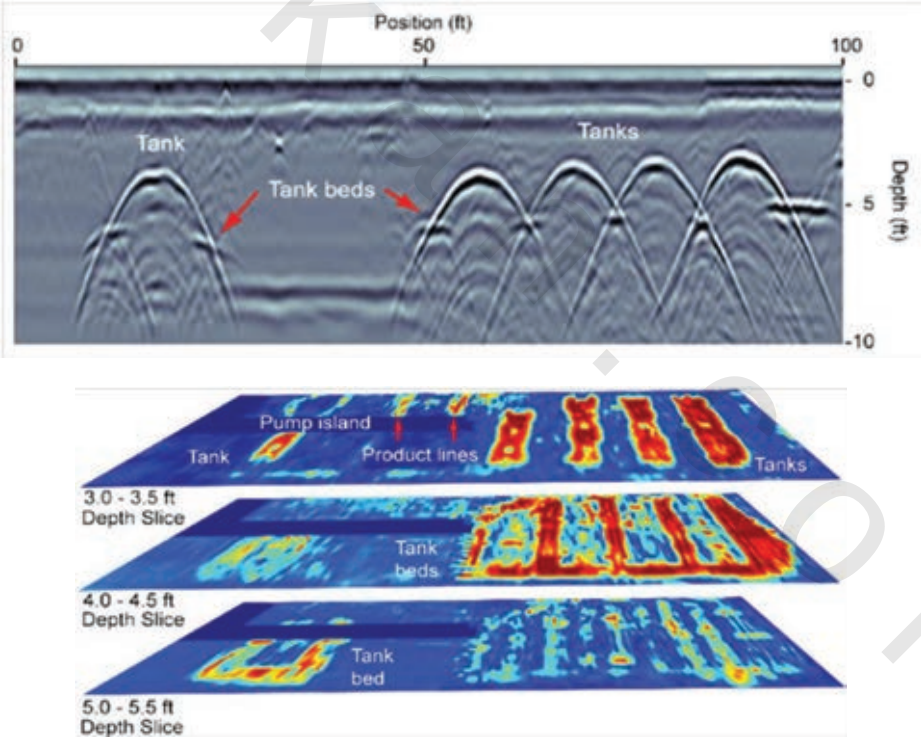


٣ـ تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة

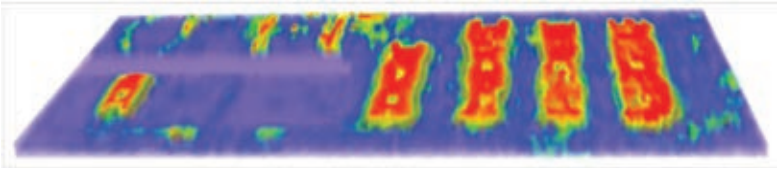
يتم استخدام رادار الاختراق الأرضي على نطاق واسع فى مجال تحديد مواقع المواسير والكابلات المدفونة، حيث له القدرة الفريدة على الكشف عن الهياكل المعدنية وتحديد مكانها تحت سطح الأرض، مما يساعد على السيطرة أثناء عملية الحفر في المناطق المعقدة وإيجاد حلول سريعة للتعامل معها، ويستخدم أيضاً في توفير ورسم خرائط توضح البنية التحتية الموجودة تحت سطح الأرض .

القدرة على التعرف على المواد المعدنية وغير المعدنية، مما يعتبر ميزة فريدة له تميزه في القدرة على تحديد مواقع المواسير والكابلات . على عكس الأجهزة الأخرى التى تتعرف فقط على أماكن المواسير المعدنية باستخدام التيار الكهربى للكشف عنها .

يتميز رادار الاختراق الأرضي بالكشف عن المواد البلاستيكية والمواسير والمنشآت الخرسانيه، بالإضافة إلى المواد المعدنية وتحديد عمقها، وتستخدم أيضاً فى الكشف عن المواسير والأعمدة الملوثة التي قد تضر البيئة على المدى البعيد .



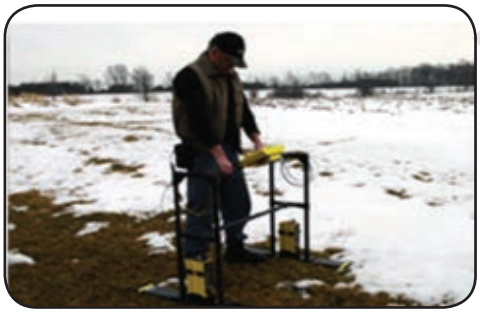
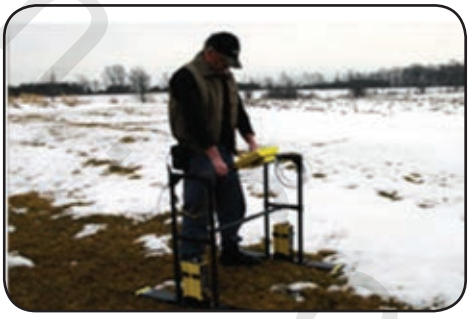
صورة من جهاز رادار الاختراق الأرضي، توضح مكان المواسير المدفونة على أعماق مختلفة.



شكل ثلاثي الأبعاد باستخدام رادار الاختراق الأرضى

٤ـ الهندسة الجيوتقنية

يقوم رادار الاختراق الأرضي بتوفير معلومات ذات دقة عالية عن التكوين الجيولوجي الموجود تحت سطح الأرض . مما يؤدى إلى استخدام هذه المعلومات والاستفادة منها على نطاق واسع في مجالات هندسة الجيوتقنية سواء في تحديد حجر الأساس ، أو معرفة طبقات التربة وموقع قنوات المياه الجوفية .

ويتم استخدام رادار الاختراق الأرضي أيضاً في الكشف عن الفراغات الموجودة تحت البلاطة الخرسانية، حيث تسبب هذه الفراغات انهيار البلاطة الخرسانية للطريق، مما يؤدى إلى انهيار الطرق .

٥ ـ الهيـــدرولوجيـــــا

أ) حساب كمية المحتوى المائى للتربة:

يتم استخدام رادار الاختراق الأرضى فى قياس المحتوى المائي للتربة بهدف تحسين طرق الرى والزراعة والتقليل من حجم الماء المطلوب للزراعة، وفى هذا المثال يقوم رادار الإختراق الأرضى بتحديد كمية المحتوى المائى للتربة من سطح الأرض عن طريق قياس الموجات المنعكسة من سطح الأرض و حساب زمن الموجات المنعكسة . ويمكن استخدام رادار الاختراق الأرضى (GPR) مع نظام تحديد المواقع (GPS) لإنتاج ورسم خرائط للتغيرات التي تحدث للمحتوى المائي للتربة؛ فيما يلي خطوات توضح كيفية استنتاج كمية المحتوى المائي بالتربة من (GPR) :

الخطوة الأولى

رؤية انعكاس سطح الأرض في الوقت الحقيقي على شاشة DVL.

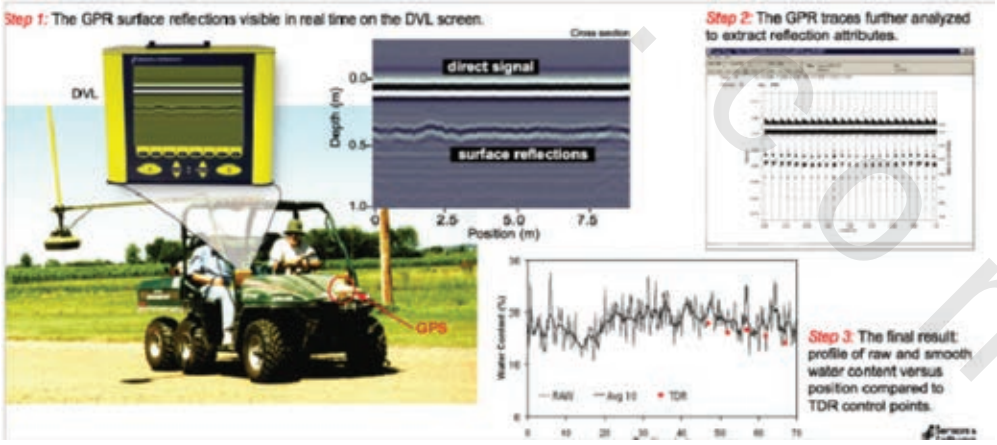
الخطوة الثانية

يتم تحليل الصور الناتجة من الـ GPR لاستنتاج المعلومات منها.

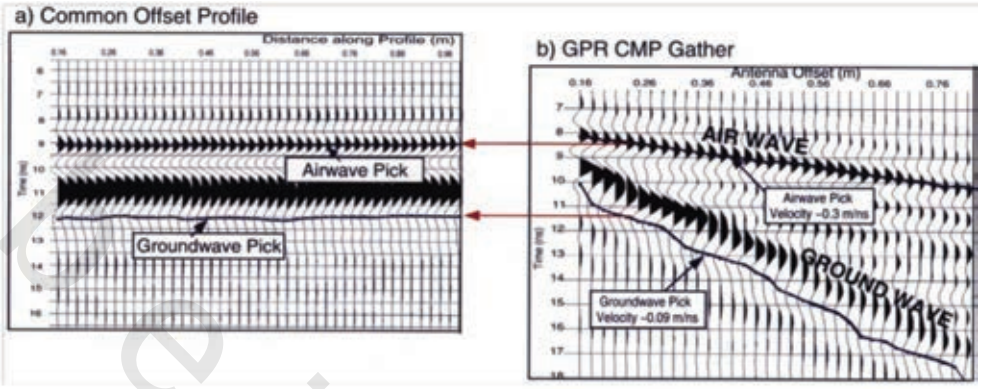
الخطوة الثالثة

النتيجة النهائية : رسم قطاع يوضح علاقة تغير المحتوى المائي مع الموقع.

مثال توضيحي :ـ هذا الشكل يوضح المحتـــوى المائـــي للتربة بولاية كاليفورنيا:



Position (M)

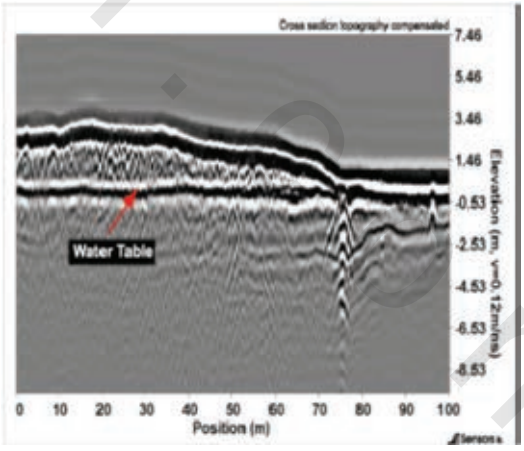


نلاحظ بطء سرعة الموجة تحت سطح الأرض نتيجة لزيادة المحتوى المائي بالتربة .

ب) تحديد عمق المياه الجوفية:

يقوم بمعرفة المنسوب الطبيعي للمياه الجوفية؛ مما يساعد على التحكم في مشاكل تدفق المياه ومعرفة المواد الملوثة للمياه التى تقابل موجات رادار الاختراق الأرضي .

ويوضح هذا المثال مدى استمرارية المياه الجوفية ، بالإضافة إلى توضيح طبقات التربة التي تعتبر عنصرا مسيطراً على تدفق المياه الجوفية .



٦ـ دراسة البنيـــة التحتيـــة:

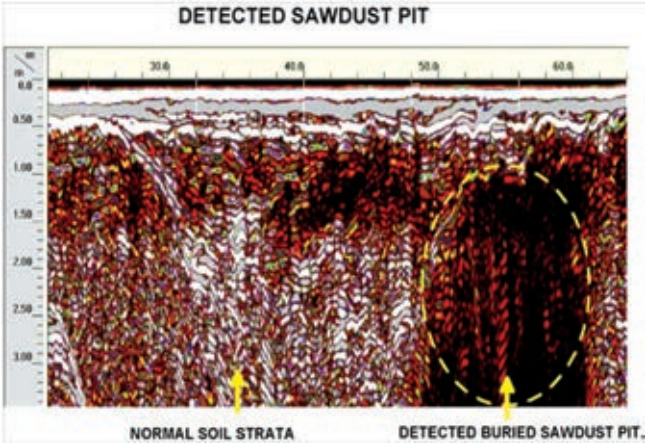
في حياتنا اليومية يتم الاحتياج إلى خرائط ومعلومات تفصيلية للمرافق وشبكة البنية التحتية الموجودة تحت سطح الأرض، سواء عن عمقها، أو استخدامها فى تعديل تصاميم البنية، أو معالجة خلل حدث به.

يمكن استخدامه فى تخطيط وتصميم شبكات البنية التحتية والاستعداد لأي مفاجأة تحدث مما يؤدي إلى توفير تكاليف باهظة، ويمكن استخدامه أيضا في رسم خرائط ثلاثية الأبعاد لباطن الأرض.

٧ـ الدراســـات البيئيـــة:

يستخدم رادار الاختراق الأرضي في الكشف عن النفايات المدفونة تحت سطح الأرض، والتى قد تسبب مشاكل للأجيال القادمة مثل هبوط وعدم استقرار في سطح الأرض.

مثال على ذلك، هناك حفرة بها نشارة خشب دفنت منذ فترة طويلة يتم ظهورها على أنها منطقة متجانسة مظلمة، حيث يقع الجزء العلوي من الحفرة من ١ إلى ١,٥ متر تحت سطح الأرض.

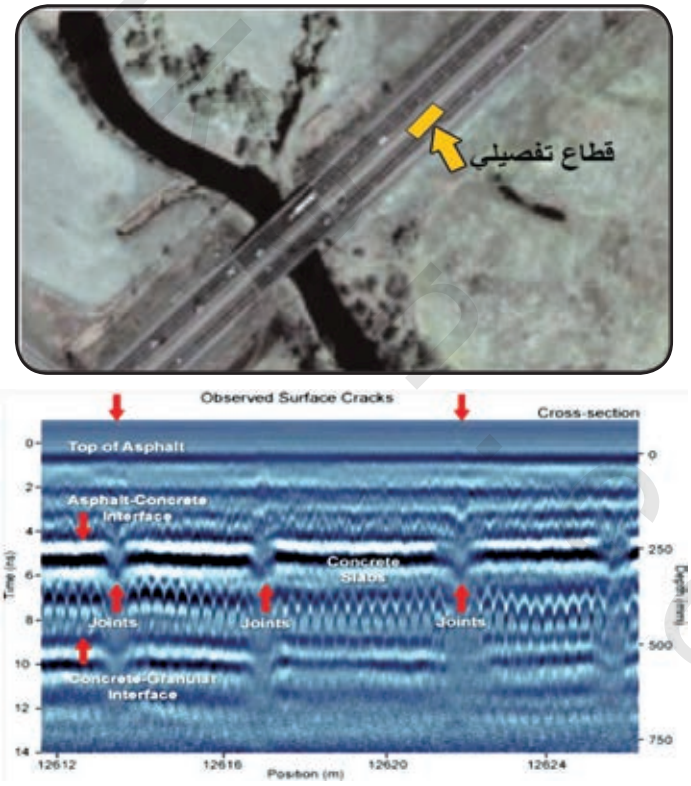


٨ ـ الطرق والكبـــاري:

تحتاج شبكة البنية الأساسية دائماً إلى إصلاح وتطوير وصيانة، ودائماً نسمع أخباراً عن انهيار الجسور التى تعتبر فواصل لمجارى المياه الرئيسية وانهيار الطرق المزدحمة بسب المجارى المائية الموجودة تحت سطح الأرض، مما يكلف الدولة تكاليف باهظة؛ لذلك فتم الاتجاه إلى استخدام رادار الإختراق الأرضى لاختراق الأرصفة الأسفلتية والخرسانية، وكشف ورسم الهيكل تحت سطح الأرض، مما يمكن استخدام هذه المعلومات فى تخطيط وإدارة صيانة هذه الشبكات.

ومن تطبيقاته عمل تقارير عن حالة الرصيف:

يكلف تقييم حالات الأرصفة الدولة تكاليف باهظة، وتحتاج إلى عمالة كثيرة، وتؤدى إلى تدمير الطريق للحصول على عينة من حبيبة سمك الأسفلت، ولكن مع ظهور رادار الاختراق الأرضى تم توفير جميع المعلومات المطلوبة دون حدوث أى ضرر للرصيف.



قطاع عرضي يوضح اكتشاف شروخ سطحية في الطريق

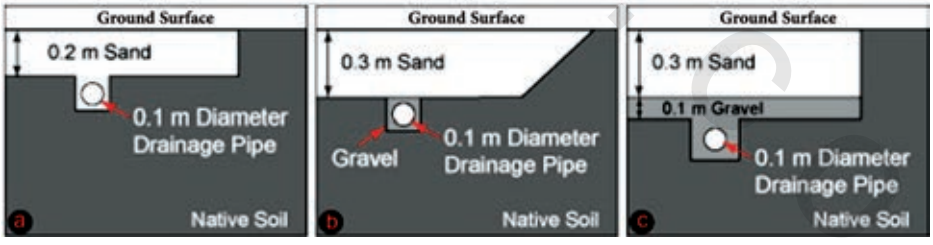
حيث أظهرت بيانات المسـح الفواصل الموجودة في طبقات الطريق ، والتي تؤدي إلى وجود شروخ سطحية في الطريق.

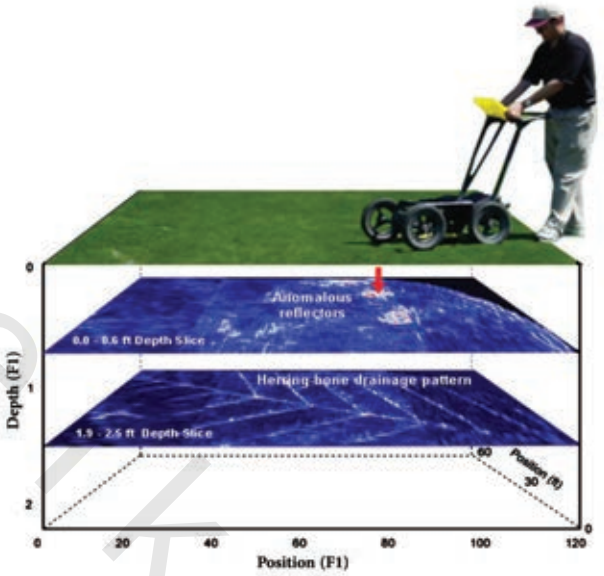
٩ـ مناطق الغـــابات :

يستخدم رادار الاختراق الأرضى فى تحديد المناطق الموجودة بداخل هيكل الأشجار لمعرفة ودراسة التغيرات في محتوى الماء ، والتي قد تكشف عن وجود مرض أو تعفن بالشجرة .

١٠ـ الـــزراعـــة :

يقوم رادار الاختراق الأرضى برصد وتحديد التغيرات التي تحدث بالتربة والمواد البيولوجية الطبيعية الموجودة بها ، وإنتاج خرائط لهذه التغيرات، ويقوم أيضا بتوصيف جيولوجي لمناطق زراعة المحاصيل وتقييم المحتوى المائى للتربة؛ لمعرفة أفضل أنواع المحاصيل الملائمة زراعتها بالتربة، وأيضاً يساهم في معرفة نوعية الاستخدام الأرضى الملائم لهذه المنطقة، كأن تكون استعمالات ترفيهية مثل أرض الجولف.





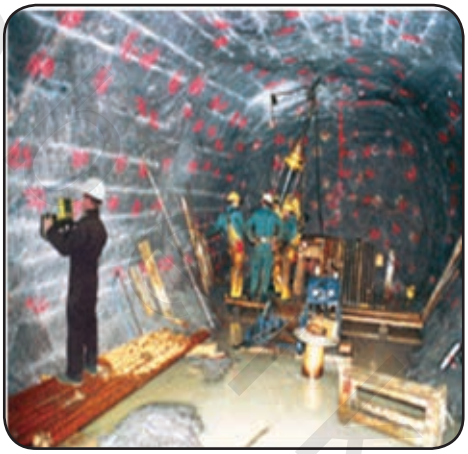
١١ـ التعديـــن واكتشـــاف المحاجر:

يســتخدم جهاز رادار الاختراق الأرضي على نطاق واسـع في مجال التعدين واكتشـاف المحاجر وحفـر الأنفـاق، حيـث يمكنه الكشـف عن التغـيرات التـى تحـدث في الصخور التي تـؤدي إلى تشـقـقات فى الصخور وانهيارها، ويشـمـل تطبيقاته أيضاً في التنقيب عـن المعادن وعمل تقارير عن سمكها.

أ) التنقيب عن المعادن :

يستخدم جهاز رادار الاختراق الأرضى فى اكتشاف المعادن، سواء الذهب أو الماس أو المعادن الثقيلة، مثل الحديد والنيكل واليورانيوم .

ب) اكتشاف أنفاق ومحاجر تحت سطح الأرض و تحديد جودة الصخور:



حيث إن تحديد الأنفاق والمحاجر وجودة الصخور يتطلب تكسير الصخور لاستخراج عينة منها وإجراء عمليات عليها، لكن بعد اكتشاف جهاز رادار الاختراق الأرضي سهل الحصول على هذه المعلومات، وتم توفير تكاليف باهظة وتحقيق منفعة اقتصادية عالية، ومن أمثلة هذه الصخور (الرخام و الجرانيت و الحجر الجيري وغيرها) .

الأجهزة التي حققت نجاحاً في تكنولوجيا اختراق الأرض :

رادار الاختراق الأرضي (LOZA) GPR تم تصميم (LOZA) GPR لدراسة بنية التربة تحت السطحية على أعماق من بضعة أمتار حتى 1000 m، اعتماداً على نموذج geoprobe ، هوائي والمعاملات المتوسطة. وتستند عملية geoprobe على الإشعاع من وحدة الإرسال فائقة الاتساع الكهرومغناطيسية باختراق باطن الأرض وتسجيل الموجات المنعكسة من الأجسام المدفونة .

وهناك سمة مميزة لهذا GPR مقارنة مع نظائره، هي أن له مصدر طاقة عالياً مما يسمح باختراق التربة ذات القابلية العالية للتوصيل الكهربائي، مثل الطين الرطب، ويمكن الوصول إليها عن معيار GPR .

تم تصميم LOZA GPR للعمل في درجات الحرارة من -٢٠ درجة مئوية إلى ٥٠ درجة مئوية مع رطوبة نسبية تصل إلى ٩٥٪ عند ٢٥ درجة مئوية .

وقد أثبتت LOZA GPR كفاءتها في عدد كبير من التطبيقات مثل :

- الاستقصاء الهندسي الجيولوجي من خلال تصميم خطي .
- رسم الخرائط 3d وتحديد مواقع الأشياء الأثرية.
- فحص التربة في عملية الإنشاء مثل إنشاء (السكك الحديدية أو الطرق السريعة، إلخ) والتعدين (النفط والغاز، والمياه، والفحم، والماس، وغيرها).
- البحث عن الفراغات الطبيعية أو الصناعية في الأرض (تجاويف، والتحولات التكتونية).
- تحديد كل من تغير سمك الأرض وشكل الرواسب، ورسم خرائط الأساس.
- مراقبة جودة الجسور والأعمدة والأنفاق.. إلخ.
- الكشف عن مستودعات النفايات الخطرة بيئياً.

الرادار الأرضي «لوزا» في الجيزة:

وصلت دعوة من البعثة الأثرية الروسية التي يشرف عليها معهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية، وذلك لإجراء أعمال تنقيب في هضبة الجيزة (القاهرة ، مصر). وقد اختارت البعثة الروسية نطاق الحفريات الأثرية، ليكون عند المنطقة الواقعة عند السفح الشرقي لهضبة الجيزة ، وبالقرب من هرم خوفو .

كانت مقبرة خفرع عنخ تقع عند السفح الشرقي للهضبة ، ويعد خفرع عنخ هو الكاهن الأكبر لمعبد هرم الملك خفرع (الأسرة الخامسة). وقد تمت دراسة وفحص هذه المقبرة بشكل دقيق من قبل البعثة الروسية، بينما كانت المواقع الأثرية الأخرى في هذا النطاق عبارة عن أطلال مدفونة تم التنقيب عنها لاحقا «طاقة الجلاميد الحجرية المتكتلة» (من ٥ – ١٠ أمتار) و لم يكن موقعها معروفاً بشكل دقيق .

كان أمام البعثة الأثرية الروسية تنفيذ عدة مهام منها :

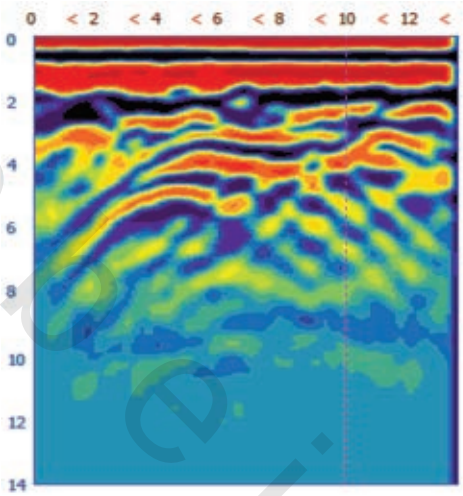
- اكتشاف المقابر المشار إليها في نماذج الخطط الخاصة بعالم المصريات الألماني كارل ريتشارد ليبسيوس قبل ١٥ عاماً.
- عمل دراسة ورسم تفصيلي للمقابر بما يتناسب مع المتطلبات الحديثة لعلم الآثار.

تم إجراء مسح للسفح الشرقي من هضبة الجيزة من قبل البعثة الروسية في الفترة من الثامن إلى التاسع عشر من نوفمبر عام ٢٠٠٦ باستخدام الرادار الأرضي (لوزا).

صورة ١ : منظر جانبي لموضع السفح

صورة ٢ : وفقاً لنتائج تنقيب الرادار الأرضي لسفح هضبة الجيزة الشرقية، تم اختيار مكان التنقيب عام ٢٠٠٦ .

صورة ٣ : بدء أعمال التنقيب عن موضوع البحث تم اختيار مكان التنقيب عام ٢٠٠٦ .



صورة ٤ : مقطع بالرادار الأرضي وتفسير أولي

في أول أيام العمل عند السفح جنوب مقبرة خفرع عنخ، تم اكتشاف موضع ساطع وقد أعطى انعكاس إشارات الصورة سببا لتوقع اكتشاف مكان المقبرة التي تتكون من غرفتين، في هذه البقعة وعلى عمق من ٥ – ٦ أمتار، بحيث يبلغ حجمها ٢,٥ x ٤ أمتار تقريباً. وبعد ثلاثة أيام من التنقيب أسفل المظلة الحجرية، ظهرت الأبواب الوهمية للمقابر المنشودة.

تعود مبادرة استخدام الرادار الأرضي للعمل في السفح الشرقي من هضبة الجيزة إلى أستاذة العلوم التاريخية إلينورا إيفيموفنا كورميشيفا ومديرة البعثة الأثرية الروسية بمعهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية في الجيزة حيث، تمكنت إلينورا من تذليل جميع الصعاب الخاصة بالحصول على تصريح رسمي من السلطات المصرية لإجراء أبحاث الرادار الأرضي بمنطقة هضبة الجيزة . وقام بتنفيذ البحث أ.د. موروزوف . وقد ساهم كل من موظفي البعثة سيرجي فيتخوف وديميتري روكافيشنيكوف في إتمام العمل، في الفترة من ٨ – ١٩ نوفمبر عام ٢٠٠٦ ، الجيزة ، القاهرة ، مصر .

نجحت البعثة الأثرية الروسية التي تنقب على الآثار في منطقة الأهرامات في الكشف عن مقابر جديدة غير مكتشفة. في ذلك المكان الذي عمل به علماء من جميع أنحاء العالم وعلى مدار مائة عام في دراسة الجيزة بالطول والعرض، وقد تم هذا الكشف باستخدام اختراع لعلماء الفيزياء الروس . حيث عثرت بعثة الآثار الروسية العاملة في منطقة الأهرامات على أربع مقابر مرة واحدة، من بينها اثنتان لم تكونا معروفتين من قبل، واثنتان كانتا تعتبران في عداد المفقودين.

(برنامج أسرار المقابر ٢ ديسمبر ٢٠٠٦):

أكملت البعثة الأثرية الروسية عملها لعام ٢٠٠٦ في منطقة الجيزة في أواخر شهر ديسمبر، كانت المقابر المكتشفة موضحة على الخطة، ثم أصبحت قابلة لاختبار صحتها بواسطة التفسير الأولي للمنشآت الموجودة تحت الأرض، والتي تم تنفيذها قبل بدء التنقيب .

صورة ٥: جرت عملية المسح للسفوح أثناء ظروف صعبة، باستعمال وسائل تسلق مضمونة.

صورة ٦ : مدخل المقبرتين المكتشفتين رقمي ١٢ ، ١٥.

صورة ٧ : جزء من المقبرة المحفورة رقم ١٢

نشر خبراء البعثة أن المقبرة رقم ١٥ كانت مخصصة لدفن خوفو – حتب المشرف على جميع الأعمال الملكية وكبير كهنة وأب في فترة الأسرة الخامسة (تقريباً سنة ٢٤٠٠ قبل الميلاد)، بينما دفن مستشار البلاط السري شنتي (فترة الأسرة الخامسة) في المقبرة رقم ١٢، وذلك وفقاً للنقوش التي تمت قراءتها على الجدران الحجرية .

أعمال الرادار الأرضي نُفذت ضمن نشاطات البعثة الأثرية الروسية في منطقة الجيزة، برئاسة أستاذة العلوم التاريخية ألينورا إيفيموفنا كورميشيفا. وقام علماء المؤسسة الدولية (VNIISMI) المبتكرة لجهاز الرادار الأرضي بأبحاث الرادار الأرضي. وقد أظهر لها موظفا البعثة سيرجي فيتخوف وديميتري روكافيشنيكوف كل أساليب المساعدة لاستمرار العمل، وكان التعليق التاريخي لموظفة البعثة سفيتلانا ماليخ .

مسح الرادار الأرضي للمواقع الأثرية بالسودان:

(في الفترة من ٢ – ١٨ ديسمبر عام ٢٠٠٩)

أُجريت أعمال الرادار الأرضي ضمن أعمال البعثة الروسية-الإيطالية في منطقة أبي أرتيلا (جزيرة مروي ، السودان) لموسم عام ٢٠٠٩، وقامت البعثة الأثرية الروسية الإيطالية بالتنفيذ في إطار المعاهدة المبرمة بين معهد إفريقيا والشرق الأوسط في إيطاليا (روما) ومعهد الاستشراق التابع لأكاديمية العلوم الروسية . وكانت البعثة برئاسة يوجينيو فانتوساتي (من إيطاليا) وإلينورا إيفيموفنا كورميشيفا (من روسيا) ، وبمشاركة أحد الباحثين المستقلين من الولايات المتحدة الأمريكية وهو ريتشارد لوبان . وتم تخصيص البعثة التي تم تنظيمها في منطقة الامتياز بأبي أرتيلا ، لأبحاث الهيئة القومية للآثار والمتاحف بالسودان .

كانت أهم أهداف البعثة لموسم ٢٠٠٩ تنحصر في المسح الراداري لمنطقة الامتياز باستخدام الرادار الأرضي (لوزا – ف) (من إنتاج روسيا)، الذي ابتكرته مؤسسة (VNIISMI) ، كما شارك أ.د. موروزوف في العمل مع الرادار الأرضي ضمن البعثة و س. ميركولوف من علماء المؤسسة المبتكرة.

تقع المنطقة الأثرية أبو أرتيلا وسط منطقة سكنية ومنطقة معابد حول العاصمة القديمة للأسرة المروية على الشاطئ الشرقي لنهر النيل، بينما تقع منطقة الامتياز على بعد ٩ كيلومترات من العاصمة القديمة حيث توجد أهرامات ملوك الأسرة المروية .

تم التقاط صور 3D على نفس المساحة في منطقة الموقع الأثري، وقام الرادار الأرضي بعمل كشف وتحليل جانبي من الشمال إلى الجنوب ، ولمسافة ١ متر لكل اتجاه ، وبزيادة تبلغ ١٠ سنتيمترات استخدم عند المسح هوائي ٢٠٠ ميجاهيرتز . وتم اختيار نقاط تنقيب الحفر الطينية (١،٢،٣) وفقًا لنتائج تحليل المسح التي تم للمساحة رقم ١ (KOM1) بالـ 3D .

حفرة رقم ١ : كانت تقع في المنطقة الشمالية الشرقية في ركن من أركان هيكل المستطيل التي اكتشفها الرادار الأرضي .

حفرة رقم ٢ : تم اختيارها في الجزء الأوسط امتداد الجانب الشمالي للموقع المستطيل .

حفرة رقم ٣ : تقع في الركن الشمالي الغربي للموقع المستطيل .

أبرزت نتائج مسح الرادار الأرضي بالـ 3D تحت أنقاض الحجرة الثانية موضع الهيكل المستطيلي ، وكان اتجاه حوائط موضع الحجرة الثانية مثل الحجرة السابقة تماما ، إذ كان الحائط الشمالي لها يمتد في اتجاه الحائط الشمالي لـ KOM1 . وكشفت المقاطع على أعماق مختلفة عن الهيكل الداخلي المستطيل المعقد (وكان عبارة عن حوائط ، ومنازل صغيرة) . ولم يتم الحفر للمواضع الداخلية للحجرة الثانية .

وكانت نتيجة اكتشاف الحفرتين رقم ١ و٣ أنه تم اكتشاف زوايا لهيكل من الطوب الكبير . وفي الحفرة رقم ٢ تم الكشف عن هيكل طولي من الطوب الكبير المشابه، حيث التصق بالهيكل الطولي المصنوع من الطوبة من الجهة الداخلية (التي أبرزها الهيكل المستطيل) طمي رمادي متجانس كثيف بشكل صلب. ومن الجهة الخارجية للموضع التصق بالطوب تربة رملية مبعثرة مع جزيئات من القمامة والفخار. كما يمكن ملاحظة نفس التركيب على قطع المعبد الرئيسي لعاصمة الأسرة المروية، والذي يتكون من صفوف من الطوب الكبير الذي يملأ المساحة الداخلية من الطمي الرمادي المماثل.

أكـد التحليل المبدئي لبيانات الرادار الأرضي و الحفر الطينيـة الأثرية، أنه يوجد بأبي أرتيلا مبان لمعابد خاصة بالثقافة المروية ، والتي ترجع إلى القرنين السادس والثامن قبل الميلاد؛ مما يجعل مـن المواضع المكتشـفة مواضـع ذات قيمة أثرية عاليـة . وبالارتباط بنتائج أبحـاث الرادار الأرضي والحفريات الأثرية وتحليل الفخار بواسـطة الهيئة القومية للآثار ومتاحف السودان ورئيس البعثة، تقـرر اسـتمرار إجراء حفريات واسـعة النطاق في موسـم ٢٠١٠، قدمت لمجموعة الـرادار الأرضي التي ضمـت مـوروزوف ، وميركولـوف، رئيسـة البعثة إلينـور إيفيموفنا كورميشـيفا (من روسـيا) و يوجينيـو فانتوسـاتي (مـن إيطاليا) ، أرق آيـات التقدير والشـكر على إتاحـة الإمكانية لإجراء أبحاث بالرادار الأرضي في ذلك المكان الأثري .

صورة تجمع بين ريتشارد لوبان (من الولايات المتحدة) ، وبافل موروفوف وسيرجي ميركولاف (من روسيا).

البحث عن المياه في الصحراء .. في محيط مدينة أريكيبا ، بيرو:

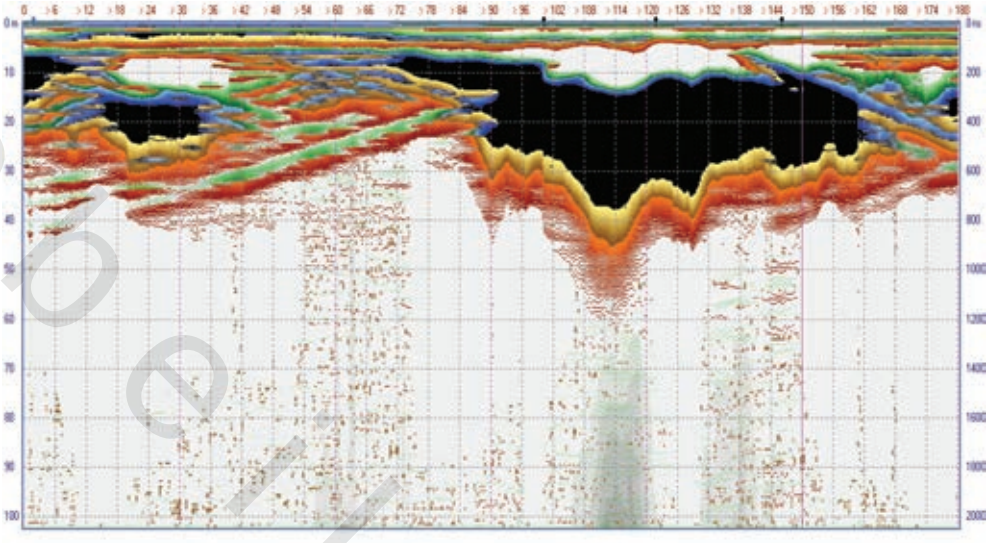
السهل الجبلي الذي لفحته الشمس ، على بُعد مئات الكيلومترات لا يحيط به سوى الغبار والأحجار السوداء من الشمس الحارقة، بينما نستمر في السير، وُجد الكوخ الفقير على مياه متراكمة ووادي عريض أخضر وخصيب، وذلك بسبب المنعطفات والإنحرافات . السؤال الأول هو من أين تأتي كل هذه المياه في هذه المنطقة ، حيث إن جميع الجبال يكسوها السواد وتعتبر معدومة الحياة، ولا تجري بها أي جداول، والآبار لا تتدفق هنا ؟ وهنا كان لزامًا علينا أن نستكشف هذه المسألة، فمن أين تأتي المصادر المحلية للحياة وأين تكون بدايتها – أي أين مصادر المياه والحياة ؟

كان المكان الذي ذهبت إليه البعثة للعمل به في بداية خطة البحث ، عبارة عن سفح قديم دمره بركان، والذي تكونت في أحد جوانبه قناة جافة . تهبط المياه هنا على هيئة تيارات طينية ومختلطة بما تبقى من أثر الحطام . غير أن المياه تنبع من المصدر البادي للأسفل ، هل من الممكن أن المصدر يغذيه شيء آخر ؟ حيث أظهر فحص هضاب البركان شيئاً مثير للاهتمام – تمثل في أن كل سطح الهضبة كان مكتظاً بالعشب المنخفض والشجيرات الصلبة ، ومساحات كبيرة من الشجيرات المتخشبة، وهو الأمر الذي يدعو للتساؤل: ما يعني أنى لجميع هذه النباتات أن تأتي بالمياه؟

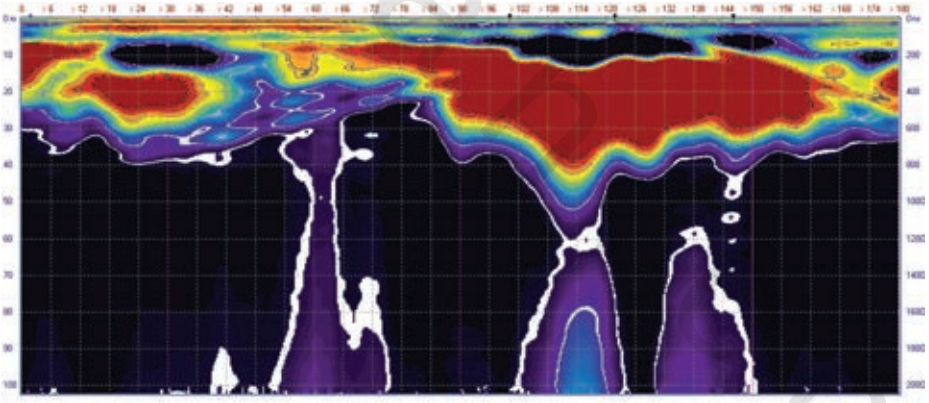
من هنا قررنا خط البحث لقطاع بطول جانب البركان، وبعرض القناه الجافة . وقد تزودنا بهوائي طوله ٦ أمتار وبجهاز الرادار الروسي LOZAN وقمنا بشحن البطارية . كانت الأمتار العشر الأولى وحتى الخمسين متراً ثابتة بشكل كاف ودون أوهام خاصة بإمكانيات النجاح، وعند الاقتراب من القناة، بدأت الصورة على شاشة الجهاز ، تتخللها ظلال متلونة بألوان متغايرة (على الرغم من النظام ذي اللون الواحد) ، واختفت الإشارات ببساطة ، في الجوف، وخرجت من الناحية المقابلة للقناة ، ومرة أخرى حصلنا على قطاع جيولوجي أحادي اللون عديم الحياة.. هكذا انتهى المقطع بسلاسة وهدوء، لكن ظلت في ذاكرة الجهاز «مرحباً» قوية وتكنولوجية من الأرض الأم.

أدى التفسير والتحليل للصور ، إلى نتيجة مفادها أن الانتهاكات التكتونية تعد هي المصدر ، فالمياه تصعد إلى أعلى مع انبعاثات البركان الأخرى على هيئة بخار ، ثم تتكثف عند سطح الأرض وتتطاير الأبخرة الأخرى ، ونتيجة لذلك يمتلئ الجدول بالمياه ، وبدوره يملأ الجدول الناس بالسعادة والأمل .

في القطاع المأخوذ بالرادار المخترق للأرض تم تسجيل ، بشكل أكيد ، حفريات من العصر الحجري ، وأساس الحفريات الحجرية – هو الجدول الذي يعود للعصر الحجري المدفون (٧٠ – ١٦٠ متراً للمقطع الجانبي) بعمق أكثر من ٥٠ متراً . ووفقاً للحفريات الحجرية ، فإن المكان الأمثل للتنقيب عن بئر المياه يقع على بعد ١١٠ ـ ١١٦ متراً للمقطع الجانبي .



صورة ١: المكان الأمثل لحفر البئر التي تم اكتشافها على عمق ٥٠ متراً بمدينة بيرو في الصحراء.



صورة ٢ : تم المسح بواسطة مجموعة الرادار المخترق للأرض «LOZA» ساحل البحر الأسود .

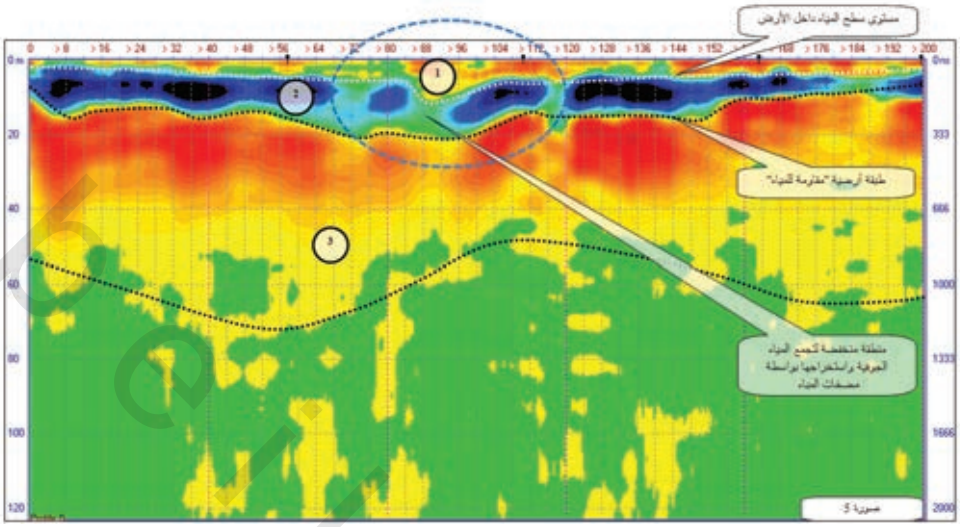
حقيقة آبار المياه الجوفية بمدينة العبور .. القاهرة:

شكلت المياه المتدفقة من باطن الأرض إلى الأدوار الأرضية بأحد أحياء مدينة العبور بالقاهرة مشكلة أرقت الكثيرين ، وهددت الأحوال المعيشية لآلاف من سكان هذه المدينة ، ومثلت خطراً كبيراً على مساكنهم .

ديسمبر ٢٠١٥ شهد تجربة حية لاستخدام جهاز رادار اختراق التربة؛ لتبين حقيقة وجود مياه تحت سطح التربة بهذه المنطقة .

صورة لفريق العمل المصري ـ الروسي أثناء عملية المسح ١

صورة لفريق العمل المصري ـ الروسي أثناء عملية المسح ٢

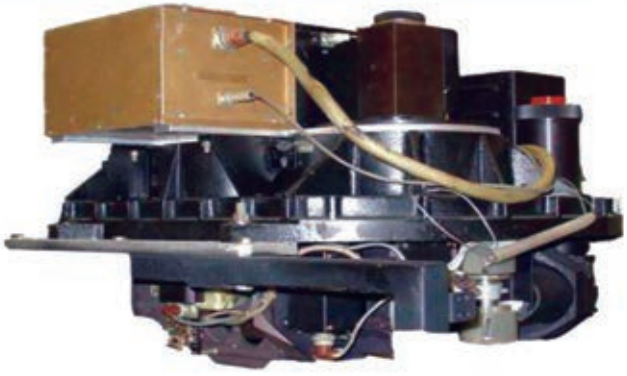


تحليل وتفسير صورة المسح الرداري.

Okeikan.com

الفصل السابع

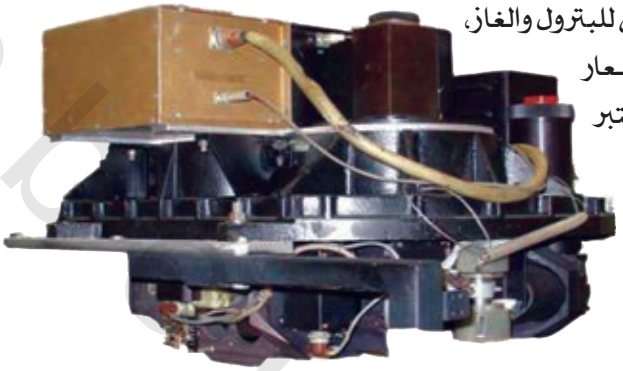
تقنيات المسح الحرارى متعدد الأطياف



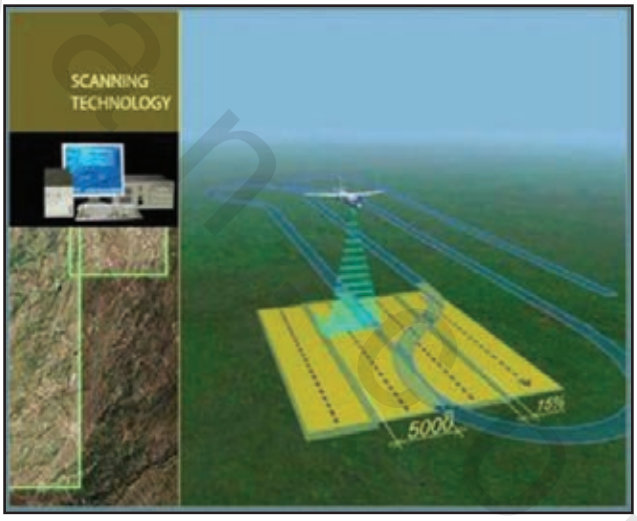
obeikan.com

obeikan.com

يستخدم الماسح الحرارى متعدد الأطياف لمسح الأرض حرارياً من الطائرة والحصول على صور فى عدة شرائح طيفية، طبقاً لاختيار المستخدم لتحديد المناطق الهيدروكربونية، المكون الرئيسى للبترول والغاز، وهي تُعد من أحدث تقنيات الاستشعار من البُعد ومعالجة الصور، كما تعتبر من التكنولوجيات المستخدمة بنجاح لاكتشاف حقول البترول والغاز.



شكل رقم (١) الماسح الحرارى متعدد الأطياف طراز النسر Eagle



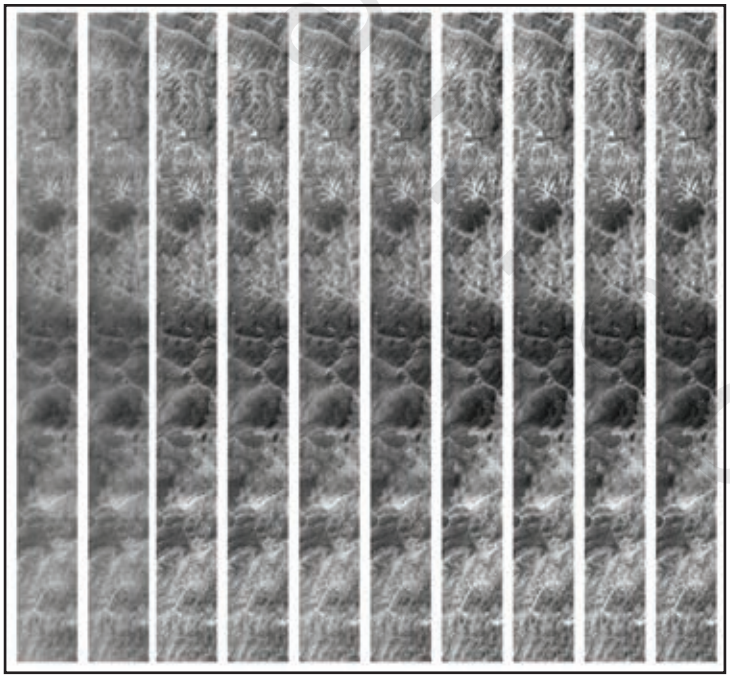
شكل رقم (٢) التصوير بالأشعة تحت الحمراء لاستكشاف الاختلافات الهيدروكربونية

تتميز هذه التقنية بقدرتها على تصوير الاختلافات الناتجة عن الهيدروكربونات. كما تتميز عملية معالجة الصور الجوية الحرارية بتوفر نموذج رياضى، يعتمد على تحليل مرجعى معلوم للهيدروكربونات، ولا تتوفر حتى يومنا هذا مستشعرات حرارية للأقمار الصناعية، يمكنها تصوير الاختلافات الناتجة عن الهيدروكربونات.

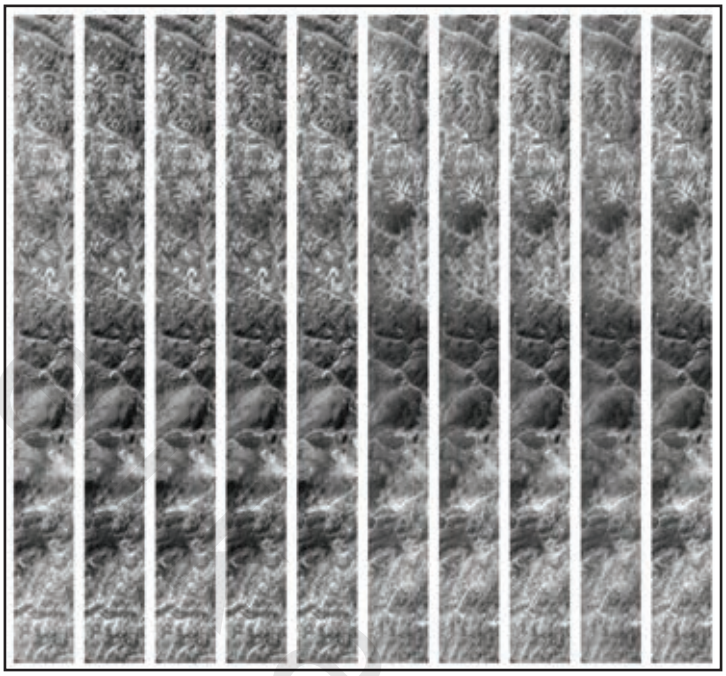
تتفوق صور المسح الجوى الحرارى من الطائرات للهيدروكربونات بقدرة تحليلية حرارية عالية ٥×٥ أمتار بالمقارنة بالصور الحرارية من الأقمار الصناعية، والتى لا تزيد قدرتها التحليلية عن ٣٠×٣٠ متراً ولا تتوفر بها إلا معلومات محدودة لتمييز الهيدروكربونات، كما أن صور المسح الجوي تتفادى التشوهات الناتجة عن الغلاف الجوى، والتى تظهر بصور الأقمار الصناعية، مما يعد ميزة إضافية للمسح الجوى الحرارى متعدد الأطياف.

يتم المسح الجوى الحرارى من طائرة تحلق على ارتفاع ٥ كم، يمكنها من تصوير شريحة من الأرض عرضها ٥ كم، ويتم التصوير على هيئة شرائح متوازية ومتداخلة بنسبة ١٥ ٪ لضمان تغطية المنطقة التى يتم تصويرها بالكامل.

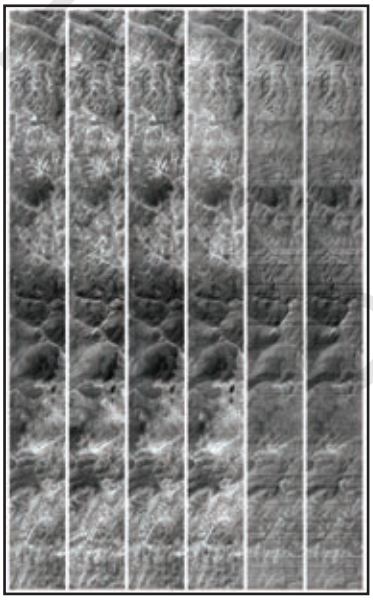
شكل رقم (٣) شريحة التصوير بعرض ٥ كم



شكل رقم (٤) القنوات الطيفية لعشر قنوات طيفية من إجمالى ٢٦ قناة طيفية

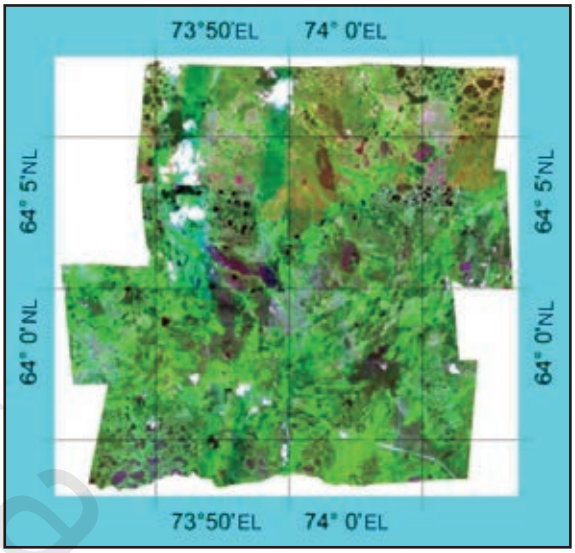


شكل رقم (٥) القنوات الطيفية من ١١ ـ ٢٠



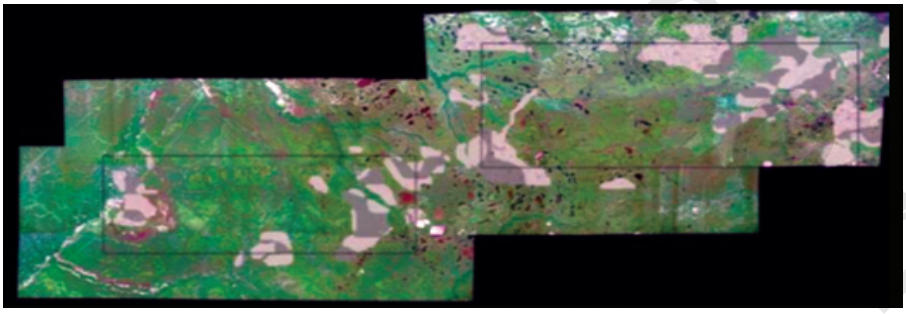
شكل رقم (٦) القنوات الطيفية من ٢١ ـ ٢٦

يتم ربط الصور الملتقطة بالإحداثيات الأرضية الجغرافية أو الكيلومترية، وتوقيعها على خرائط مصورة، وبذلك يتم توقيع الاختلافات الهيدروكربونية المكتشفة على صور ملونة، يتم تكوينها من القنوات الطيفية الملتقطة.

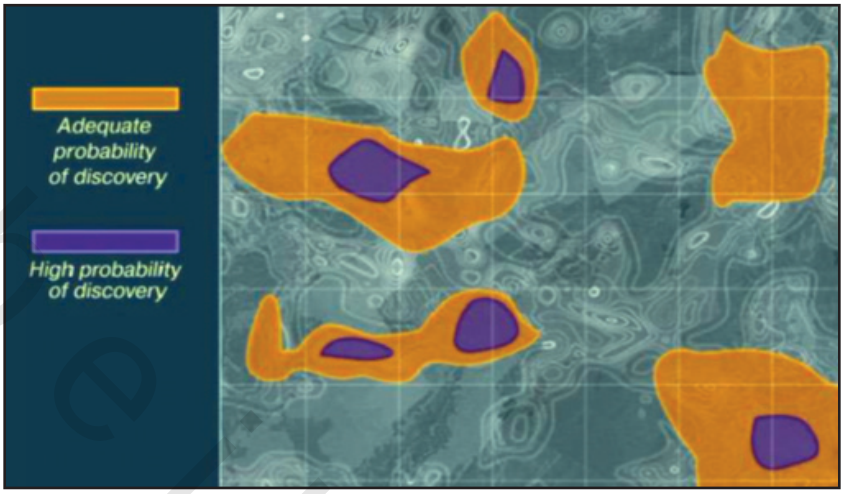


شكل رقم (٧) ربط الصور الممسوحة بالإحداثيات الأرضية الجغرافية أو الكيلومترية وتوقيعها على خرائط مصورة.

وتأتي أهمية هذه التقنية في تقليل التكاليف اللازمة لعمليات الاستكشاف بنسبة تصل إلى أقل من عُشر تكلفة تقنيات الاستكشاف الأخرى، كما تتميز الصور الجوية بإمكانية تجميعها بدقة عالية لإنتاج خريطة مصورة للمنطقة التي يتم تصويرها.

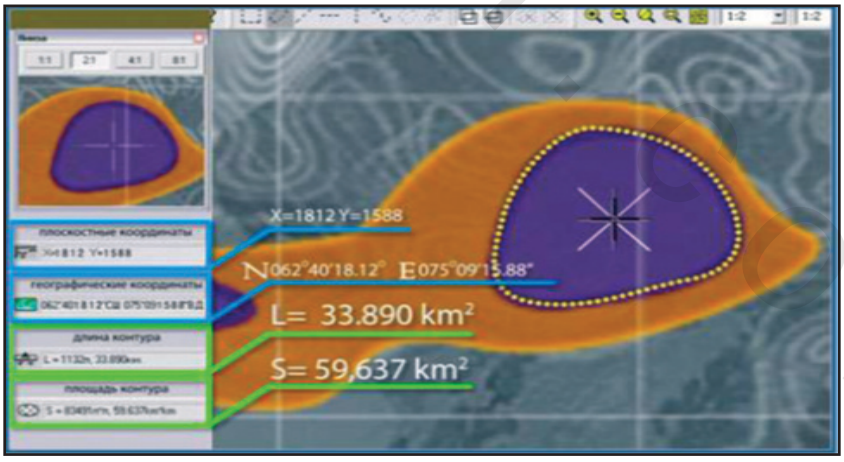


شكل رقم (٨) توقيع الاختلافات الهيدروكربونية المكتشفة على صور ملونة تم تكوينها من القنوات الطيفية الملتقطة.



شكل رقم (٩) المنتج النهائى الذى يتم توريده للعميل بلونين، أحدهما بنسبة عادية والآخر بنسبة عالية.

المنتج النهائى يكون فى شكل خريطة موقع عليها مساحات بلونين: أحدهما بكثافة عادية والآخر بكثافة عالية، والذى يعد مؤشراً للمساحات المكتشفة ذات النسب الأعلى في وجود البترول أو الغاز بها، وتحديد مساحتها وإحداثيات موقعها.



شكل رقم (١٠) تحديد المساحة التي يحتمل وجود البترول أو الغاز بها ومساحتها وموقعها.

ومن الأجهزة المستخدمة التي تعتمد على هذه التقنية، هو جهاز المسح الحراري الروسي النسر Eagle والذي يُعد من أقوى الأجهزة التي تعتمد عليها كُبريات الشركات الروسية العاملة في مجال التنقيب عن الغاز والبترول وغيرها مثل جاز بروم، روس نفط، رو- إنترجي، لوك أويل وغيرها...

الجدول التالي يوضح المواصفات الفنية لجهاز المسح الحراري الروسي طراز النسر **Eagle**:

م	البارامترات الرئيسية	القيمة
١	عدد قنوات المعلومات الطيفية Information Spectral channels	٢٦
٢	زاوية الرؤية اللحظية Instant Field Of View (IFOV)	٥ دقائق (تعادل ٥ أمتار عند ارتفاع طيران ٥ كم)
٣	زاوية المسح Scanning angle	٧٠ درجة (تعادل ١ كم عند ارتفاع طيران ٥ كم)
٤	معدلات المسح Scanning frequencies	١٨ ، ٣٦ ، ٧٢ خط/ثانية
٥	المدى الطيفي Spectral range	٠,٤٣ - ١٢,٥ ميكرون
٦	أسلوب التشغيل Operation mode	تفاعلي
٧	مدى درجة حرارة التشغيل Operation temperature range	من -١٠ إلى + ٤٠ درجة مئوية
٨	قدرة وحدة الإمداد بالطاقة Power supply	٢٧ فولت ، ١٢٠ وات
٩	عامل التبريد Cooling agent	نيتروجين سائل

ومما يثبت كفاءة وأهمية هذه التقنية عامة وهذا الطراز بشكل خاص في التنقيب والبحث عن الغاز والبترول، ما لخصته شركة «جاز أويل» في نقطتين داخل خطاب أرسلته إلى مركز التكنولوجيات المكثفة لعلوم الاستكشاف الروسي «CJSC» - المسئول عن تصنيع وتشغيل جهاز المسح الحراري نسر Eagle - بناء على طلبهم حول تقييم مدى فاعلية التقنية وتطبيقها :

١- خفض المصروفات والمخاطر في مرحلة المسح الجيولوجي.

٢- تقليل الاستثمارات الرأسمالية اللازمة، علي سبيل المثال: تقليل المدة الزمنية بين بداية أعمال المسح الجيولوجي وبداية اللإنتاج التجاري.

المحتويـــات

م	الموضـــــــوع	رقم الصفحة
١	مقدمـــة	١
٢	الفصل الأول : أساسيات الاستشعار من البُعد	١١
٣	الفصل الثاني : الأقمار الصناعية والمستشعرات	٣١
٤	الفصل الثالث : الاستشعار من البعد باستخدام أشعة الميكروويف	٧١
٥	الفصل الرابع : التعامل مع الصور وتحليلها	١٠٧
٦	الفصل الخامس : تطبيقات الاستشعار من البعد	١٣١
٧	الفصل السادس : رادار اختراق التربة	١٧١
٨	الفصل السابع : تقنيات المسح الحراري متعدد الأطياف	٢١٥
٩	الفهـــــــرس	٢٢٣

obeikan.com