

الاستشعار عن بُعد

دو غلاس أ. ستو

الفصل العاشر

ترجمة بتصرف

أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

غالبًا ما يحتاج الجغرافيون إلى رسم خرائط لتوزيع ظواهر مثل الغطاء النباتي ، وأشكال الأرض ، والهيكل ، أو أنماط استخدام الأراضي الحضرية والريفية ، في الحاضر والماضي . ومن الوسائل الفعالة لإنجاز هذه المهمة استخدام تقنية الاستشعار عن بُعد ، ومعالجة الصور ، وإجراءات التفسير : وهي مجالات قدّم فيها الجغرافيون مساهمات بحثية كبيرة . صاغت إيفلين برويت (1918-2000) مصطلح الاستشعار عن بُعد في ستينيات القرن الماضي ، وهي جغرافية شغلت منصبًا في الخدمة المدنية في مكتب البحوث البحرية (ONR)، الذي كان آنذاك راعيًا رئيسيًا للبحوث الجغرافية (جنسن وآخرون، 1989).

يتضمن الاستشعار عن بُعد للبيئة جمع بيانات حول السمات أو الظواهر التي تُشكل سطح الأرض وبيئاتها الجوية ، دون الاتصال المباشر بها . ويتحقق ذلك من خلال التقاط "الإشعاع الكهرومغناطيسي" (EMR) باستخدام أجهزة استشعار مُثبتة على متن طائرات أو أقمار صناعية ؛ وهذه المنصات هي التي تُمكن من جمع البيانات عن بُعد (أي بشكل منفصل) . ويتراوح الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يلتقطه المستشعر من الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة جدًا ، مرورًا بالأطوال الموجية الضوئية ، إلى أطوال موجات الميكروويف (الراديو) الأطول . أما **الاستشعار عن بُعد السلبي** ، فيتضمن الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث بشكل طبيعي ، والذي قد يكون صادرًا من الشمس ثم انعكس عن المواد الموجودة على سطح الأرض أو في الغلاف الجوي . يستخدم الاستشعار عن بُعد النشاط الأشعة الكهرومغناطيسية المؤلدة صناعيًا (بالرادار أو الليزر، على سبيل المثال) والمنعكسة من البيئات الطبيعية أو المبنية .

عادةً ، تُؤخذ عينات من الأشعة الكهرومغناطيسية مكانيًا ، بطريقة تُمكن من إنشاء صورة ثنائية الأبعاد (أو صورة) ، يمكن للباحث استخراج المعلومات الجغرافية منها . في بعض الحالات ، قد تُوفر الصور المُستقاة من الاستشعار عن بُعد ، مثل الصور الجوية أو صور الأقمار الصناعية المُستخدمة على نطاق واسع في الكتب المدرسية ووسائل الإعلام وعلى الإنترنت ، تمثيلًا مرئيًا (أو خريطة) لمنطقة ذات أهمية ومعالمها . وفي حالات أخرى ، يُمكنها توفير قياسات كمية لظاهرة محلية محددة ، مثل درجة حرارة السطح أو الارتفاع . على الرغم من أن بدايته تعود إلى عام 1839، عندما تم اختراع الكاميرا ، إلا أن الاستشعار عن بُعد يُعد تقنية حديثة نسبيًا . أصبح التصوير الجوي المنهجي متاحًا على نطاق واسع خلال خمسينيات القرن الماضي ، وبدأ جمع البيانات العالمية من أقمار رصد الأرض في سبعينياته .

واليوم ، أصبح من الممكن التقاط صور متصلة ومتجاورة مكانيًا لمساحات شاسعة من سطح الأرض وغلافها الجوي . تتميز بيانات الاستشعار عن بُعد بالشمولية (أي إمكانية رصد العديد من المعالم في وقت واحد) ، ويمكن جمعها بكفاءة ودون تدخل جراحي ، حتى من المناطق التي يصعب الوصول إليها أو يصعب الوصول إليها من خلال عمليات الرصد الأرضية . ومع ذلك ، قد تظهر معلومات مضللة ، سواء في عمليات جمع البيانات أو معالجة الصور أو تفسيرها . علاوة على ذلك ، قد تكون عمليات الرصد عن بُعد أحيانًا أقل

تفصيلاً ودقة من القياسات المماثلة التي تُجرى على الأرض . كما أن المعلومات التاريخية حول المعالم أو الظروف الجغرافية لا يمكن تقييدها إلا بجودة وتوافر الصور المؤرشفة الملتقطة في الماضي . يُركز هذا الفصل على فائدة الاستشعار عن بُعد في البحث الجغرافي ، من خلال تقديم لمحة عامة عن المبادئ الفيزيائية المستخدمة في الاستشعار عن بُعد ، وأنواع الصور ومصادرها ، وأساسيات تفسيرها . تُوفر تقنيات الكشف الضوئي وتحديد المدى (LIDAR) والرادار ذي الفتحة التركيبية التداخلية (IFSAR) الأساس لإنشاء خرائط طبوغرافية ومجموعات بيانات التضاريس الرقمية المستخدمة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) (ينظر الفصل 22). يقتصر نطاق هذا الفصل على الاستشعار عن بُعد السلبي والبصري والتصويري لبيئة سطح الأرض . وتُستمد الأمثلة بشكل أساسي من تحليلات الظواهر الأرضية . ويناقش الفصل 8 بعض استخدامات بيانات الاستشعار عن بُعد . ويأمل المؤلف أن يثير هذا الفصل اهتمام الطلاب بمجال جغرافي فرعي ديناميكي يشهد تغييراً سريعاً.

الإشعاع الكهرومغناطيسي (EMR)

بما أن الإشعاع الكهرومغناطيسي هو الذي يُمكن من استخراج المعلومات حول سطح الأرض ، فمن المفيد تقديم بعض المعلومات حول توليده ونقله وتفاعله . يتضمن الإشعاع نقل الطاقة ، ولكن بخلاف نقل الطاقة بالتوصيل والحمل الحراري ، يمكن أن يحدث نقل الإشعاع الكهرومغناطيسي في غياب وسيط مادي (أي أنه يمكن نقله عبر فراغ الفضاء الخارجي) . يتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من مجالات كهربائية ومغناطيسية تنتقل بسرعة الضوء ، ولها طول موجي وتردد مميزان . ما يسبب انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي هو تغير في الشحنة الكهربائية للمادة ، والذي يمكن أن ينتج عن تغيرات في حالات الطاقة على المستوى الذري أو حركات على المستوى الجزيئي مثل الاهتزاز والدوران . يعتمد معظم الاستشعار الجغرافي عن بُعد على التصوير السلبي للإشعاع الكهرومغناطيسي العاكس للشمس ، وخاصةً في نطاق الطول الموجي بين 0.3 و 3.0 ميكرومتر (μ) ؛ يشمل هذا الجزء الأطول من نطاقات الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية (0.3 - 0.4 ميكرومتر)، والمرئية (0.4 - 0.7 ميكرومتر)، والأشعة تحت الحمراء القريبة (0.7 - 1.4 ميكرومتر)، والأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة (1.4 - 3.0 ميكرومتر) من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي (جينسن 2007).

تلتقط أجهزة الاستشعار عن بُعد البصرية السلبية على متن الطائرات أو الأقمار الصناعية الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينعكس أو ينبعث من مواد سطح الأرض ويشتمل مكونات الغلاف الجوي ؛ ويُعد الإشعاع السطحي المنعكس أو المنبعث هو الإشارة محل الاهتمام ، بينما يُشكل الإشعاع الجوي المتناثر "ضوضاء" . تحدث الضوضاء لأن الإشعاع الكهرومغناطيسي من الشمس يمر عبر الغلاف الجوي في طريقه إلى السطح ، ثم يمر عبر الغلاف الجوي مرة أخرى بعد انعكاسه قبل الوصول إلى جهاز الاستشعار . تتمتع مكونات الغلاف الجوي ، مثل جزيئات الغاز والهباء الجوي والجسيمات ، بالإضافة إلى الماء في حالتيه السائلة والصلبة (في السحب مثلاً) ، بالقدرة على امتصاص (اعتراض) و/أو تشتيت (إعادة توجيه) الإشعاع الكهرومغناطيسي .

يؤثر التشتت على الإشعاع الشمسي المنعكس لأنه يشتت الإشعاع الشمسي المباشر، ويقلل من كمية الإشعاع الشمسي المنعكس المتجه إلى المستشعر، ويعيد توجيهه إلى مجال رؤية المستشعر . يؤثر الامتصاص على الإشعاع المنبعث ذي الموجة الطويلة عن طريق تقليل مقدار الإشعاع المنبعث من السطح ، وتحديد مناطق طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي التي يمكن استخدامها لاستشعار خصائص سطح الأرض . يُعرّف

النمط المميز لكمية الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث من مادة أو جسم سطحي بأطوال موجية متفاوتة باسم "البصمة الطيفية". ويزداد استخلاص المعلومات حول تركيب أو حالة سمات السطح من البصمات الطيفية الممثلة في بيانات الاستشعار عن بُعد تعقيداً ، فرغم أن كمية الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس الخارجة من السطح تعتمد في المقام الأول على خصائص انعكاسية مواد السطح ، إلا أنها تتأثر أيضاً بمقدار واتجاه الإشعاع الشمسي واتجاه رؤية المستشعر عن بُعد . وتعتمد كمية الإشعاع طويل الموجة المنبعث الخارج من السطح في المقام الأول على درجة حرارة السطح ، وبدرجة أقل على انبعاثية السطح المعني.

أنواع ومصادر صور الاستشعار عن بُعد

تتوفر مجموعة واسعة من أنواع ومصادر صور الاستشعار عن بُعد في المجال العام، ويمكن مفتاح اختيار نوع الصورة المناسب في مطابقة الجوانب المكانية والزمانية والسماتية لمتطلبات معلومات الباحث مع الخصائص المكانية والطيفية والراديو مترية والزمانية للصور المتاحة والنظام (الأنظمة) المستخدمة للحصول عليها . وكما هو الحال مع معظم البيانات الجغرافية ، فإن المواصفات المهمة المرتبطة بهذه الخصائص تتعلق بخاصيتين : (1) الدقة أو الحبيبات ؛ و(2) المدى أو التغطية . وتحديداً ، الدقة المكانية هي مقياس لكمية التفاصيل السطحية التي يمكن للمستشعر اكتشافها ؛ وتحدد الدقة الطيفية بعدد وموقع نطاقات الطول الموجي في طيف الرنين المغناطيسي الكهرومغناطيسي التي يقيسها المستشعر وعرض تلك النطاقات ؛ أما الدقة الإشعاعية فهي حساسية الكاشف للتغيرات في الانعكاس ؛ وتشير الدقة الزمنية إلى التردد الذي يمكن به جمع البيانات ، والذي يُحدد غالباً بمدى تنقل المنصة .

كما أن عدد وموقع نطاقات الطول الموجي في طيف الرنين المغناطيسي الكهرومغناطيسي يُحددان التغطية الطيفية ، لذا عادةً ما يجب الموازنة بين خصائص البيانات ، وبالتالي ، على سبيل المثال ، عادةً ما تأتي الدقة المكانية العالية على حساب التغطية المحدودة ، والعكس صحيح . تُجرى الفروقات الأساسية بين أنواع الصور المختلفة المتاحة بناءً على نوع المنصة (محمولة جواً أو عبر الأقمار الصناعية) ونوع المستشعر (فوتوغرافي أو رقمي). يُمكن الاطلاع على لمحة عامة عن محتوى المعلومات لأنواع مختلفة من الصور على الرابط :

http://www.fas.org/irp/imint/niirs_ms/msiirs.htm.

على سبيل المثال ، تقيس أجهزة قياس الإشعاع وأجهزة قياس الطيف الإشعاع الكهرومغناطيسي كمياً عبر نطاق طول موجي أو طول موجي منفصل من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي ، على التوالي ، بينما تلتقط الكاميرات صوراً لمجال رؤية كامل . يمكن تشغيل كل من أجهزة الاستشعار التناظرية والرقمية إما من منصات جوية أو عبر الأقمار الصناعية ، ولكن الصور الأكثر شيوعاً تُلتقط باستخدام توليفات محددة من منصات وأجهزة استشعار . وبالتالي ، على الرغم من تزايد استخدام الكاميرات الرقمية المحمولة جواً وأجهزة استشعار المصفوفة الخطية التي تقيس الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث لالتقاط صور عالية الدقة المكانية للمناطق البرية ، فإن أكثر الصور المحمولة جواً شيوعاً هي التصوير الجوي الملتقط بكاميرات مثبتة على منصات ثابتة ، مثل الطائرات والمروحيات والمنطاد والبالونات التي تعمل على ارتفاعات منخفضة نسبياً (عادةً ما بين 1000 و 21000 متر) وتميل إلى أن تكون أكثر تنقلاً من الأقمار الصناعية .

غالباً ما يكون التصوير الجوي ذا أعلى دقة مكانية ممكنة ، ولكنه عادةً ما يكون محدود التغطية المكانية (تغطي الصور الجوية عادةً مساحة تتراوح بين 1.5 و 15 كيلومتراً مربعاً). في المقابل ، توفر الأقمار الصناعية تغطية لمساحات أرضية أكبر بكثير ، ولكن بدقة مكانية أقل . على سبيل المثال ، تبلغ أبعاد صور

لاندسات 185 × 170 كيلومترًا ، وتتراوح دقتها المكانية بين 80 و15 مترًا . تميل أمثلة الأقمار الصناعية المتزامنة مع الشمس (أو التي تدور في مدار قطبي) ، مثل Landsat 7 ، إلى توفير صور عالية الدقة المكانية بشكل أقل تكرارًا (مثل مرة واحدة كل 16 يومًا) ، بينما توفر الأقمار الصناعية الثابتة جغرافيًا (التي تدور في مدار استوائي) ، مثل أقمار GOES التابعة للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) أو EUMETSAT (http://www.metoffice.gov.uk/satpics/latest_IR.html) ، صورًا أكثر تكرارًا (على فترات زمنية كل ساعة ، على سبيل المثال) ، ولكن لديها مجال رؤية أوسع ودقة مكانية أقل دقة (جاكسون 2009؛ كرامر 2002). توفر أجهزة استشعار الأقمار الصناعية التجارية صورًا عالية الدقة المكانية لمساحات أصغر وبتكلفة كبيرة (بيكر وآخرون، 2001).

أجهزة الاستشعار الفوتوغرافية على منصات الطائرات هي أنظمة تناظرية بالكامل تلتقط الصور على الفيلم عند تعرضها لأطوال موجية معينة ومعالجتها كسليبات . والصور الفوتوغرافية ، يُحدد ارتفاع عدسة الكاميرا وبعدها البؤري مقياس الصورة . تتميز هذه الصور بدقة مكانية عالية جدًا ودقة عالية (أي أنه يمكن عرضها بدقة دون تشويه أو فقدان للمعلومات) . ومع ذلك ، يقتصر نطاقها الطيفي على المناطق المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة من طيف الرنين المغناطيسي الكهرومغناطيسي ، وعلى الرغم من إمكانية استخدام صيغ أفلام أخرى ، فإن عرض الصورة القياسية يبلغ 9 بوصات . يمكن مسح أفلام التصوير الجوي ، المتوفرة بصيغ بانكروماتية بالأبيض والأسود ، والأشعة تحت الحمراء بالأبيض والأسود ، والألوان الحقيقية ، والأشعة تحت الحمراء بالألوان الزائفة ، إلكترونيًا لإنتاج صور رقمية .

ولكن يتم تحقيق جودة طيفية وإشعاعية أعلى باستخدام أجهزة استشعار رقمية قد تستخدم كواشف تناظرية لقياس مستويات الإشعاع الكهرومغناطيسي ، والتي تُحوّل بعد ذلك إلى أرقام رقمية يمكن تخزينها في ذاكرة حاسوبية ونقلها إلكترونيًا كجزء من مجموعة بيانات نقطية (مصفوفة ثنائية الأبعاد من الخلايا تتكون من وحدات بكسل ، أصغرها عناصر الصورة ، ولكل منها قيمة ضمن نطاق محدد مسبقًا) . يسهل تصحيح الصور الرقمية الناتجة وتحسينها وتحويلها إلى أشكال متوافقة مع نظم المعلومات الجغرافية . تلتقط معظم صور الأقمار الصناعية بواسطة أجهزة قياس الإشعاع التصويرية الرقمية ، نظرًا لصعوبة استرداد الأفلام الفوتوغرافية من القمر الصناعي . الحصول على بيانات الصور على الرغم من أن الاستشعار عن بُعد يوفر فوائد كبيرة وفعالة من حيث التكلفة مقارنةً بأساليب جمع البيانات الأرضية التقليدية، إلا أنه ينبغي على الطلاب عدم المبالغة في توقعاتهم عند الحصول على صور تُلبّي احتياجات مُحددة .

ففي كثير من الأحيان ، لن يكون من الممكن العثور على صور متاحة مجانًا في المجال العام في الوقت (الأوقات) والمواقع (المواقع) المهمة بالضبط . ومع ذلك ، يُعد الإنترنت أول مكان يُمكن البدء منه في البحث عن الصور المناسبة . على سبيل المثال ، يُوفر برنامج جوجل إيرث وموقع ناسا زولو تغطية عالمية للصور التي يُمكن مشاهدتها وتنزيلها مجانًا عبر الإنترنت . يُمكن العثور على برنامج تعليمي يوضح كيفية تنزيل صور لاندسات من الموقع الأخير بتنسيق نظام المعلومات الجغرافية على الرابط

http://education.usgs.gov/common/lessons/nasa_zulu.html.

مصدر آخر للصور المتاحة للعامة، بما في ذلك التغطية العالمية لبيانات الأقمار الصناعية والصور الجوية التاريخية للولايات المتحدة ، هو مركز بيانات رصد وعلوم موارد الأرض (EROS) التابع لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية . <http://eros.usgs.gov/> (USGS) في المملكة المتحدة ، تحتفظ محطة دندي لاستقبال الأقمار الصناعية بأرشيف لصور الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات قطبية واستوائية <http://www.sat.dundee.ac.uk/> ، كما يجمع موقع Intute مجموعة متنوعة من الصور والموارد

الأخرى . <http://www.intute.ac.uk/sciences/worldguide/> إذا كانت هناك حاجة إلى خصائص مكانية أو طيفية معينة أو صور حالية ، فيجب عادةً شراء البيانات من مورد تجاري.

يُعد نظام EOSDIS (الملحق 10.2) مصدرًا ممتازًا للصور ومجموعات بيانات رصد الأرض الجغرافية المكانية الأخرى . معظم مجموعات البيانات هذه مجانية ومتاحة بسهولة عبر بوابات إلكترونية مثل بوابة بيانات <http://redhook.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/> <http://glovis.usgs.gov/> . imswelcome/ يتميز نظام EOSDIS بتوفر بياناته مجانًا للطلاب والمعلمين والباحثين بصيغ متنوعة ، بدءًا من بيانات الصور الخام ، مرورًا بالصور المصححة هندسيًا و/أو إشعاعيًا ، ووصولًا إلى خرائط خصائص علوم الأرض المشتقة من نماذج متطورة.

تستخدم فرق علمية وعلماء ممولون من ناسا حول العالم نظام EOS لدراسة الأرض من خلال رصد الغلاف الجوي والمحيطات واليابسة والجليد والثلوج ، وتأثيرها على المناخ والطقس . ويكمن مفتاح فهم أفضل للبيئة العالمية في استكشاف كيفية تفاعل أنظمة الأرض ، من هواء وأرض وماء وكائنات حية ، مع بعضها البعض . باستخدام الأقمار الصناعية وأدوات أخرى لدراسة الأرض بشكل مكثف ، تأمل ناسا في توسيع فهم كيفية تأثير العمليات الطبيعية علينا ، وكيف يمكن أن نؤثر عليها . وكإضافة ، ستُسفر بيانات ودراسات نظام المراقبة الأرضية عن تحسين توقعات الطقس ، وأدوات لإدارة الزراعة والغابات ، ومعلومات للصيادين والمخططين المحليين .

معالجة الصور

بمجرد الحصول عليها ، قد يكون من الضروري أو المفيد معالجة الصور الملتقطة بالاستشعار عن بُعد قبل تفسيرها . ونظرًا لأن الصور الجوية تُفسر في شكل نسخة مطبوعة ، فإن المعالجة تُجرى عادةً في مختبر صور . على النقيض من ذلك ، تُجرى المعالجة في النظام الرقمي يمكن إجراء هذا المجال باستخدام برامج متوفرة تجاريًا . ويُعد التصحيح الهندسي والإسناد الجغرافي للصورة من أهم متطلبات معالجة الصور للعديد من مشاريع البحث (جينسن 2005). ويُعد التصحيح الهندسي والإسناد الجغرافي ضروريين لأن الصور المستشعرة عن بُعد تحتوي على تشوهات هندسية متأصلة ، نتيجةً للإزاحات التي تنشأ عن اختلافات التضاريس المُشاهدة ، واتجاه المنصة ، وعيوب المستشعر ، وبالتالي ، عند التقاطها ، لا تكون دائمًا مستوية القياس (أو شبيهة بالخرائط) (ماكجلون وآخرون 2004).

وهذا يعني أنه لإنشاء خرائط من الصور و/أو دمج المنتجات المشتقة من الصور في قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافية ، **يجب إسناد الصورة جغرافيًا إلى نظام إحداثيات الأرض** . بمستوى تعليمي مناسب ، يمكن تحقيق ذلك باستخدام برنامج نظام معلومات جغرافية (GIS) أو برنامج لعرض الصور، ولكن من الممكن أيضًا الحصول (أحيانًا بتكلفة إضافية) على بيانات تصوير فوتوغرافي رقمي أو صور أقمار صناعية مُصححة من أرشيف صور عام أو مصدر تجاري . يمكن لتحسينات التباين أو اللون، التي تتضمن تعظيم مستوى الرمادي أو نطاق الألوان في الصور الرقمية ، أن تُسهّل التفسير البصري بشكل كبير، كما تدعم العديد من حزم البرامج التحسينات المكانية التي تُحسن أو تُثعم الصور الرقمية وتُبرز التفاصيل أو الاتجاهات . من الممكن أيضًا تعديل مقياس الصورة الرقمية ، ومن خلال الوصول إلى البرنامج المناسب ، تصحيح وتحسين خصائصها المكانية والإشعاعية.

تفسير الصور المستشعرة عن بُعد

تفسير الصور هو عملية تحليل الصور المستشعرة عن بُعد واستخراج معلومات مفيدة حول مشهد ما (مساحة سطح الأرض الممثلة في الصورة) (سيمونيت وآخرون، 1983). يُعد تفسير الصور فنًا وعلمًا في آن واحد. يتمتع البشر بقدرات تفسيرية فطرية، وهناك ثمانية عناصر على الأقل لتفسير الصور تُمكننا من القيام بذلك (مع أنه ليس من الضروري توظيفها أو استغلالها جميعًا بوعي في عملية تفسير الصورة). وهذه العناصر التفسيرية، مرتبةً تصاعديًا من حيث التعقيد، هي: درجة اللون؛ اللمس؛ الشكل؛ الحجم؛ الارتفاع؛ الظل؛ النمط؛ والسياق. بالإضافة إلى ذلك، هناك أربعة أنواع عامة من مهام تفسير الصور التي قد يرغب الطالب الباحث في إنجازها. وهذه المهام، مرتبةً من حيث التعقيد، هي:

- **الكشف:** تحديد موقع نوع معين من المعالم أو الظواهر؛ عملية بحث ثنائية أو ثنائية (مثل: الكشف عن إجهاد النبات أو تغيرات المظاهر الطبيعية).
- **التحديد:** كما هو الحال في الكشف، تحديد أنواع المعالم أو الظواهر فقط (مثل: تحديد فئات استخدام الأراضي أو أنواع النباتات).
- **القياس:** تحديد طول أو مساحة أو عدد مرات ظهور الأجسام (مثل قياس طول جزء من الطريق أو إحصاء عدد المساكن في الحي)، بمجرد اكتشاف هذه الأجسام أو تحديدها.
- **التحليل:** دراسة العلاقات المكانية والسمات الجغرافية للمشهد،

غالبًا من خلال دمج المعلومات المستمدة من اكتشاف وتحديد وقياس أجسام وظواهر المشهد (مثل تحليل الخصائص الاجتماعية والاقتصادية للحي أو احتمالية تآكل التربة في مزرعة). تختلف الأدوات والاستراتيجيات المستخدمة لتفسير الصور، بناءً على ما إذا كانت الصور في شكل تناظري (نسخة ورقية) أو رقمي.

الصور الورقية الأكثر شيوعًا هي:

الصور الجوية، والتي لا تكون عادةً ذات مرجع جغرافي. أما بالنسبة للخريطة، فيُحدد المقياس المكاني للصورة الجوية بكسر تمثيلي (نسبة طول المعلم في الصورة إلى طوله الفعلي على الأرض)، والذي يُعبر عنه بنسبة بلا أبعاد لكل وحدة طول صورة، مثل مقياس 1:10,000 أو مقياس 1/10,000. ومع ذلك، من الشائع أن تستخدم وكالات الحكومة المحلية في الولايات المتحدة معادلات مقياس الأبعاد بوحدات غير مترية، مثل بوصة واحدة = 2,000 قدم. يمكن تحويل معادلات المقياس الأبعاد بسهولة إلى كسر تمثيلي بلا أبعاد عن طريق تحويل وحدات أحد جانبي المعادلة لمطابقة وحدات الجانب الآخر، بحيث تكون بوصة واحدة = 2,000 قدم → بوصة واحدة = 24,000 بوصة → مقياس 1:24,000.

نظرًا لأن الكسر التمثيلي يزداد عند انخفاض المقام (عامل المقياس)، فإن الصورة كبيرة الحجم ستُظهر مدًى مساحيًا أصغر بدقة مكانية أكبر من الصورة صغيرة الحجم. لا يوجد كسر تمثيلي متأصل مرتبط بالصورة الرقمية المعروضة على شاشة الكمبيوتر، حيث يتغير المقياس المكاني مع قيام المُشغل بالتكبير والتصغير. عادةً ما تُفسر الصور المطبوعة بمساعدة أدوات عرض بصرية تناظرية وأجهزة تكبير تُعزز التفاصيل المكانية المعقدة المسجلة على الأفلام الفوتوغرافية الجوية، وغالبًا ما تحتوي الصور الجوية على تداخل بنسبة 60% مما يُمكن من عرض زوج من الصور بشكل مجسم (كامبل 2002).

عارض المجسم هو جهاز يسمح لكل عين من عيني المُترجم بمشاهدة الجزء المتداخل من زوج من الصور ثنائية الأبعاد في وقت واحد، مما يخلق وهم العمق، بحيث "يرى" المُترجم المشهد في ثلاثة أبعاد. إن القدرة على رؤية المعالم الطبوغرافية وتنوعات التضاريس في صورة مجسمة تُعد طريقة فعالة لتصوير

علاقات المظاهر الطبيعية ، وتستخدم غالباً لرسم خرائط للمعالم التي تتحكم بها التضاريس ، مثل التضاريس أو الغطاء النباتي .

منظار نقل التكبير هو جهاز بصري يسمح بتكبير الصور التناظرية وتشويهها بصرياً ، بحيث يمكن مراعاة الاختلافات في المقياس والإسقاط ، ويمكن محاذاتها وتركيبها مباشرةً على خريطة أساسية مستوية ؛ وهذا يُعني عن الحاجة إلى تصحيح الصور الجوية هندسياً وإسنادها جغرافياً . يمكن أيضاً إنشاء طبقة نظام معلومات جغرافية رقمية من أي خريطة تناظرية إذا تم ترميزها رقمياً عن طريق المسح الضوئي أو رقميتها يدوياً . كما يمكن عدّ الكائنات النقطية والخطية والمضلعة وقياسها ورقمنتها تفاعلياً ، وعرضها في صورة أو مستوى تراكب و/أو حفظها في ملف رقمي . يجب ترميز سمات المعلومات ، مثل أسماء الفئات ، لهذه الكائنات المكانية يدوياً ، ولكن إذا تم تحديد موقع الصورة جغرافياً ، فيمكن دمج ملف المعالم الرقمية للصورة وسماتها المشفرة في قاعدة بيانات نظام المعلومات الجغرافية.

يمكن عرض الصور الرقمية على شاشة حاسوب أو طباعتها على مجموعة متنوعة من الوسائط الورقية . تتيح أنظمة معالجة وعرض الصور الحاسوبية المشاهدة والمعالجة والتفسير التفاعلي ، بطريقة مرنة وفعالة للغاية تُعرف باسم "التفسير على الشاشة" (جنسن 2005) . في حين أن الطالب المبتدئ قد لا يحاول استغلال تفسير الصور شبه الآلي (مثل تصنيف الصور أو التعرف على الأشياء) وقدرات التحديد الكمي لبيانات الصور الرقمية وبرامج معالجة الصور ، فإن "التفسير على الشاشة" يمكن أن يكون فعالاً للغاية ، إلا أن الغرض من الأساليب الأكثر أتمتة هو إنشاء وتحديث مجموعات البيانات الجغرافية المكانية بطريقة أسرع وأرخص وأكثر قابلية للتكرار وأكثر موثوقية . (Landgrebe 2003) وبينما تتحسن موثوقية الأساليب شبه الآلية ، يلزم إجراء بعض أشكال التحرير اليدوي والتفاعلي وفحص جودة المنتجات الناتجة.

يمكن عرض ما يصل إلى ثلاثة نطاقات مختلفة من الأطوال الموجية ، أو صور مُحسنة ، أو توارخ الصور في وقت واحد في مستويات الألوان الثلاثة (الأحمر والأخضر والأزرق) لجهاز الكمبيوتر. عرض الصورة (الشكل 10.2) . يمكن عرض صورة قمر صناعي أحادية النطاق ، بانكروماتية (أي ذات نطاق طول موجي عريض مرئي) في آن واحد في جميع مستويات الألوان الثلاثة لإنتاج صورة بدرجات رمادية (أي بالأبيض والأسود) . تُعرض صورة ملونة حقيقية عند عرض نطاقات الطول الموجي الأحمر والأخضر والأزرق في مستويات الألوان الأحمر والأخضر والأزرق ، على التوالي .

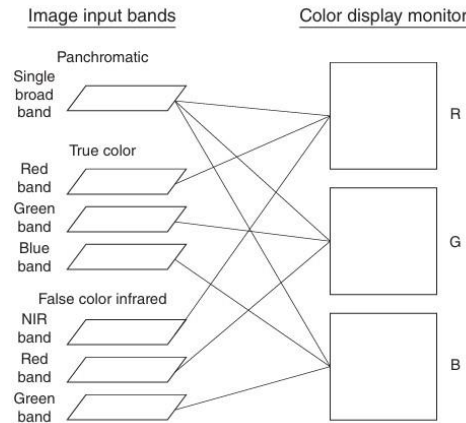


Figure 10.2 Digital image color display conventions. (R = red color plane, G = green color plane, B = blue color plane)

عند عرض تركيبات أخرى من نطاق موجي إلى مستوى لوني ، تُسمى الصور الناتجة بالتركيب اللونية الزائفة . والأكثر شيوعًا هو التركيب اللونية الزائفة للأشعة تحت الحمراء ، حيث تُعرض الأطوال الموجية القريبة من الأشعة تحت الحمراء والأحمر والأخضر في مستويات الألوان الأحمر والأخضر والأزرق ، على التوالي . هذا هو نفس التمثيل اللوني للصور الجوية بالأشعة تحت الحمراء الملونة ، حيث تظهر النباتات الخضراء السليمة بلون أحمر فاتح ، وتُصوّر الأسطح الحضرية غير العضوية (مثل الخرسانة ومواد التسقيف) باللون الأزرق الرمادي . يمكن إجراء العديد من مهام تحليل الصور ورسم الخرائط باستخدام الصور الرقمية المعروضة على شاشة الحاسوب .

تُعد عروض الصور متقلبة ، ما يعني أن الصورة المعروضة في أي وقت تكون مؤقتة ما لم تُحفظ وتُخزن في ملف حاسوب جديد . يمكن للمحلل تعديل مقياس ودرجة لون الصورة الرقمية بسهولة ، وباستخدام البرنامج المخصص ، تصحيح وتحسين الخصائص المكانية والإشعاعية . ونظرًا لتغير المقياس المكاني بالتكبير والتصغير الرقمي ، فلا يوجد جزء تمثيلي متاصل مرتبط بالصورة المعروضة على شاشة الحاسوب . بمجرد تحسين الصورة وعرضها بشكل مناسب ، يمكن للطالب الباحث تفسير الصورة بصريًا على شاشة الحاسوب ، كما يفعل مع الصورة المطبوعة . يمكن عدّ الكائنات النقطية والخطية والمضلعة وقياسها ورقمنتها بشكل تفاعلي من خلال التحكم في المؤشر باستخدام فأرة الحاسوب أو كرة التتبع .

تُعرض هذه الكائنات في الرسومات أو مستوى التراكب لشاشة عرض الحاسوب ، ويمكن حفظها في ملف رقمي . يجب ترميز سمات المعلومات (مثل أسماء الفئات) المتعلقة بهذه الكائنات المكانية يدويًا . إذا كانت الصورة مُرجعة جغرافيًا ، فإن ملفًا من الصور المُرقمة بسمات مُرمزة يُعدّ في الأساس طبقة نظام معلومات جغرافية (GIS) يُمكن دمجها في قاعدة بيانات نظام معلومات جغرافية . وبالمثل ، يُمكن تراكب ملف نظام معلومات جغرافية مؤرخ بيانيًا مع صورة مُرجعة جغرافيًا أحدث ، ثم تحديثه تفاعليًا من خلال نهج "الرقمنة المباشرة" .

أهداف تحليل الصور

تُجرى معظم عمليات تحليل الصور لدعم واحد أو أكثر من أربعة أنواع عامة من الأهداف الجغرافية المكانية : (1) الاستطلاع؛ (2) الجرد؛ (3) رسم الخرائط؛ و(4) الرصد (سيمونيت وآخرون، 1983) . يُشرح كلٌّ من هذه الأهداف أدناه في سياق البحث الجغرافي ، مع تقديم أمثلة محددة مع سيناريوهات التطبيق الأربعة.

الاستطلاع

يتضمن هذا إجراء مسح أولي للمظاهر الطبيعية ، غالبًا بهدف فهم البيئة أو السياق الجغرافي . تُمكن الصور المُستشعرة عن بُعد الباحث الطالب من الحصول على منظور نوعي للبيئة البيوفيزيائية أو "إحساس بالمكان" حول المظاهر الطبيعية الثقافية . ويمكن تحقيق ذلك في مناطق الدراسة التي يصعب الوصول إليها أو التي تقع على بُعد كبير بحيث يصعب زيارتها ميدانيًا . قد يدعم الاستطلاع القائم على الصور عمليات الرصد من مستوى الأرض من خلال إتاحة منظور رؤية مختلف ، أو يدعم عمليات الرصد المباشر من طائرة ، من خلال توفير توثيق لما تم رصده أثناء الطيران . يُعد التصوير الجوي مفيدًا بشكل خاص في الحالة الأخيرة ، حيث يمكن تسجيل المعلومات الصوتية مع بيانات صورة الفيديو . عادةً ما لا تكون متطلبات التصوير لدعم الاستطلاع صارمة ، نظرًا للطبيعة النوعية للتفسير والأهداف الأقل تحديدًا . وهذا يعني أن

الأرشفيات المتاحة بسهولة و/أو مصادر الصور عبر الإنترنت ، أو التقاط صور جوية محمولة باليد ، تُعد خيارات قابلة للتطبيق .

ومن أمثلة الاستطلاع الذي يمكن أن يجريه طالب باحث بمساعدة صور الاستشعار عن بُعد:

- (1) تقييم مدى الضرر الناجم عن حدث خطر طبيعي لحق بمدينة (بنظر السيناريو رقم 1 في الجدول 10.1)؛
 - (2) تحديد البيئة الجيومورفولوجية لمستجمع مائي أو منطقة؛ و
 - (3) فهم توزيع وخصائص المستوطنات الحضرية والريفية داخل مقاطعة أو ولاية أو بلد .
- يمكن أن يكون المنتج المعلوماتي عبارة عن خريطة أو نص وصفي ، يُحدد مدى الفيضانات و/أو يُقدم تحليلاً نوعياً للأضرار التي لحقت بالمباني والمنشآت (ينظر على سبيل المثال، http://www.fema.gov/hazard/flod/recoverydata/katrina/katrina_la_maps.shtm).

أربعة سيناريوهات للتطبيق الجدول 10.1

مُنتج معلوماتي	تفسير الصور	بيانات الصور	هدف المشروع
نص وصفي	تنزيل عبر الإنترنت وعرض على الكمبيوتر، مع تفسير مرئي وتحليل نوعي للأضرار التي لحقت بالمباني	صور الأقمار الصناعية Quickbird (ألوان حقيقية بدقة مكانية 0.6 متر) مقدمة مجالاً من خلال موقع DigitalGlobe الإلكتروني للصور التجارية	1. تقييم المدى الجغرافي والنمط المكاني للأضرار الناتجة عن زلزال في المكسيك
تقديرات إحصائية لإجمالي عدد رواد الشاطئ والسيارات على طول ساحل المقاطعة	تُستخدم نسخ مطبوعة من الصور لحساب رواد الشاطئ والسيارات في مواقع السيارات العامة	صور رقمية ملونة تم التقاطها بدقة مكانية عالية جداً بكاميرا رقمية محمولة على متن طائرة منخفضة الارتفاع وعالية الأجنحة؛ يتم تصوير عينة من الأجزاء على طول الشريط الساحلي التي تشمل الشواطئ ومواقف السيارات المجاورة	2. تحليل الأنماط المكانية والزمانية للاستخدام الترفيهي على الشاطئ ووسائل النقل بالسيارات المرتبطة به لمقاطعة ساحلية
طبقة نظام المعلومات الجغرافية الرقمية وخريطة مطبوعة للشاطئ الحرجية وغير الحرجية	تفسير على الشاشة لعرض صور مركبة بالألوان زائفة لتطبيقات موجات ETM+ ورقمنة مباشرة للمناطق الحرجية وغير الحرجية (مثل عمليات قطع الأشجار)	بيانات الصور الأرضية لجهاز رسم الخرائط المواضيعية المحسن لاندسات بلس (ETM+) التي تم الحصول عليها بتنسيق جغرافي مرجعي من باحثين في الصندوق العالمي للحياة البرية	3 تحليل تجزئة الغابات والآثار المحتملة على الأنواع الحيوانية المهددة بالانقراض في الغابات الاستوائية التي تغطي مستجمعات المياه الكبيرة في جنوب شرق آسيا
خرائط وإحصاءات جغرافية عن لدوب الحرائق منذ العام السابق	تنزيل من الإنترنت وعرض على الكمبيوتر، تفسير على الشاشة لصور موديس متعددة الأزمنة (بفارق عام واحد) ورقمنة مباشرة لحدود ندبات الحرائق	تيراً موديس صور رقمية متعددة الأطياف (دقة مكانية 250 و500 متر) يتم التقاطها سنوياً منذ عام 2000 في أوائل الصيف؛ يتم طلبها مجاناً من مركز أرشفة العمليات الأرضية الموزع النمط التابع لوكالة ناسا	4 فحص تواتر ومدى حرائق الغابات في غروب الولايات المتحدة

الجرد

يتضمن جرد منطقة الدراسة حصراً لخصائص سطح الأرض . يُعد هذا الهدف كمياً بطبيعته ، ويمكن تحقيقه عن طريق أخذ العينات الإحصائية . تُجرى عمليات الجرد القائمة على الاستشعار عن بُعد عادةً للموارد الطبيعية مثل أخشاب الغابات أو المحاصيل الزراعية (Ustin 2004 ؛ Lillesand and Kiefer 2007). قد يرغب الباحثون الطلاب أيضاً في حصر المعالم المبنية أو الثقافية الأخرى ، مثل المباني أو الطرق ، باستخدام صور عالية الدقة المكانية . حتى الموارد البشرية (أي السكان) يمكن استخدامها . يمكن تقديرها من خلال تحليل الصور . (Ridd and Hipple 2005) ونظراً لأن عمليات الجرد تتضمن تقديرات عديدة أو سردياً للأشياء أو الموارد ، وهو ما لا يمكن أن يكون دقيقاً عند إجرائه على مساحات واسعة ، فقد لا تكون هناك حاجة لأخذ عينات كاملة أو شاملة.

يمكن تطبيق أحد أنواع مخططات أخذ العينات المكانية ، مثل تغطية صور متفرقة لمنطقة الدراسة واستخدام مقاطع عرضية أو شبكات نقطية متراكبة على كل صورة . ومن أمثلة عمليات الجرد التي يمكن أن يجريها طالب باحث بمساعدة صور الاستشعار عن بُعد :

- (1) تعداد السيارات في مواقف السيارات لدراسات النقل (ينظر السيناريو رقم 2 في الجدول 10.1)؛
- (2) تحديد إجمالي طول المجرى المائي في مستجمعات المياه؛ و
- (3) تقدير المساحة المساحية للأراضي المستخدمة للرعي في ولاية أو بلد ما.

بالإضافة إلى ذلك ، لدى وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) مجموعة متنوعة من مبادرات الرصد البيئي الوطنية المتجاورة مكانياً ، والتي تستخدم بيانات الاستشعار عن بُعد لحصر مختلف الممتلكات في مناطق واسعة ، وتقييم حالة المناطق الكبيرة من خلال أخذ عينات من جزء من المساحة الإجمالية ، ويمكن الاطلاع على تفاصيلها على الرابط <http://www.epa.gov/cludygxb/html/natinv.htm>.

رسم الخرائط

يُعد هذا هدفاً مشتركاً للعديد من الدراسات التي تستخدم صور الاستشعار عن بُعد ، إلا أن متطلبات التصوير اللازمة لرسم الخرائط قد تكون صارمة . ويتمثل متطلبان أساسيان في أن تكون الصور ذات مرجع جغرافي ، أو على الأقل يمكن تسجيلها في خريطة أساسية باستخدام نطاق نقل التكبير/التصغير على سبيل المثال ، وأن تكون التغطية مستمرة . هذه المتطلبات ضرورية لضمان أن تمثل الخريطة المستمدة من صور الاستشعار عن بُعد الخصائص الموضعية والخصائص المميزة للأجسام أو الظواهر بدقة (كونغالتون وغرين، ٢٠٠٨) . ومن أمثلة رسم الخرائط التي يمكن أن يجريها طالب باحث بمساعدة صور الاستشعار عن بُعد :

- (١) تحديد المناطق الحرجية وغير الحرجية لتحليل الموائل (أوستين، ٢٠٠٤) (ينظر السيناريو رقم ٣ في الجدول ١٠،١)؛

(٢) تحديد استخدامات الأراضي الحضرية؛ و

(٣) تصوير إقليمي للسماوات الهيكلية الجيولوجية لدعم الدراسات التكتونية (رينكز، ١٩٩٩). ينظر على سبيل المثال، <http://daac.gsfc.nasa.gov/geomorphology/>.

الرصد

يتضمن ذلك عمليات رصد متسلسلة زمنياً لمساحات سطح الأرض ، مع الاهتمام عادةً بتقييم تغير المظاهر الطبيعية . بالنسبة للاستشعار عن بُعد ، يعني هذا عموماً التقاط صور متعددة تلتقط في أوقات مختلفة

وتفسيرها . ويمكن تحقيق الرصد باستخدام صور متعددة الأزمنة من منظور الاستطلاع أو الجرد أو رسم الخرائط . وتُعد متطلبات الصور للرصد صارمة ؛ إذ يجب أن تكون الصور متعددة الأزمنة مرجعية جغرافيًا ومُسجلة بشكل مشترك (أي مُحاذاة مكانيًا من حيث الموقع النسبي) . ومن أمثلة الرصد الذي يُمكن أن يُجرى طالب باحث بمساعدة صور متعددة الأزمنة :

- (1) تحديد موقع ومدى آثار حرائق الغابات (ينظر السيناريو رقم 4 في الجدول 10.1؛ كما يُمكن إجراء هذا الرصد في الوقت الفعلي - ينظر، على سبيل المثال، <http://www.ssd.noaa.gov/PS/FIRE/hms.html>)؛
- (2) تقدير عدد المساكن الجديدة التي بُنيت في فترة زمنية مُحددة؛
- (3) تقييم التغيرات في الممارسات الزراعية في البلدان النامية.

المعايرة والتحقق

يُعد تفسير صور الاستشعار عن بُعد ، وكذلك منتجات المعلومات ، سواءً أكانت إحصاءات جرد أم خرائط مُستقاة من هذا التفسير، أكثر موثوقيةً عند دعمها بملاحظات أرضية . ويمكن استخدام هذه الملاحظات لتدريب المُفسّر على اكتشاف أو تحديد الأجسام أو الظواهر في الصور (وهو شكل من أشكال المعايرة) ، واختبار موثوقية أو تحديد دقة المنتج المُستمد من الصورة (وهو شكل من أشكال التحقق) (كونغالتون وغيرين، ٢٠٠٨) . وسواءً استُخدمت للمعايرة أو التحقق ، غالبًا ما يُشار إلى الملاحظات الأرضية المُستخدمة لدعم الاستشعار عن بُعد باسم "بيانات مرجعية أرضية" أو "حقائق أرضية" (على الرغم من أن هذا المصطلح الأخير، وهو مصطلح شائع ، يُعد تسمية خاطئة ينبغي تجنبها ، لأن الملاحظات الأرضية قد تحتوي أيضًا على أخطاء أو شكوك ، ولا تُمثل بالضرورة حالات أو ظروفًا حقيقية) .

ينبغي أن يتبع جمع البيانات المرجعية الأرضية نظام أخذ عينات مكانية يُقلّل من عدد العينات ويُعزز الموثوقية والتمثيل (ينظر الفصل 6). ونظرًا لأن هذا قد يكون مستهلكًا للوقت أو أكثر، ومكلفًا بنفس قدر الحصول على بيانات الاستشعار عن بُعد وتفسيرها ، فإنه يمكن الاستعاضة عن الملاحظات الأرضية بصور عالية الدقة مكانية لأغراض التدريب ، أو لتقييم دقة المعلومات المُستمدة من صور ذات دقة تقريبية.

الخلاصة

يوفر الاستشعار عن بُعد وسيلة فعّالة ودقيقة للباحثين لاستخلاص البيانات الجغرافية المكانية واستخراج المعلومات الجغرافية حول سطح الأرض وغلافها الجوي . بفضل توافر معلومات متواضعة حول أنواع ومصادر الصور المختلفة المتاحة، يُمكن لأي فرد مُلِمّ الوصول إلى صور الاستشعار عن بُعد لدعم احتياجاته البحثية ، كما يُمكن تلبية العديد من متطلبات البيانات والمعلومات الجغرافية المكانية الأساسية من خلال التفسير البصري للصور المُستشعرة عن بُعد . ورغم أن هذا لا يتطلب تدريبًا مُتقدمًا ، إلا أن الصور الرقمية وبرامج مُعالجة الصور أصبحت أكثر سهولة في الوصول ، مما يسمح بتفسير وترميز رقمي للبيانات الجغرافية المكانية بكفاءة وموثوقية أكبر . من المهم أيضًا تذكّر أن الاستشعار عن بُعد تقنية سريعة التطور، وأن توافرها وتكلفتها وخصائصها تتغير باستمرار . معظم هذه التغيرات إيجابية ؛ مما يعني توفير صور عالية الجودة ، بأشكال أكثر ملاءمة وسرعة وفعالية من حيث التكلفة.

التمرين ١٠.١ استكشاف صور لاندسات

تفضل بزيارة هذا الموقع الإلكتروني للاطلاع على صور لاندسات الملونة المخصصة لهذا التمرين : <http://geography.sdsu.edu/People/Pages/stow/book.html>.

الصورتان الأوليتان مأخوذتان من صورة لاندسات ٥ (Thematic Mapper™) الملتقطة في ٧ أكتوبر ٢٠٠٢ (أعلى) وصورة لاندسات ٧ (Evansed Thematic Mapper Plus) الملتقطة في ٧ أكتوبر ٢٠٠٥ (أسفل). تُعرض هذه الصور كصور مركبة بالأشعة تحت الحمراء بألوان زائفة ، وقد خضعت لمعالجة هندسية وإشعاعية . يغطي مشهد الصورة أجزاءً من شرق مقاطعة سان دييغو ، كاليفورنيا ، وباخا كاليفورنيا ، المكسيك . التُقطت هاتان الصورتان ، اللتان تحملان تاريخ الذكرى السنوية ، في أوائل الخريف ، وهو عادةً ذروة موسم الجفاف في الدورة السنوية لهذه المنطقة المناخية المتوسطة . لاحظ كيف أن تدرجات الألوان ليست حمراء بنفس القدر (مما يعني قلة الغطاء النباتي) في صورة عام ٢٠٠٢ ، أحد أكثر الأعوام جفافاً على الإطلاق ، مقارنةً بعام ٢٠٠٥ ، أحد أكثر الأعوام رطوبة على الإطلاق .

تضاريس المشهد شديدة التباين ، إذ إنه من الناحية الجيولوجية يقع ضمن نطاق باثوليث شبه الجزيرة ، والذي يتكون في معظمه من صخور الجرانيت . استكشف صور Landsat TM/ETM+ هذه ، وافحص بشكل خاص معالم المشهد التالية الموضحة أدناه (المشار إليها في الصورة برموز الحروف المقابلة). تبرز الحدود الدولية بين الولايات المتحدة والمكسيك من خلال تجاور أنواع استخدام الأراضي على جانبي الحدود ، بالإضافة إلى سياج الحدود والطريق الحدودي الواسع غير المُعبّد المستخدم لأغراض أمن الحدود. تُرى مدينتا تيكاتي، باجا كاليفورنيا (جنوب الحدود) ومدينة تيكاتي، كاليفورنيا (شمال الحدود عند ميناء الدخول الدولي) غالباً بلون رمادي مزرق . أما الحدائق ومناطق الغطاء النباتي الأخرى فتُرى كبقع حمراء ووردية.

التمرين 10.2

لمزيد من المعلومات حول تيكاتي.

تظهر ندبة حرق واضحة في صورة ETM+ لعام 2005 ، حيث تظهر كبقعة رمادية متجاورة في الغالب تتخللها بضع بقع نباتية غير محترقة باللون الوردي . من صورة TM لعام 2002 ، يمكننا أن نرى أن الحريق وقع في شجيرات المريمية الساحلية قليلة الغطاء النباتي ونباتات المراعي . بدأت آثار الحروق التي خلفها عام ٢٠٠٢ بالتعافي بحلول عام ٢٠٠٥ ، من خلال إعادة نمو الشجيرات والنباتات العشبية . بعض البقع غير النباتية وغير المحروقة (أي الملامح الصغيرة ، اللامعة ، غير الخطية التي لا تبدو حمراء أو رمادية داكنة) هي نتوءات من صخور الجرانيت.

يبلغ ارتفاع قمة تيكاتي حوالي ١٢٠٠ متر، وقد احترق جزء من غطائها النباتي الشجري (يظهر جزء من آثار الحروق في حوالي عام ٢٠٠٥). الملامح الحمراء الزاهية المتعرجة والمنحنية هي ممرات نهريّة ، تتكون في معظمها من أشجار عريضة الأوراق ، تتبع الجداول الصغيرة سريعة الزوال في هذه المنطقة شبه القاحلة. يتكون جبل هاويزر في معظمه من شجيرات شابارال كثيفة، تظهر بلون أحمر كثيف في الصور ذات الألوان الزائفة (خاصةً في عام ٢٠٠٥ الممطر).

تظهر مجموعة كبيرة من شجيرات المريمية الساحلية في الصور كبقعة بنية ذات نمط وردي مرقط. تُعرف شجيرات المريمية الساحلية أيضاً باسم الشابارال الناعم ، وهي تهيمن عليها شجيرات فرعية نفضية متساقطة الأوراق بسبب الجفاف ، وكان غطاء أوراقها محدوداً في أكتوبر عندما التُقطت هذه الصور.

التمرين ١٠،٢

البيانات المبنية المستشعرة عن بُعد

لإجراء هذا التمرين، انتقل لأسفل الموقع الإلكتروني

(<http://geography.sdsu.edu/People/Pages/stow/book.html>)

للاطلاع على صورتين عموديتين عاليتي الدقة المكانية (مسافة أخذ العينات الأرضية = ١٥ سم) لمدينة تيكاتي ، وهي مدينة صغيرة (يبلغ عدد سكانها حوالي ٦٠ ألف نسمة) في باجا كاليفورنيا ، المكسيك ، تقع على الحدود بين الولايات المتحدة والمكسيك . التقطت بيانات الصور متعددة الأطياف التي استُخلصت منها هذه الصور باستخدام كاميرا رسم الخرائط الرقمية ، وهي مستشعر رقمي متعدد الأطياف محمول جواً من شركة Digital Mapping, Inc. الصور عبارة عن مجموعات فرعية من نفس صورة DMC ، مُصوَّرة بألوان حقيقية (أعلى) وأشعة تحت الحمراء بألوان زائفة (أسفل).

تُرى مدينة تيكاتي الصغيرة بلون رمادي مزرقي في الغالب . المدينة موطن لمصنع بيرة تيكاتي ومنتج رانشو لا بويرتا الصحي والمنتج التاريخي . لاحظ بلدة تيكاتي الصغيرة ، كاليفورنيا ، الواقعة شمال الحدود مباشرةً ، عند منفذ الدخول الدولي . نمط الشوارع منتظم ومستقيم . الغطاء النباتي للمظاهر الطبيعية نادر في الغالب . تظهر المعالم المبنية التالية ضمن صور المجموعة الفرعية الكبيرة الصغيرة الموضحة في صورة المجموعة الفرعية الأكبر.

يسار: استخدام أرض سكنية ريفية متباعدة . يوجد مبنى سكني كبير على طراز المزرعة بجوار مرآب أو موقف سيارات . تحيط بهذه المباني نباتات طبيعية مروية تتكون من مساحات خضراء واسعة وأشجار.

الوسط: استخدام أرض سكنية متعددة العائلات . تحيط بمبانٍ سكنية كبيرة بفناء خرساني تحيط به الأشجار. تظهر أدناه مبانٍ سكنية أصغر لعائلة واحدة.

يمين: استخدام أرض سكنية لعائلة واحدة مع مساكن لذوي الدخل المحدود والمتوسط . السمة الخطية الداكنة ذات الانحناء المستقيم هي سياج الحدود . شوارع الحي جنوب الحدود مُعبَّدة (خرسانية) وغير مُعبَّدة ، بينما طريق إنفاذ أمن الحدود شمال الحدود غير مُعبَّد بالكامل . الغطاء النباتي المرؤى واضح ولكنه ليس منتشرًا في كل مكان.

أجب عن الأسئلة الآتية :

- ما هي الاختلافات الطيفية الإشعاعية الأكثر وضوحًا بين البيئة المبنية والمظاهر الطبيعية الريفية المجاورة؟
- قارن بين صور الأشعة تحت الحمراء بالألوان الحقيقية والأشعة تحت الحمراء بالألوان الزائفة
- (CIR) ما هي الميزات التي يُمكن تمييزها بشكل أفضل في صور الأشعة تحت الحمراء بالألوان الزائفة بدلاً من الصور بالألوان الحقيقية؟
- بالنظر إلى أنواع المباني وشبكة الطرق المُصوَّرة ، ما هي الأنواع الرئيسية لاستخدامات الأراضي الموجودة في هذا المشهد؟
- بناءً على كثافة/نوع المساكن والتوزيع المكاني للغطاء النباتي، ما هي الخصائص الاجتماعية والاقتصادية التي تُمثِّل أفضل وصف لهذه المنطقة الحضرية (مثل: دخل منخفض/مرتفع، منازل عائلية واحدة، إلخ)؟

الملحق 10.1

أجهزة استشعار جوية متطورة

في حين أن كاميرات الأفلام كبيرة الحجم وفرت معظم الصور الجوية لتطبيقات التصوير الفوتوغراممري ونظم المعلومات الجغرافية ، فإن أنظمة التصوير متعدد الأطياف كبيرة الحجم (LFMIS) توفر بديلاً فعالاً من حيث التكلفة لإنتاج صور عالية الدقة والدقة المكانية . يمكن لكاميرات الأفلام كبيرة الحجم توفير تغطية واسعة للمناطق بتفاصيل عالية بتكلفة منخفضة نسبياً ، على الرغم من أن النطاق الإشعاعي أكثر محدودة وجودة الطيف أقل من LFMIS بسبب خصائص الفيلم والمسح.

توفر أنظمة LFMIS صوراً كبيرة الحجم مع مزايا الاستحواذ الرقمي المباشر للصور، والتي تشمل: (1) دقة إشعاعية أعلى؛ (2) انخفاض تكاليف التشغيل لكل إطار/صورة نظراً لعدم الحاجة إلى شراء فيلم أو معالجته أو مسحه؛ (3) تغطية طيفية أكبر مع نطاقات موجية زرقاء وخضراء وحمراء وقريبة من الأشعة تحت الحمراء يتم التقاطها في وقت واحد؛ و(4) تدفقات المعالجة الرقمية المباشرة، والتي قد تشمل استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) ونظام تحديد المواقع العالمي (AINS) والإحالة الجغرافية المباشرة. وقد أدى توافر مصفوفات CCD ذات التنسيق الأكبر، وتقنيات مصفوفات الصور المبتكرة، وسعات الأقراص الصلبة الأكبر، والمعالجة الرقمية الأسرع، إلى زيادة جاذبية التصوير الرقمي كبير التنسيق.

أجهزة الاستشعار الرقمية كبيرة التنسيق هي تلك القادرة على التقاط إطار صورة يحتوي على 36 ميجابكسل على الأقل. تستخدم أنظمة LFMIS كبيرة التنسيق المُنتجة تجارياً إما خطوط الدفع أو مصفوفات الإطارات . وتُعدّ أنظمة ADS40 و DMC و UltraCam X من أكثر الأنظمة شيوعاً في السوق.

تُستخدم معظم أنظمة LFMIS لإنشاء صور عمودية أو خرائط صور، مما يعني تصحيح التشوهات المتعلقة بالمستشعر والتضاريس ، وتوافق الصورة مع نظام إحداثيات الأرض (أي أن وحدات البكسل لها إحداثيات جغرافية). تتراوح الدقة المكانية لهذه الصور المستقيمة عادةً بين 0.1 و 1.0 متر.

تُعد الصور المستقيمة مفيدة جداً في رسم خرائط مباشرة لخصائص سطح الأرض ، بالإضافة إلى استخدامها كخلفية لتحليلات نظم المعلومات الجغرافية . يمكن عرض الصور المستقيمة المشتقة من نظام LFMIS كصور بالأشعة تحت الحمراء أحادية النطاق ، بألوان حقيقية ، أو بألوان زائفة.

الشكل المرتبط بالتمرين 10.2 هو مثال على صورة LFMIS التُقطت بواسطة مستشعر DMC على متن طائرة ثابتة الجناحين ، وتُعرض بتنسيق الأشعة تحت الحمراء بألوان زائفة.

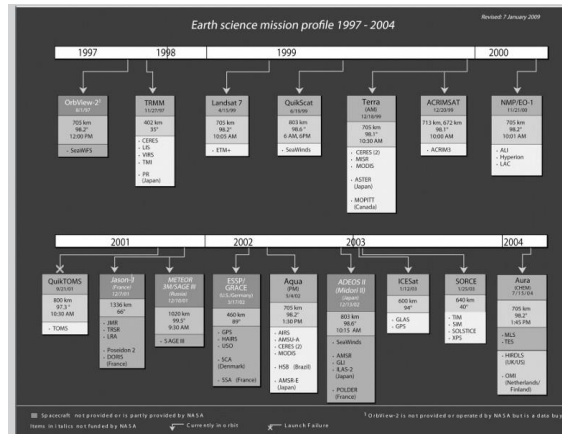


Figure 10.1 NASA's Earth Observing System mission profiles (1997-2004) http://eospsa.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/docs/mission_profile.pdf

الملحق ١٠,٢

نظام رصد الأرض التابع لوكالة ناسا

في أوائل ثمانينيات القرن الماضي ، أطلق علماء ومديرو الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء الأمريكية (ناسا) نظامًا شاملاً لرصد الأرض ، يُسمى "مهمة إلى كوكب الأرض" ، والذي اعتمد بشكل أساسي على أجهزة استشعار الأقمار الصناعية ومراكز الاستقبال والمعالجة الأرضية . وفي أوائل التسعينيات ، أنشأت ناسا مشروع علوم الأرض (ESE) ، وهو برنامج شامل لدراسة الأرض كنظام بيئي . يتكون مشروع علوم الأرض من ثلاثة مكونات رئيسية :

- (١) سلسلة من أقمار رصد الأرض تُسمى نظام رصد الأرض (EOS) ؛
 - (٢) نظام بيانات متقدم يُسمى نظام بيانات ومعلومات نظام رصد الأرض (EOSDIS) ؛ و
 - (٣) فرق من العلماء الذين يُعالجون بيانات نظام رصد الأرض ويدرسونها ويجمعونها.
- تألفت المرحلة الأولى من مشروع علوم الأرض من مهمات مُركزة للأقمار الصناعية ومكونات الفضاء، وحملات جوية وبرية . بدأت المرحلة الثانية في ديسمبر 1999 بإطلاق أول قمر صناعي تابع لبرنامج EOS ، وهو Terra المعروف سابقًا باسم (AM-1) وقد أُطلقت ، وسيُطلق لاحقًا، سلسلة منسقة من الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات قطبية واستوائية لتوفير رصدات عالمية طويلة المدى لسطح الأرض، والمحيط الحيوي، والأرض الصلبة، والغلاف الجوي، والمحيطات (ينظر الشكل 10.1

http://eospsso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/index.php