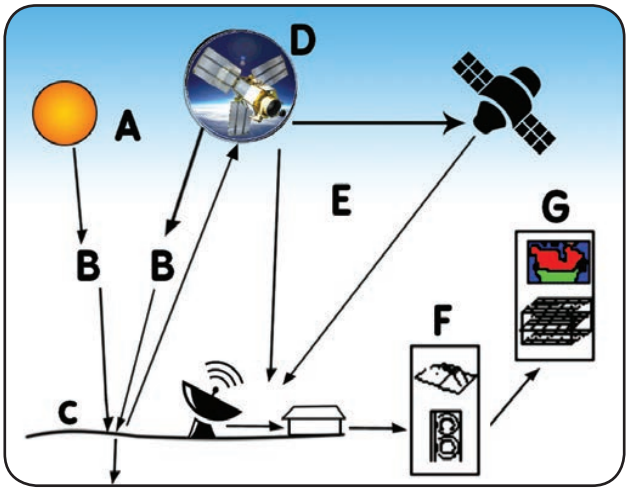
# الفصل الرابع

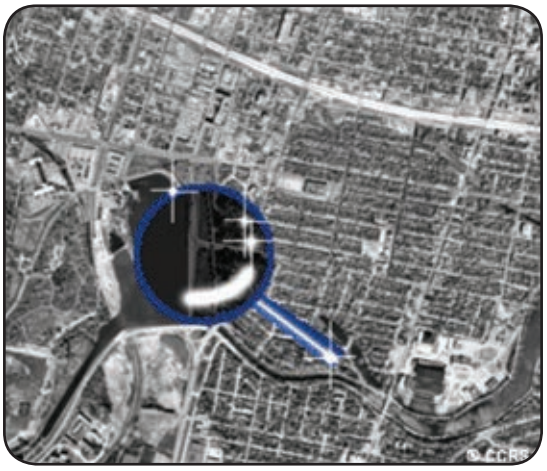
# التعامل مع الصور وتحليلها

## 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 .



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.

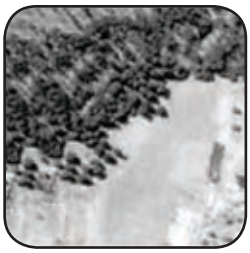
تمييز الأهداف هو أساس التحليل و استخلاص المعلومات من الصور. فمراقبة الاختلافات بين الأهداف و الخلفية المحيطة بها، يشمل مقارنة الأهداف المختلفة بناء على درجة اللون، الشكل، الأنماط، البنية، الظل، الترابط. التحليل البصري باستخدام تلك العوامل هو جزء من حياتنا اليومية، سواء انتبهنا لذلك أم لا، ففحص صور الأقمار 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.

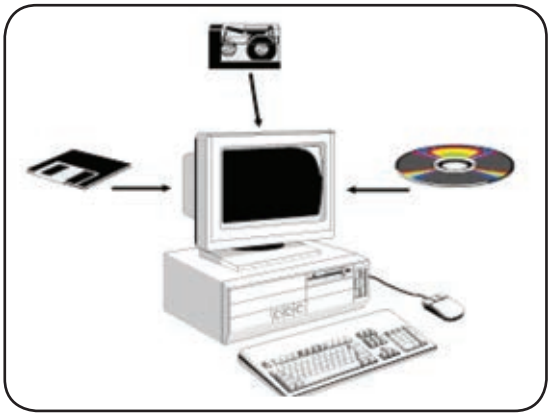
**الترابط** association : يؤخذ في الاعتبار العلاقة بين الهدف المراد تحديده و أهداف أخرى مجاورة تم تمييزها . ففي المثال السابق، معرفة أن المباني في تلك المنطقة هي مبان تجارية ، يرتبط ذلك بوجود طرق رئيسية ، بينما المنطقة السكنية ترتبط بوجود مدارس و ملاعب . وفي الصورة بالأعلى ، يرتبط وجود بحيرة بوجود قوارب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

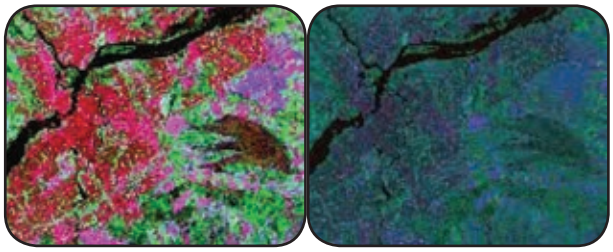


**يمكن تقسيم عمليات معالجة الصور إلى أربعة أقسام أساسية:**

- 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) .

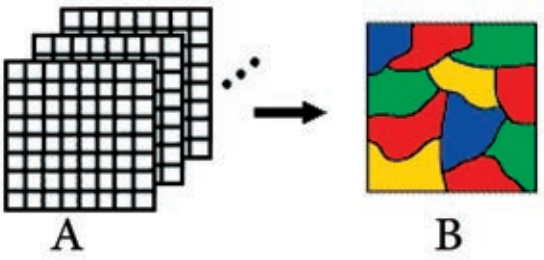


**تحسين الصورة** "Image enhancement":

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 .

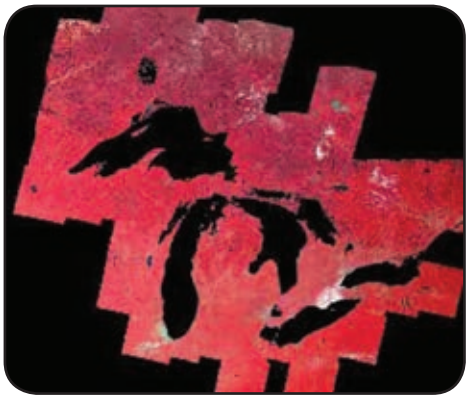



**تصنيف الصور و تحليلها** "Image classification and analysis" :

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 .

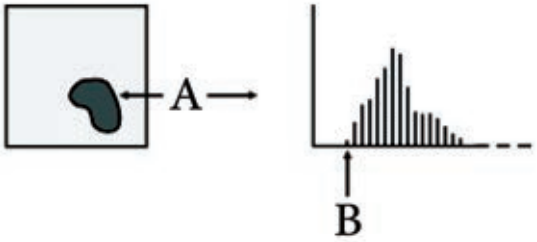
**فيما يلي سوف نتناول الفئات الأربع لمعالجة الصور بشيء من التفصيل:**

## ٣.٤ المعالجة الأولية:

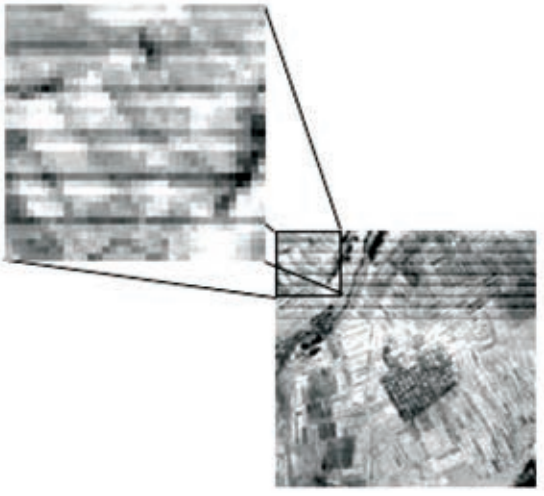


عمليات المعالجة الأولية تسمى في بعض الأحيان عمليات التصحيح و التعديل ، حيث إن الهدف منها هو تصحيح التشوهات و الأخطاء الهندسية والراديومترية. فالتصحيحات الراديومترية تكون ضرورية بسبب التغيرات في الإضاءة، و الزوايا والأبعاد الهندسية، و الظروف المناخية، والضوضاء. وتختلف كل من تلك العوامل تبعاً للمستشعر 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 .



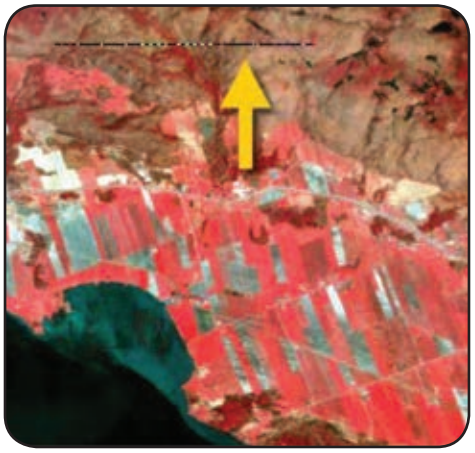

كما ذكرنا في الفصل الأول ، فإن «تشتت الأشعة» يحدث عندما تمر خلال الغلاف الجوي و تتفاعل معه، و هذا التشتت يقلل من الأشعة التي تضيء الأهداف ، كذلك فإن الغلاف الجوي يؤثر على الأشعة المنعكسة من الهدف إلى المستشعر ، و بالتالي تقل الأشعة التي تصل إليه . توجد عدة عمليات لتصحيح تأثير الغلاف الجوي، تختلف بدءاً 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 .

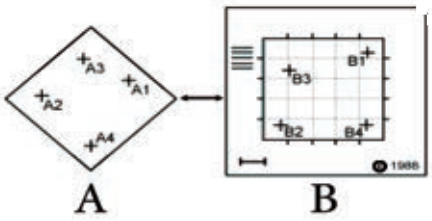


في العديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد ، يكون من الضروري تحويل الأعداد الرقمية إلى وحدات القياس التي تعبر عن الإشعاع أو الانعكاس الحقيقي عن الأسطح. ويتم ذلك بناءً على معرفة مفصلة باستجابات المستشعر، و كذلك الطريقة التي يتم تحويل الإشارة (التناظرية) بها إلى عدد رقمي، ويسمى ذلك بالتحويل من التناظري إلى 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 :**

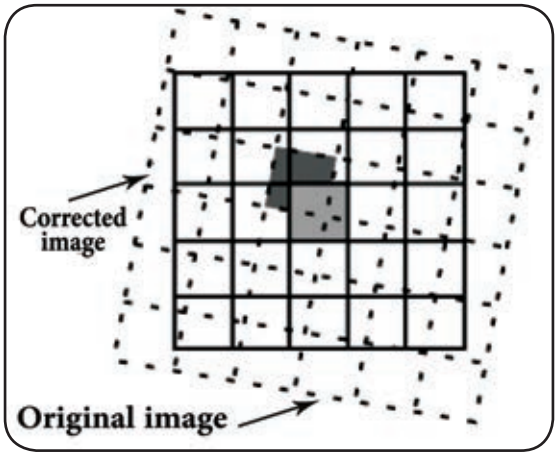
- منظور المستشعر .
- حركة نظام المسح الضوئي .
- حركة المنصة الحاملة للمستشعر، و اتجاهها و ارتفاعها ، و كذلك سرعتها .
- التضاريس الأرضية .
- دوران و تحدب الأرض .

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

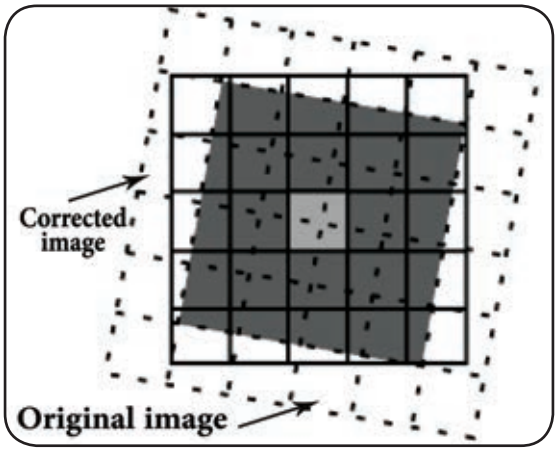
2. Bilinear interpolation

3. Cubic convolution

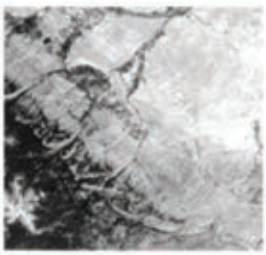
**الطريقة الأولى** Nearest neighbor ، تستخدم القيم الخاصة بالـ «Pixels» الموجودة في الصورة القديمة الأقرب إلى مكان الـ «Pixels» الجديد في الصورة المصححة . تعتبر هذه هي أبسط الطرق ، ولا تسبب تغيراً في القيم الأصلية، و لكن قد ينتج بسببها تكرار بعض القيم (pixels)، بينما يُفقد البعض الآخر. هذة الطريقة قد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

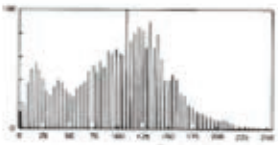
**الطريقة الثانية** Bilinear interpolation ، تعتمد على حساب الوسط المرجح "weighted average" لأقرب أربع نقاط (pixels) بالنسبة «للبكسل الجديدة» . تلك العملية تقوم بتغيير القيم الأصلية للعناصر ، و تكون صورة جديدة ذات قيم مختلفة بالكامل ، قد يكون ذلك التغيير غير مرغوب فيه إذا كانت هناك المزيد من العمليات 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:

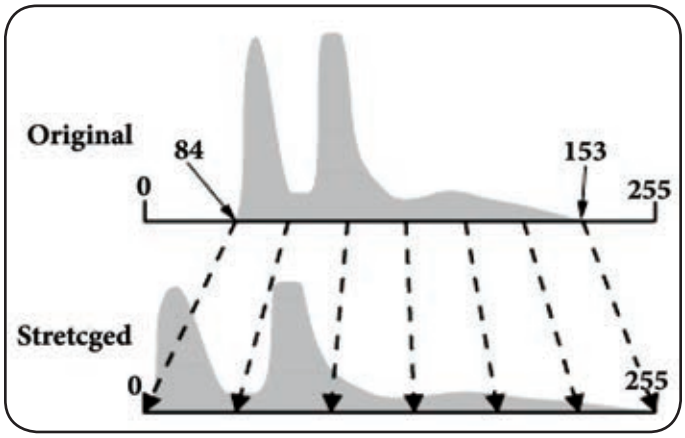




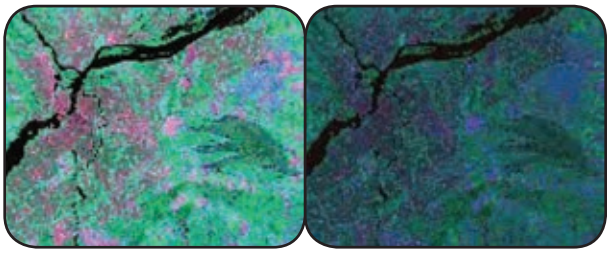
يتم تحسين الصورة حتى يصبح التعامل معها و فهمها أكثر سهولة ، و من مميزات الصور الرقمية أنها تسمح لنا بالتعامل مع قيمة كل «بكسل» في الصورة. في بعض الأحيان، بالرغم من عمل التصحيحات الراديومترية وإزالة تأثيرات الإضاءة و التأثيرات الجوية، إلا أن الصورة قد تظل بحاجة إلى بعض التعديلات حتى يسهل فهمها . أجهزة 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 .

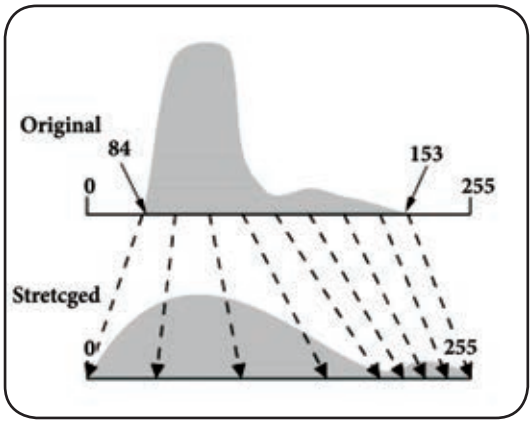
نتيجة اختلاف الاستجابة الطيفية للأهداف بشكل كبير (الغابات، و الصحاري، و المناطق الجليدية، و المسطحات المائية)، لا يمكن عمل تصحيح راديومتري موحد للصورة بالكامل . لذلك فكل تطبيق و كل صورة تكون لها قيم مختلفة .

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) .

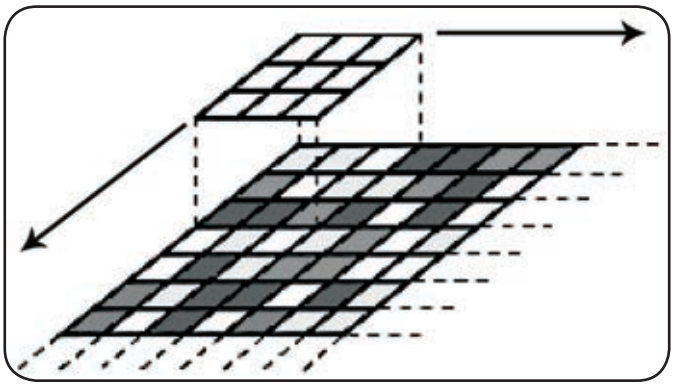



توجد عدة طرق لتحسين التباين في الصورة، سوف نغطي القليل منها فقط، أبسط طريقة منها هي"linear contrast stretch" ، في هذه الطريقة نقوم بتحديد أقل و أقصى قيمة للسطوع في الصورة، ثم إجراء بعض التحويلات لمد ذلك المدى حتى يغطي النطاق المتاح بالكامل . ففي المثال بالأعلى تشغل القيم الحقيقية الحيز من ٨٤ و حتى ١٥٣، 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 .



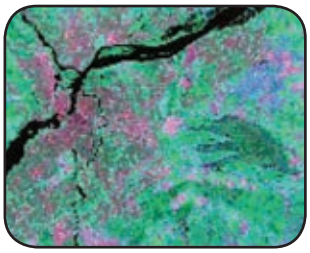


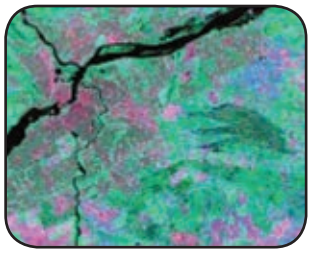

التوزيع المتساوي لقيم مستويات السطوع في الصورة بحيث تغطي الحيز بالكامل ، لا يكون في كل الأحوال مناسباً لتحسين الصورة، خصوصاً عندما تكون القيم الأصلية غير موزعة بالتساوي في هذه الحالة تستخدم طريقة أخرى تكون مناسبة أكثر ، و هي "histogram_equalizedstretch"، تعتمد تلك العملية على إعطاء قيم أكبر للمناطق التي 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 .

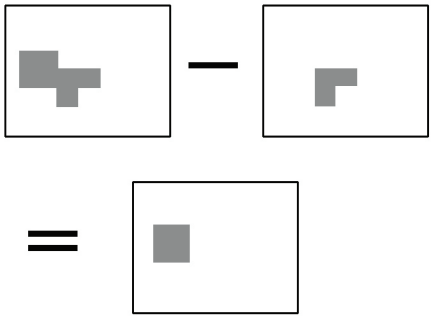




"مرشح الترددات المنخفضة" "low-pass filter"، يستخدم لجعل المناطق في الصورة أكثر تجانساً ، و تقليل التفاصيل الصغيرة في الصورة ، و بالتالي فهو يقوم بتنعيم الصورة بشكل عام. أما "مرشح الترددات العالية" "high-pass filter" فيكون له تأثير معاكس، حيث يقوم بجعل تفاصيل الصورة أكثر وضوحاً و حدة . يمكن تحقيق تأثير 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:

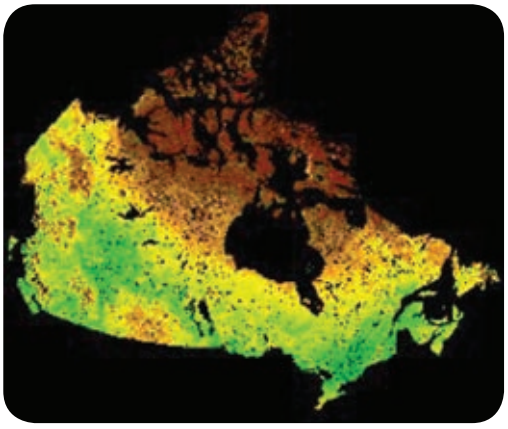
تشمل التحويلات معالجة البيانات على عدة نطاقات معاً ، سواء كان مصدرها هو صورة واحدة متعددة الأطياف أو أكثر من صورة لنفس المنطقة تم التقاطها في أوقات مختلفة، و بالتالي ينتج عن تلك التحويلات صور جديدة تُظهر بعض الخصائص و المعالم أكثر من الصورة الأصلية .



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 .

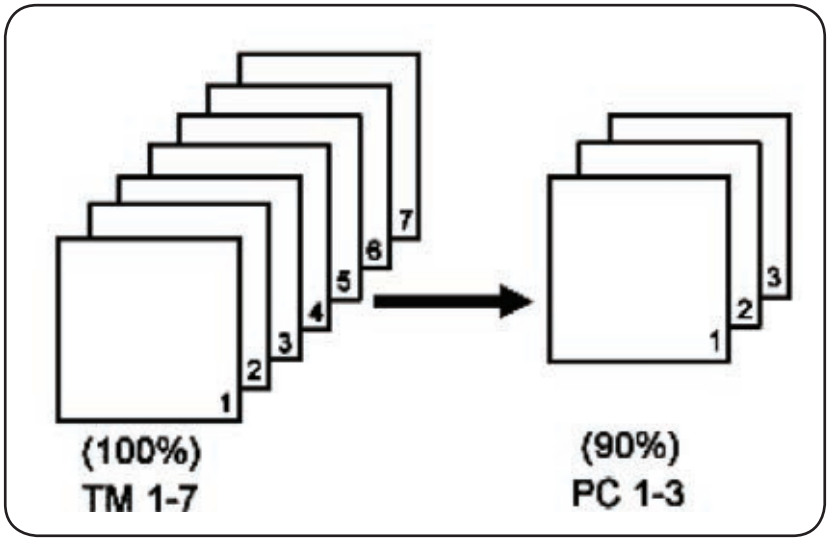
تقسيم الصورة (أو النسب الطيفية)، واحدة من أشهر التحويلات التي تتم على الصور، حيث تستخدم لتحديد و تمييز الاختلافات في الاستجابة الطيفية لمختلف أنواع الغطاء الأرضي . فبتقسيم البيانات الخاصة بالنطاقات الطيفية المختلفة ، تنتج صورة جديدة تتضح بها الاختلافات في النطاقات الطيفية التي لم تكن واضحة. و فيما يلي 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 .

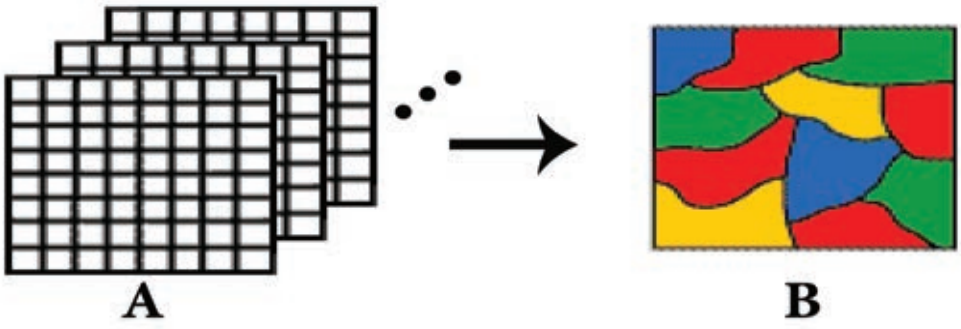
توجد فائدة أخرى لاستخدام تلك الطريقة، و هي تقليل تأثيرات الإضاءة التي تحدث نتيجة طبوغرافية الأرض ، و ذلك لأننا نتعامل مع نسب و ليس قيم السطوع . و لكن على الرغم من ذلك ، فإن المناطق المنحدرة التي تغطيها الغابات تختلف قيم الانعكاسات بها تبعاً لاتجاهها بالنسبة لضوء الشمس . توجد أنواع أخرى من النسب أكثر 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 .

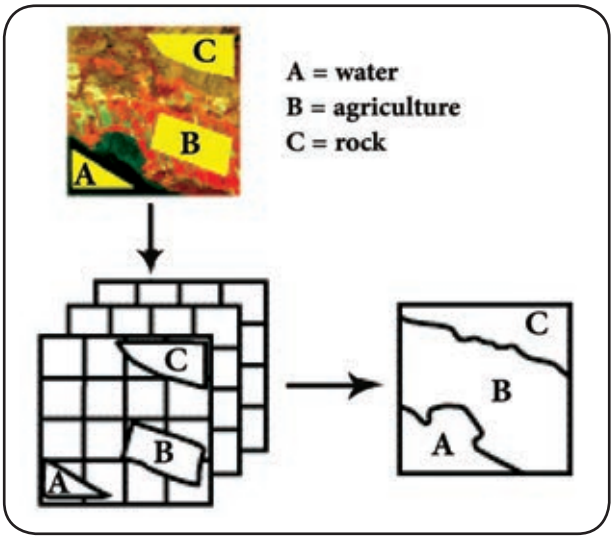


## ٦.٤ تصنيف الصور و تحليلها:

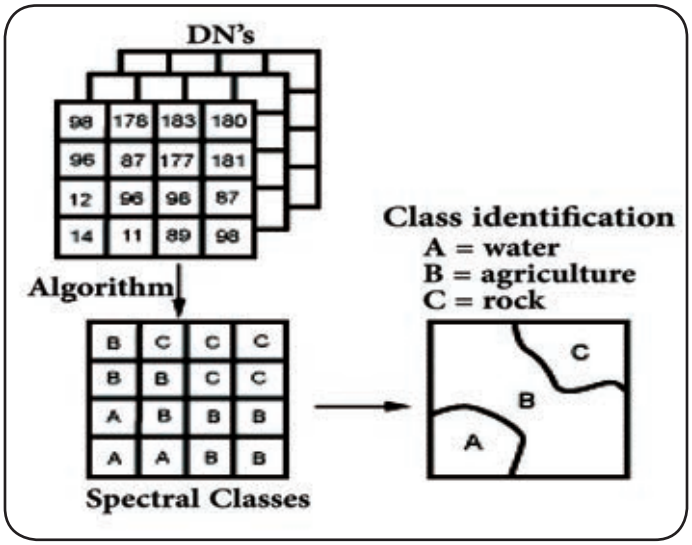
عملية التصنيف الرقمي للصور تستخدم المعلومات الطيفية الممثلة بالأعداد الرقمية لكل نطاق، حيث يتم تصنيف كل بكسل بناءً على تلك المعلومات الطيفية. يسمى ذلك النوع من التصنيف تحديد النمط الطيفي "spectral pattern recognition". في حالات أخرى يكون الهدف هو تصنيف كل النقاط pixels الموجودة في الصورة إلى فئات و مظاهر (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، و كذلك كيفية مقابلتها لمعلومات مفيدة يمكن استخدامها.

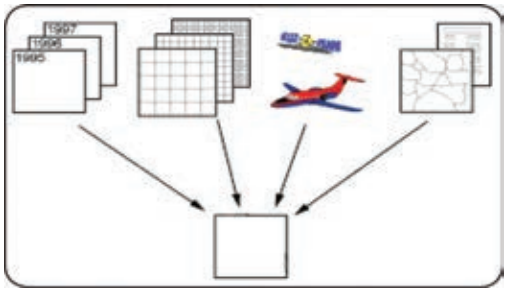


أنواع التصنيفات المختلفة، يمكن تقسيمها إلى نوعين أساسيين ، و هما التصنيف الموجه وغير الموجه . في التصنيف الموجه "supervised classification" ، يقوم المحلل بتحديد عينات تمثل مناطق مهمة (فئات المعلومات)، و تسمى تلك العينات بمجموعات التدريب training sets، و يعتمد اختيار العينات المناسبة على معرفة المحلل 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 .



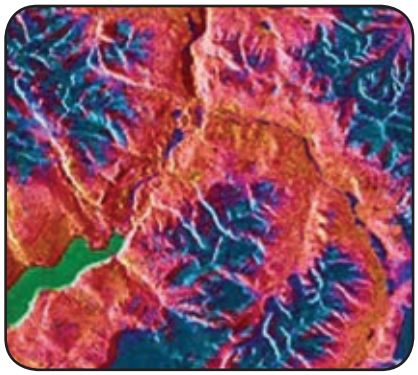
## ٤ـ٧ تكامل البيانات و تحليلها:



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 .

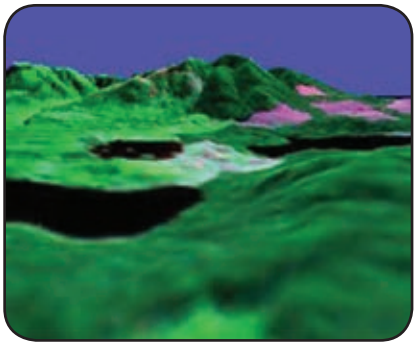
أما دمج الصور المختلفة في دقتها، فيستخدم في عدة تطبيقات ، فإذا قمنا بدمج صورة ذات دقة عالية مع أخرى ذات دقة أقل ، فإن ذلك يحسن دقة الصورة بشكل عام و يحسن التمييز بين عناصرها، و تستخدم تلك الطريقة مع الصور الخاصة بالقمر "سبوت"، حيث يتم دمج الصور البانوكروماتية ذات الدقة العالية (١٠ أمتار)، مع الصور متعددة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



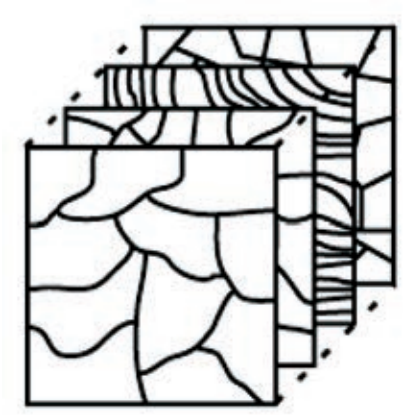
البيانات من أكثر من نوع لأجهزة الاستشعار يمكن دمجها أيضاً، و مثال على ذلك دمج الصور البصرية متعددة الأطياف مع الصور الرادارية، فهذان النوعان من البيانات يوفران معلومات تكمل بعضها البعض . فالبيانات البصرية، توفر معلومات طيفية

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