الجزء الرابع

تقنيات التحليل المكاني

نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد ومشكلة التغير البيئي

روي هاينز-يونغ

الفصل 40 من كتاب

الجغرافيا التطبيقية : المبادئ والممارسة

أ. م. مانيون

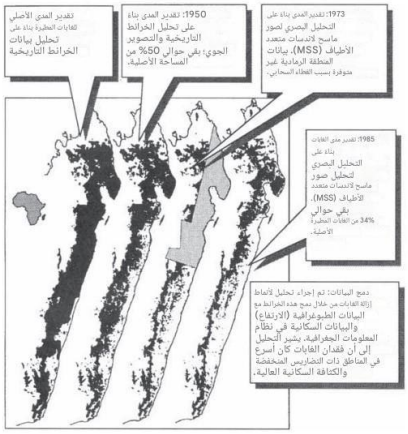
ترجمة بتصرف

أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

لا مفرّ للإنسان من تغيير بيئته. إنها سمة مشتركة بيننا وبين جميع الكائنات الأخرى . يحدث التغيير لأننا نحتاج إلى اكتساب الطاقة والمواد اللازمة للعيش ، وهذه الأنشطة لها عواقب حتمية على البيئة. إلا أن ما يميزنا عن جميع الكائنات الحية الأخرى هو نطاق وسرعة التغيرات التي أحدثناها . هناك أماكن قليلة على الأرض اليوم لا تحمل أي أثر للنشاط البشري . ويمكننا الآن رؤية آثار أنماط الحياة الحديثة من خلال التغيرات البيئية الجارية على المستويات المحلية والوطنية والعالمية . وقد حفّز الاهتمام بتأثيرات الإنسان على البيئة قدرًا كبيرًا من العمل العلمي الهادف إلى فهم طبيعة التغير البيئي وعواقبه وما يجب القيام به لتجنب أسوأ آثاره.

في هذا الفصل ، سنتناول بعض التقنيات الحاسوبية المهمة التي استُخدمت في هذا العمل . هدفنا هو دراسة كيفية استخدام هذه التكنولوجيا لرصد التغير البيئي ومساعدتنا في تطوير استراتيجيات إدارة مناسبة للمستقبل . التقنيات التي سنتناولها هي أنظمة المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد . نحتاج إلى فهم هذه التقنيات لأنها أصبحت أدوات مهمة يمكن للجغرافيين وغيرهم من العلماء استخدامها لتطبيق معارفهم على العديد من المشكلات البيئية التي تواجه المجتمعات الحديثة . يوضح الشكل 40.1 ، على سبيل المثال ، تاريخ إزالة الغابات الحديث في مدغشقر . من المهم فهم هذه الأنواع من التغيرات ، لأن الغابات الاستوائية في العالم تُعد موارد بحد ذاتها ، وبسبب التأثير واسع النطاق الذي قد تُحدثه هذه التغيرات على المناخ العالمي من خلال إطلاق الكربون المُخزن في هذه النظم البيئية في الغلاف الجوي .



الشكل 40.1 رسم خرائط لفقدان الغابات المطيرة الاستوائية في مدغشقر.

المصدر: جرين وسوسمان 1990

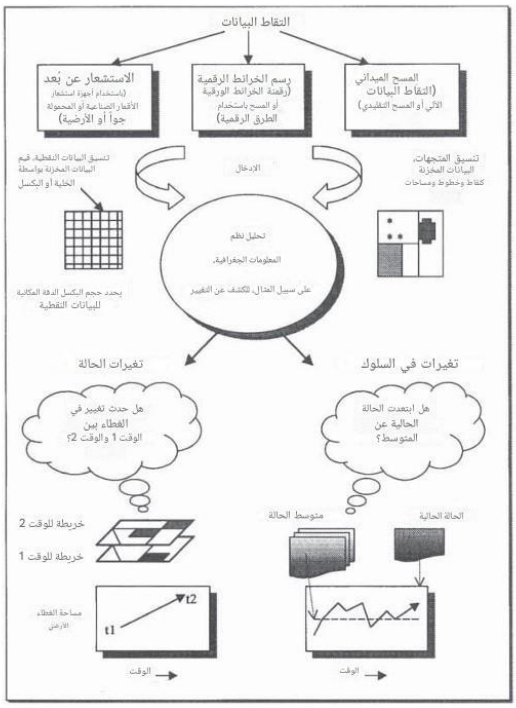
يوضح الشكل 40.2 بيانات من بيئة مختلفة تمامًا ، وهي بيئة آسيا الوسطى . هذه الخريطة مستمدة من دراسة سعت إلى رصد الغطاء الأرضي في وقت شهد تغيرًا في حيازة الأراضي وأنماط الرعي في بعض المناطق . دراستا الحالة هاتان ليستا سوى مثالين على علماء يستخدمون بيانات الخرائط لفهم طبيعة التغير البيئي . في هذا الفصل ، سنتناول بعض القضايا التقنية والعلمية التي تكمن وراء هذا العمل . من الواضح أن جمع بيانات مثل تلك الموضحة في الشكلين 40.1 و40.2 عن طريق المسح الأرضي ورسمها يدويًا سيكون مهمة صعبة وتستغرق وقتًا طويلاً .

الشكل 40.2 تغير الغطاء الأرضي في آسيا الوسطى.

المصدر: بيانات NOAA AVHRR لحساب مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي بواسطة مارك تشوبينج؛ بيانات GLASOD من ISREC، عبر برنامج الأمم المتحدة للبيئة؛ خريطة أساسية من ESRI، تم إنشاؤها باستخدام مرفق خريطة العالم الأساسية عبر الإنترنت

لحسن الحظ ، لدينا الآن إمكانية الوصول إلى أدوات حاسوبية يمكنها المساعدة في تسريع العملية . من ناحية ، لدينا إمكانية الوصول إلى أنظمة الاستشعار عن بُعد عبر الأقمار الصناعية والمحمولة جوًا والتي يمكنها أتمتة جمع البيانات حول سطح الأرض . من ناحية أخرى ، لدينا أنظمة حاسوبية متاحة ، في شكل نظم المعلومات الجغرافية ، يمكنها تخزين وتحليل وعرض هذه البيانات ، وربطها بمصادر معلومات أخرى . يوضح الشكل 40.3 العلاقات بين عمليات التقاط البيانات ومعالجة البيانات ، تحليلٌ أكثر تفصيلًا. يُمثل هذا الرسم البياني الإطار الذي يُبنى عليه بقية هذا الفصل . سنُبيّن كيف يُمكن لأنظمة الاستشعار عن بُعد أن تُساعدنا في الحصول على معلومات حول سطح الأرض وكيفية تغيره . كما سنرى كيف يُمكن ربط هذه البيانات بمعلومات أخرى في نظام المعلومات الجغرافية لفهم ما يحدث ولتطوير استراتيجيات إدارة سليمة . وقد سلّط هينتون (1998) الضوء مؤخرًا على أهمية التكامل الوثيق بين تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم

المعلومات الجغرافية. ينبغي النظر فيما إذا كان التغيير يُقاس من حيث تغير بسيط في حالة النظام، أم أنه يُمثل تحولًا أكثر تعقيدًا في سلوك أو ديناميكيات النظام بمرور الوقت.



الشكل 40.3 التقاط البيانات وتحليلها: استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لفهم التغير البيئي

وضع العالم في حاسوب

بالتزامن مع وصف كيفية استخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية لرصد وفهم التغير البيئي ، يتناول هذا الفصل أيضًا بعض المفاهيم العلمية الأساسية التي تُشكل أساس دراسة التغير البيئي . نحتاج ، على سبيل المثال ، إلى النظر في فكرة وضع خط أساس يُمكننا من خلاله الحكم على التغيرات التي تحدث في نظام بيئي (الشكل 40.3) . كما أننا إذا اعتبرنا نظام المعلومات الجغرافية نظامًا حاسوبيًا يُمكن استخدامه لتخزين وتحليل وعرض البيانات المكانية أو الجغرافية (بورو وماكدونيل 1998؛ كريسمان 1996) ، فمن الواضح أن الخطوة الأولى في إنشاء مثل هذا النظام هي الحصول على المعلومات التي نحتاجها أو التقاطها .

تتضمن عملية التقاط البيانات جمع أو تحويل البيانات إلى صيغة رقمية قابلة للقراءة آليًا . لا يُمكننا وصف جميع مصادر البيانات الرقمية التي يُمكن استخدامها في نظام المعلومات الجغرافية للدراسة التغير البيئي . ومع ذلك ، من المفيد تسليط الضوء على ثلاثة أنواع عامة ، وهي :

- صور الاستشعار عن بُعد؛
- الخرائط الرقمية؛ و
- البيانات الرقمية المُجمعة ميدانيًا.

سنتناول كلًا منها على حدة . الطاقة الكهرومغناطيسية التي يعكسها أو ينقلها الهدف ، هذه العملية "بعيدة" بمعنى أننا لسنا بحاجة إلى الاتصال جسديًا بالهدف لمعرفة المزيد عنه . في الواقع ، مع أنظمة الأقمار

الصناعية ، يمكن أن يكون المستشعر على بُعد مئات الكيلومترات من الهدف . تتوفر أنواع عديدة ومختلفة من المستشعرات.

الاستشعار عن بُعد

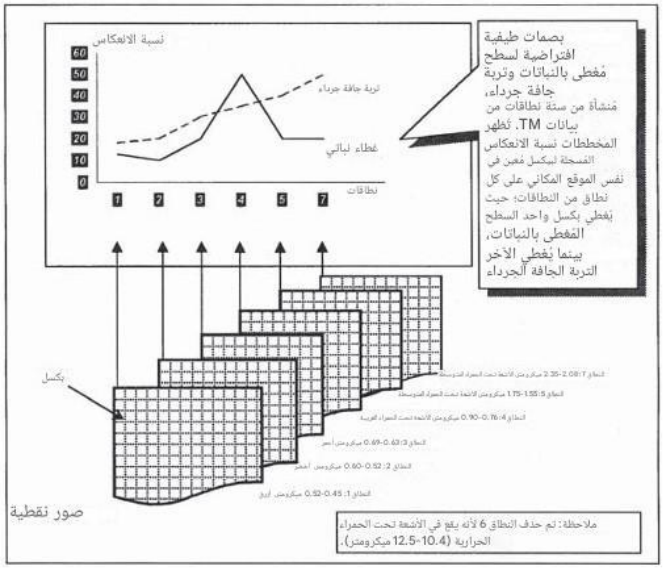
يمكن توضيح قيمة صور الاستشعار عن بُعد من خلال دراسة كيفية استخدام بيانات الأقمار الصناعية لرسم خرائط للغطاء الأرضي . يُعرَّف الاستشعار عن بُعد بأنه عملية الحصول على معلومات حول جسم ما باستخدام أجهزة الاستشعار. وتتراوح هذه الأجهزة بين أجهزة أرضية محمولة على أبراج أو منصات مرتفعة ، وأنظمة محمولة على متن طائرات أو أقمار صناعية . يمكن الاطلاع على مقدمة لأنواع أجهزة الاستشعار المختلفة في ليليساند وكيفر (1994) . في هذا الفصل ، سيتم توضيح إمكانات الاستشعار عن بُعد من خلال الإشارة إلى الأنظمة المحمولة على بعض أنظمة رصد الأرض الحالية . الأقمار الصناعية، وهي Landsat Thematic Mapper (TM)، وSPOT، و.AVHRR .

عندما تصل طاقة الشمس إلى سطح الأرض ، تنعكس جزئيًا إلى الفضاء . يمكن الكشف عن هذا الإشعاع المنعكس باستخدام مستشعر بصري ، ويُستخدم لتوصيف طبيعة السطح العاكس . على سبيل المثال ، يستطيع مستشعر TM الكشف عن هذا الإشعاع المنعكس في سبعة أجزاء مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي . تُسمى هذه النطاقات الطيفية أو القنوات التي يُنتج المستشعر البيانات من خلالها ؛ ثلاثة منها في المجال المرئي ، واثنان في المجال تحت الأحمر القريب ، وواحد في المجال الحراري من الطيف (الشكل 40.3: التقاط البيانات وتحليلها: استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد لفهم التغير البيئي).

على النقيض من ذلك ، يُسجل SPOT-3 معلومات لثلاثة أجزاء فقط من الطيف ، بينما يُسجل أحدث قمر صناعي في سلسلة SPOT أربعة أجزاء . عندما تمر المستشعرات عبر منطقة ما ، فإنها تسجل الإشعاع المنعكس في كل نطاق لرقعة صغيرة ، أو بكسل ، على الأرض . يعتمد حجم البكسل على كل من تصميم المستشعر وارتفاعه . بالنسبة لـ TM ، يعادل حجم البكسل مساحة حوالي 30 × 30 مترًا على الأرض . على النقيض من ذلك ، يتمتع SPOT بدقة مكانية تتراوح بين 10 و20 مترًا ، حسب القناة . وبالتالي ، تتكون الصورة الكاملة من عدد كبير من البكسلات ، ولكل منها لدينا معلومات حول شدة الإشعاع المنعكس من سطح الأرض لكل نطاق طيفي سجله المستشعر . تُعرف هذه الطريقة لتخزين المعلومات باسم تنسيق البيانات النقطية .

تختلف أنواع الغطاء الأرضي المختلفة في قدرتها على عكس إشعاع الشمس الساقط في أجزاء مختلفة من الطيف . على سبيل المثال ، يعكس الغطاء النباتي بقوة في الجزء الأخضر من الطيف وفي الأشعة تحت الحمراء القريبة . على النقيض من ذلك ، لا تُظهر التربة الجافة العارية ذروة في الأشعة تحت الحمراء الخضراء أو القريبة . لذلك ، يمكننا استخدام المعلومات المسجلة على النطاقات الطيفية لجهاز المسح الطيفي (TM)أو جهاز المسح الطيفي(SPOT) ، على سبيل المثال ، لتحديد أنواع مختلفة من الغطاء الأرضي وفقًا لبصماتها الطيفية (الشكل 40.4).

إن أبسط طريقة لاستخدام بيانات جهاز المسح الطيفي (TM) أو جهاز المسح الطيفي (SPOT) لتصنيف الغطاء الأرضي هي تفسير الصور بصريًا . كانت هذه هي الطريقة المُستخدمة في برنامج CORINE، الذي استخدم بيانات SPOT لتصنيف الغطاء الأرضي في مختلف الدول الأوروبية (مثل Cruickshank : و1996 Tomlinson؛1998 EEA ؛ وانظر موقع CORINE الإلكتروني) .



الشكل 40.4 البصمات الطيفية

في حالة خريطة الغطاء الأرضي لبريطانيا العظمى (LCMGB) ، استُخدمت إجراءات حاسوبية آلية ، بتباين البصمات الطيفية ، لتصنيف صور TM (Fuller et al. 1994) (أ، ب). يُدرَّب الحاسوب باستخدام مناطق يُعرف نوع غطائها . ثم تعثر الإجراءات على جميع المناطق الأخرى في الصورة ذات الخصائص الطيفية المتشابهة . لتحسين دقة التصنيف ، استُخدم نهج متعدد الأزمنة للتصنيف يجمع بين صور الشتاء والصيف . ستتغير البصمات الطيفية للأسطح النباتية بطرق مختلفة على مدار موسم النمو . لإنتاج خريطة الغطاء الأرضي المتغير(LCMGB) ، يُمكن استخدام هذه الخاصية لتحسين قدرة إجراءات التصنيف المُستخدمة للتمييز بين أنواع الغطاء المختلفة . يُمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات العامة حول أساليب معالجة الصور في ماثر (1999) .

يمكن استخدام خرائط الغطاء الأرضي ، كتلك الموضحة أعلاه ، كبيانات أساسية يُمكن قياس التغيير بناءً عليها . على سبيل المثال ، استُخدمت بيانات CORINE على نطاق واسع في أوروبا لرسم خرائط لتغير الغطاء الأرضي وعواقبه البيئية (ينظر موقع CORINE الإلكتروني) . شكّلت خريطة الغطاء الأرضي المتغير (LCMGB) جزءًا من مسح الريف لعام 1990 (بار وآخرون، 1993) ، والذي كان بحد ذاته مسحًا أساسيًا رئيسيًا للولاية ، للريف الأوسع في بريطانيا العظمى (انظر أدناه) . يُظهر إنتاج خرائط الغطاء الأرضي من صور الأقمار الصناعية بعضًا من الإمكانات التي يتمتع بها الاستشعار عن بُعد للمهتمين بمراقبة البيئة . ومع ذلك ، يجب أن نتذكر أن هناك أنواعًا أكثر بكثير من أجهزة الاستشعار غير لاندسات أو سبوت . استخدمت دراسة الحالة الموضحة في الشكل 40.2 بيانات من مستشعرAVHRR ، والذي يختلف في طبيعته عن لاندسات وسبوت . يُحمل مستشعر AVHRR بواسطة أقمار صناعية بيئية مدارية قطبية (POES) تابعة للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) ، وتتوفر الصور لجميع المناطق يوميًا .

على النقيض من ذلك ، على الرغم من أن لاندسات وسبوت يدوران أيضًا في مدار قطبي ، إلا أنهما يمران فوق المكان على الأرض نفسه بشكل أقل تواترًا . على سبيل المثال ، لكل من لاندسات 4 و5 دورة تكرار مدتها 16 يومًا ، ولكن نظرًا لأن مداراتهما غير متزامنة ، يمكن الحصول على بيانات للمنطقة نفسها مرة واحدة كل ثمانية أيام . من المرجح أن يستمر هذا المعدل من الاستحواذ مع الإطلاق الأخير للقمر

الصناعي .Landsat 7 يتميز SPOT أيضًا بدورة تكرار مدتها ستة وعشرون يومًا ، ولكن نظرًا لسهولة توجيه المستشعر، فقد تتوفر بيانات منطقة معينة بشكل أكثر تكرارًا . وبالتالي ، من حيث التردد الذي يمكن به التقاط صور لمنطقة ما ، يُقال إن مستشعر AVHRR يتمتع بدقة زمنية أعلى من أيٍّ من SPOT أو .Landsat ومع ذلك ، تتميز بيانات AVHRR بدقة مكانية وطيفية أقل دقة بكثير من هذه الأنظمة الأخرى ؛ على سبيل المثال ، يبلغ حجم كل بكسل في صورة AVHRR المستخدم في الشكل 40.2 8×8 كم . علاوة على ذلك ، يسجل مستشعر AVHRR الإشعاع المنعكس في جزأين فقط من الطيف الكهرومغناطيسي ، مقارنةً بسبعة أجزاء منLandsat ، أو ثلاثة أو أربعة أجزاء من .SPOT

عند النظر في كيفية استخدام صور الاستشعار عن بُعد لرصد وتحليل التغير البيئي ، من المهم تذكّر أن أنواعًا مختلفة من أجهزة الاستشعار تناسب مختلف التطبيقات . علاوة على ذلك ، وكما توضح دراسة الحالة من مدغشقر، من المهم إيجاد طرق لدمج هذه الصور مع مصادر أخرى لبيانات الأرشيف لدراسة التغير طويل الأمد . وبالنظر إلى المستقبل ، يتضح جليًا توافر مجموعة متزايدة من أجهزة الاستشعار الفضائية والجوية ، ويتمثل التحدي في استخدام هذه المصادر الجديدة للبيانات لقياس مجموعة من المعايير البيئية . ويرد في الجدول 40.1 ملخص لبعض أنواع البيانات التي سينتجها الجيل القادم من أقمار رصد الأرض التي تُعد جزءًا من برنامج EOS التابع لوكالة ناسا . يمكن الاطلاع على معلومات حول البعثات الأوروبية واليابانية المستقبلية في نهاية الفصل .

الجدول 40.1 ملخص لبعض أنواع البيانات التي ستكون متاحة كجزء من نظام رصد الأرض (EOS) التابع لوكالة ناسا.

TRMM	مهمة قياس هطول الأمطار الاستوائية (TRMM) هي مهمة مشتركة بين وكالة الفضاء الوطنية الأمريكية (NSASA) والوكالة الوطنية لتطوير الفضاء (NASDA) في اليابان، مصممة لمراقبة ودراسة هطول الأمطار الاستوائية وما يرتبط به من إطلاق للطاقة التي تساعد في تشغيل الدورة الجوية العالمية التي تشكل كلاً من الطقس والمناخ حول العالم.
EOS	يُعد القمر الصناعي EOS AM-1 القمر الرائد في نظام EOS. سيوفر بيانات عالمية عن حالة الغلاف الجوي والأرض والمحيطات، بالإضافة إلى تفاعلاتها مع الإشعاع الشمسي ومع بعضها البعض.
Landsat-7AM	يُعد برنامج Landsat أقدم مشروع لالتقاط صور للأرض من الفضاء. تم إطلاق أول قمر صناعي Landsat في عام 1972. ومن المقرر إطلاق القمر الصناعي التالي في السلسلة، Landsat-7, في أواخر عام 1998.
SAGE III	تهدف مهمة SAGE-III إلى تعزيز فهمنا للعمليات الجوية الطبيعية والبشرية من خلال توفير قياسات دقيقة طويلة المدى للهيكل الرأسي للهباء الجوي والأوزون وبخار الماء والغازات النزرة المهمة الأخرى في طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير العلويتين.
EOS PM	يركز القمر الصناعي EOS PM على الدراسة متعددة التخصصات للعمليات المترابطة للأرض (الغلاف الجوي والمحيطات وسطح الأرض) وعلاقتها بتغيرات نظام الأرض.
ICESat	ICESat هي مهمة قمر صناعي صغيرة لإطلاق نظام قياس الارتفاع بالليزر لعلوم الأرض (GLAS) في مدار قريب من القطب في عام 2001. سيقيس GLAS بدقة ارتفاع الصفائح الجليدية والسحب والأرض على الأرض.
كيمياء EOS:	سيركز القمر الصناعي EOS CHEM-1 على قياسات الغازات النزرة في الغلاف الجوي وتحولاتها. يمكن العثور على أجهزة CHEM-1 والحقائق الأخرى وأهداف المهمة من خلال الوصول إلى هذا الرابط.
ACRIM	تهدف مهمة SAGE III إلى تعزيز فهمنا للعمليات الجوية الطبيعية والبشرية من خلال توفير قياسات دقيقة طويلة المدى للهيكل الرأسي للهباء الجوي والأوزون وبخار الماء والغازات النزرة المهمة الأخرى في طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير العلويتين.

المصدر: http://eospso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/missions.html
ملاحظة: انظر أيضًا الصفحات الرئيسية لـ EIOS وENVISAT

الخرائط الرقمية

على الرغم من أن أنظمة الاستشعار عن بُعد تُعد مصادر مهمة للمعلومات حول البيئة ، إلا أنها ليست المصادر الوحيدة . غالبًا ما تتطلب مشاكل رصد وتحليل التغير البيئي معلومات من مصادر متنوعة لتكوين صورة كاملة عنه . قد نحتاج ، على سبيل المثال ، إلى معلومات حول التربة ، والارتفاع ، والحدود الإدارية ، والسكان ، وما إلى ذلك . وتتضح الحاجة إلى دمج العديد من مصادر البيانات في نظام المعلومات الجغرافية بوضوح من خلال دراسة الحالة الخاصة بمدغشقر (الشكل 40.1). وتوضح هذه الدراسات أهمية وجود مصدر بيانات رئيسي ثانٍ لنظام المعلومات الجغرافية ، ألا وهو "الخرائط الرقمية" ، وهي خرائط يمكن قراءتها ومعالجتها بواسطة الحاسوب .

في دراسة مدغشقر ، استخدم غرين وسوسمان (1990) خرائط رقمية للسكان والارتفاع لدراسة بعض العوامل المؤثرة على معدل فقدان الغابات المطيرة . وعلى الرغم من إمكانية مسح الخرائط وتحويلها إلى صور نقطية ، مثل بيانات الاستشعار عن بُعد ، إلا أنه يمكن أيضًا حفظ المعلومات المحفوظة على الخرائط الرقمية بتنسيق متجه . باستخدام هذا التنسيق ، يمكن تمثيل كل كائن على الخريطة كنقطة أو خط أو مضلع (أو معلم مساحة) . تُخزَّن المعلومات المتعلقة بالموقع المكاني لهذه المعالم كمجموعة من الإحداثيات ، وتُسجَّل خصائصها كمجموعة من السمات. الخرائط الممسوحة ضوئيًا بتقنية المسح النقطي ليست أكثر من مجرد صور ، تُستخدم غالبًا كخلفية لعرض بيانات أخرى بدلًا من تحليلها . على النقيض من ذلك ، يمكن استخدام بيانات المتجهات بطرق أكثر مرونة ، حيث يمكن جعل الخطوط والنقاط والمساحات تتوافق مع كائنات حقيقية على الأرض .

تُنتج معظم وكالات رسم الخرائط الحديثة الآن خرائط رقمية . يُمكن الاطلاع على أنواع المنتجات المتاحة بزيارة ، على سبيل المثال ، الموقع الإلكتروني لهيئة المساحة البريطانية العظمى (ينظر قسم المصادر الإضافية أدناه) . في الماضي ، كانت تُنتج هذه الخرائط بتحويل الخرائط الورقية إلى صيغ قابلة للقراءة آليًا . أما اليوم ، فقد أتاحت تقنيات المسح الحديثة جمع المعلومات مباشرةً بصيغة رقمية واستخدامها لإنشاء قاعدة بيانات حاسوبية تُشتق منها منتجات خرائط متنوعة . بالإضافة إلى الخرائط الرقمية التي تُنتجها وكالات رسم الخرائط الوطنية ، تتوفر أيضًا مجموعة من المنتجات الأكثر تخصصًا .

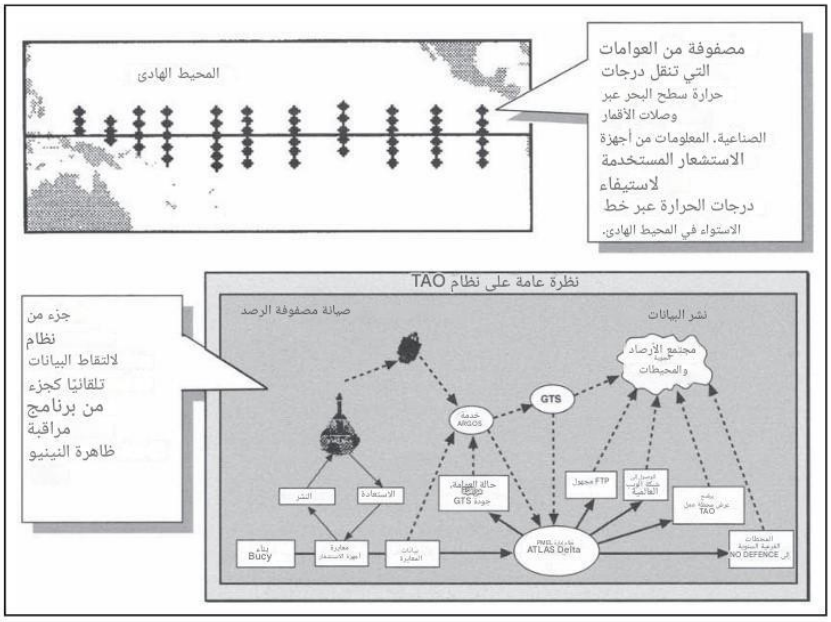
في بريطانيا ، على سبيل المثال ، يُمكننا الحصول على معلومات عن التربة من مركز مسح التربة وأبحاث الأراضي ، والمعلومات الجيولوجية من هيئة المسح الجيولوجي البريطانية ، وبيانات سجلات الأنواع من مركز السجلات البيولوجية . وقد قدّم هاينز-يونغ وواتكينز (1996) مراجعة لموارد بيانات المناطق الريفية في المملكة المتحدة . على المستوى الدولي ، يمكن الحصول على بيانات بيئية مرجعية مكانيًا برعاية برنامج الأمم المتحدة للبيئة .(UNEP-GRID) كما ترد عناوين مواقع هذه المنظمات في نهاية هذا الفصل.

أتمتة التقاط البيانات ميدانيًا

تُستخدم حاليًا تقنيات آلية لالتقاط البيانات ميدانيًا على نطاق واسع . على سبيل المثال ، يمكن إجراء قياسات هيدرولوجية أو مناخية بشكل مستمر، وإرسال البيانات إلى المختبر أو محطة القاعدة . ويمكن إدخال هذه البيانات مباشرةً في نظام معلومات جغرافية (GIS) والمعلومات المستخدمة لرصد حالة البيئة للإنذار المبكر بالظواهر الجوية المتطرفة وغيرها من المخاط ر. يوضح الشكل 40.5 جزءًا من النظام المُعدّ لرصد تذبذب النينيو . يتكون النظام من مجموعة من العوامات التي تسجل التغيرات في درجات حرارة البحر عبر المحيط الهادئ . تُنقل هذه المعلومات عبر وصلة أقمار صناعية إلى مركز الرصد للمعالجة . وكما سنرى لاحقًا ، تُستخدم هذه المعلومات لرصد ديناميكيات نظام الغلاف الجوي والمحيط في المنطقة، وللإنذار بحدوث

ظاهرة النينيو. ومن التطورات الحديثة المهمة بشكل خاص في مجال التقاط البيانات الآلي استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من Navstar لتسجيل الموقع المكاني للأجسام (ينظر المعلومات الإضافية) .

الشكل 40.5: مصفوفة من العوامات المستخدمة لمراقبة درجات حرارة البحر عبر المحيط الهادئ.



المصدر: مشروع TAO. شكر وتقدير لمكتب مشروع TAO، المدير الدكتور مايكل جيه. ماكفادين

يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من مجموعة من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض . تبث هذه الأقمار الصناعية إشارات لاسلكية يمكن التقاطها بواسطة أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على الأرض ، وتُستخدم المعلومات لتحديد موقع جهاز الاستقبال بدقة تصل إلى بضعة ملليمترات ، وذلك حسب المعدات والأساليب المستخدمة . يُحدد الموقع باستخدام معلومات من ثلاثة أقمار صناعية أو أكثر لتحديد موقع جهاز الاستقبال . عادةً ما يُخزن الباحث الميداني معلومات الموقع باستخدام مسجل بيانات صغير، ثم تُحمّل المعلومات لاحقًا إلى قاعدة بيانات في المختبر . لا يُتيح توافر نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) تسجيل معلومات المسح بدقة أكبر فحسب ، بل يُتيح أيضًا ميدانيًا ، ولكنه يُمكنه أيضًا تسريع جمع البيانات ، لأن المساحين لا يحتاجون إلى تحديد مواقعهم على الخريطة ، وهو أمر قد يكون صعبًا في المناطق التي لا توجد بها معالم واضحة . علاوة على ذلك ، يُمكن أن يُساعد نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) في نقل نقاط العينة بسرعة ودقة لإعادة المسح . كما تُتيح القدرة على تسجيل معلومات الموقع بسرعة دراسة أنظمة وعمليات أكثر ديناميكية . وقد استُخدمت تقنيات تتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) في مجموعة واسعة من دراسات الحياة البرية ، على سبيل المثال لمتابعة حركة الكائنات الحية (مثل موين وآخرون، 1996).

فهم عوالمنا الحاسوبية

في الجزء الأول من هذا الفصل ، تناولنا بعض القضايا المتعلقة بجمع المعلومات التي نحتاجها لإعداد نظام المعلومات الجغرافية .(GIS) يجب أن نفكر الآن في كيفية مساعدة نظام المعلومات الجغرافية (GIS) لنا في تحليل هذه البيانات لفهم كيفية تغير البيئة ، والأهمية التي قد نوليها لهذه التغييرات . سنستخدم الإطار

الموضح في الشكل 40.3 كأساس لمناقشتنا . من ناحية ، سننظر في الدراسات التي استُخدمت فيها نظم المعلومات الجغرافية لوضع خط أساس يُمكن من خلاله قياس التغيرات في الحالة العامة للبيئة . من ناحية أخرى ، سننظر في الوضع الأكثر تعقيدًا ، عندما نحتاج إلى النظر فيما إذا كان السلوك الديناميكي للنظام نفسه هو الذي تغير للأفضل أم للأسوأ . في كلتا الحالتين ، ننظر في مشكلة اكتشاف التغيير.

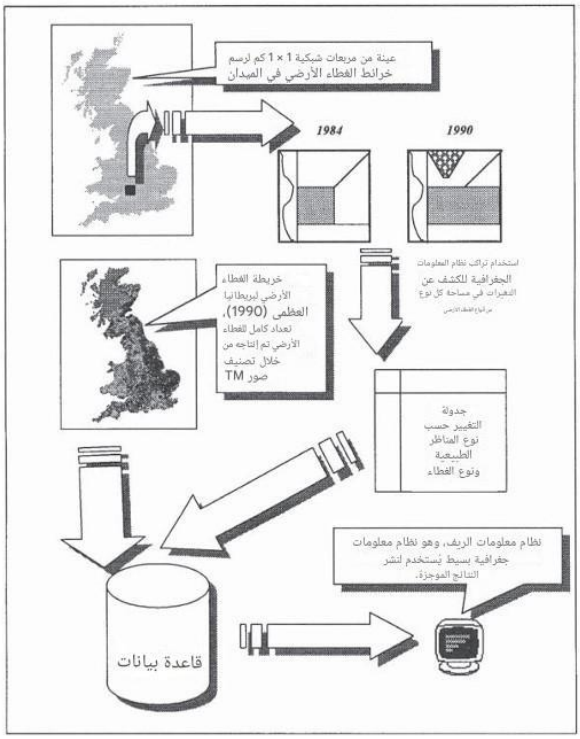
اكتشاف التغيرات في الحالة

من أسهل طرق اكتشاف التغيير هي فيما يتعلق بخط أساس أو مجموعة أولية من الظروف . يُستخدم خط الأساس كمرجع (أو عنصر تحكم) يُمكن من خلاله الحكم على الاختلافات في حالة البيئة . على الرغم من أننا قد نُدرك أنه لا يوجد "صفر زمني" أو نقطة بداية ، إلا أنه غالبًا ما يُمكن الاتفاق على أن حالة البيئة في لحظة أو فترة زمنية مُعينة ستُمثل مرجعًا يُمكن من خلاله قياس أي تغيير إضافي . بهذه الطريقة ، يمكن إنشاء أنظمة رصد مناسبة .

تُقدم المسوحات المختلفة التي أجراها معهد علم البيئة الأرضية (ITE) في المملكة المتحدة مثالاً على عمل يوضح كيفية استخدام كلٍّ من نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد لإنشاء خط أساس واكتشاف التغيير . على سبيل المثال ، كان مسح الريف لعام 1990 (CS1990) برنامج عمل موسعًا ومُحسّنًا استند إلى مسحين سابقين أُجريا عامي 1978 و1984 .(Barr et al. 1993) وقد وفرت هذه الدراسات مجتمعةً معلومات عن مخزون وتغير الغطاء الأرضي الريفي في بريطانيا العظمى ، بالإضافة إلى بيانات عن التغيرات في وفرة الأنواع النباتية الأكثر شيوعًا التي تُميز الريف الأوسع . كما وضع مسح عام 1990 خط أساس لرصد الكائنات الحية في المياه العذبة في المناطق الريفية .

استُخدم نظام المعلومات الجغرافية كأداة أساسية لتخزين بيانات مسوحات الريف ودمجها وتحليلها (الشكل 40.6). شمل عنصر المسح الميداني في CS1990 رسم خرائط للغطاء الأرضي ، وطبيعة وحالة معالم المظاهر الطبيعية الخطية ، ووفرة أنواع النباتات الأرضية في عينة من مربعات شبكية بمساحة 1×1 كم من الشبكة الوطنية لهيئة المساحة . صُنفت العينة حسب نوع المظاهر الطبيعية الرئيسية ، بحيث يمكن إجراء تقديرات وطنية لكل معلمة مسجلة . من بين 508 مربعات خضعت للمسح عام 1990، تم مسح 256 مربعًا في عامي 1984 و1978 ، مما أتاح تحديد التغيير . استُخدم نظام المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة أساسية لهذا التحليل .

على سبيل المثال ، قورنت الخرائط الميدانية لعامي 1984 و1990 باستخدام إجراءات التراكب داخل نظام المعلومات الجغرافية . وبالتالي ، أمكن تحديد الاختلافات في مساحة كل نوع من أنواع الغطاء الأرضي ، أو حساب الاختلافات في طول المعالم الخطية مثل صفوف الشجيرات أو الجدران . لأغراض النشر ، أُنشئت البيانات الموجزة المستمدة من مسح CS1990 على نظام معلومات جغرافية بسيط ، يُعرف باسم نظام معلومات الريف (هاينز يونغ وآخرون، 1994). ونظرًا لأن مسح عام 1990 كان أكثر شمولاً من المسوحات السابقة ، فقد عد مسح CS1990 بمثابة خط الأساس الذي يُحسب على أساسه التغيير السابق.



الشكل 40.6: دمج وتحليل بيانات مسح الريف.

صُممت هذه الخريطة أيضًا كخط أساس لرصد التغيرات المستقبلية . سيتم الإعلان عن نتائج المسح الريفي التالي حوالي عام 2000؛ والعمل جارٍ بالفعل ، ويمكنك الاطلاع على التحديثات بزيارة موقع ITE الإلكتروني الموضح في قسم مصادر المعلومات الإضافية في نهاية هذا الفص ل. بالإضافة إلى عنصر المسح الميداني فيCS1990 ، استُخدمت بيانات الأقمار الصناعية المستشعرة عن بُعد لإجراء تعداد كامل للغطاء الأرضي في بريطانيا العظمى . وكان ناتج هذا العنصر من CS1990 هوLCMGB ، الذي ناقشناه أعلاه . وصف هوارد وآخرون (1996) بعض الأفكار وراء ربط هذه البيانات ببيانات المسح الميداني.

ونظرًا لعدم توفر صور سابقة ، عدت هذه الخريطة جزءًا من خط الأساس لعام 1990 الذي يمكن من خلاله تحديد التغيرات المستقبلية . ومع ذلك ، من المخطط أيضًا إجراء تعداد كامل للغطاء الأرضي باستخدام صور الاستشعار عن بُعد كجزء من مسح الريف لعام 2000 ، وبالتالي قد يُستخدم في المستقبل لمساعدتنا على فهم أماكن حدوث التغيرات في الغطاء الأرضي داخل الريف البريطاني . يُعد تراكب الخرائط تقنية بسيطة وفعالة للكشف عن التغيرات ، ويمكن استخدامها ضمن نظام المعلومات الجغرافية . وهي سهلة الاستخدام ، على سبيل المثال ، باستخدام نوع بيانات المتجهات المُنتجة بواسطة تقنيات المسح الميداني المستخدمة في مسح الريف لعام 1990. كما يمكن إجراء مقارنة بين البيانات النقطية المصنفة المُستشعرة عن بُعد باستخدام نوع التراكب .

ومع ذلك ، فإن تحليل بيانات الأقمار الصناعية لتحديد التغير قد يكون أكثر تعقيدًا . وقد قدّم جونسون وكاسيشكي (1998) مؤخرًا لمحة عامة عن المشكلة . ويقترحان أنه يمكن التعامل مع كشف التغير باستخدام صور الاستشعار عن بُعد بطريقتين عامتين . يعتمد النهج الأول الذي حدده جونسون وكاسيشكي على إجراء تصنيف طيفي للصور إما بشكل منفصل لفترات زمنية مختلفة أو من خلال دمج صور البيانات المتعددة لتحديد مناطق التغير . وفي المستقبل ، من المرجح تطوير أساليب تصنيف أكثر تطورًا باستخدام إجراءات تصنيف

تستند إلى فكرة الأجسام المكانية بدلاً من وحدات البكسل (هينتون 1998) . من المرجح ، على سبيل المثال ، أن تُستخدم مثل هذه الطرق في تعداد الغطاء الأرضي باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد في مسح الريف لعام 2000. يعتمد النهج العام الثاني لاكتشاف التغيرات ، الذي حدده جونسون وكاسيشكي (1998)، على تحليل الاختلافات الإشعاعية بين الصور . على سبيل المثال ، يمكن مقارنة الاختلافات بين النطاقات لتواريخ مختلفة بمجرد تصحيح الصور إشعاعيًا لضمان إمكانية إجراء مقارنة مباشرة بينها .

كبديل ، يمكن استخدام نسبة النطاقات ، أو تحليل المكونات الرئيسية ، أو الطرق القائمة على حساب المؤشرات بناءً على مجموعات نطاقات معينة (ينظر مناقشة مؤشر الغطاء النباتي الوطني أدناه) . مع هذه الطرق ، يلزم إجراء تصحيح إشعاعي لمراعاة الظروف الجوية أو ظروف الإضاءة المختلفة في أوقات التقاط الصور، أو أي اختلافات في خصائص المستشعر . وقد قدّم براكاش وجوبتا (1998) أمثلةً على تطبيق هذه الأساليب مؤخرًا ، حيث بحثا في مشكلة رسم خرائط لتغير استخدام الأراضي في منطقة تعدين الفحم في جاريا ، الهند؛ وسونار (1998) ، الذي درس مشكلة رسم خرائط لتغير الغطاء الأرضي في إسطنبول ، تركيا ؛ ومينو وآخرون (1998)، الذين استخدموا بيانات صور متعددة التواريخ لرصد تحسين المراعي في اليابان.

كشف التغيرات في الديناميكيات

في حين يمكن اختزال بعض المشكلات في تحليل التغير فيما يتعلق بحالة أساسية ، فإن المشكلات البيئية الأخرى غالبًا ما تكون أكثر تعقيدًا . تنشأ صعوبات خاصة ، على سبيل المثال، في سياق الأنظمة البيئية ذات الطابع الديناميكي . في هذه الحالات ، لا يقتصر الأمر على مجرد تغير في الحالة ، بل على تغير في سلوك النظام بمرور الوقت (الشكل 40.3). يمكن توضيح أهمية فهم التغير البيئي من حيث التغير في ديناميكيات النظام من خلال العمل الأخير على **ظاهرة النينيو**، وهي اضطراب في نظام الغلاف الجوي للمحيط في المحيط الهادئ الاستوائي . يمكن ملاحظة تأثير النينيو ، على سبيل المثال ، من خلال تحليل درجات حرارة سطح البحر المسجلة من مجموعة من العوامات الموزعة عبر المحيط الهادئ على جانبي خط الاستواء (الشكل 40.5) . يمكن استخدام هذه القياسات النقطية لاستيفاء أنماط درجات حرارة السطح باستخدام نظام المعلومات الجغرافية .

في الظروف العادية ، يكون الجانب الغربي من المحيط الهادئ أكثر دفئًا من الجانب الشرقي . ومع ذلك ، مع تذبذب النينيو، يمتد لسان مائي دافئ شرقًا إلى ساحل الإكوادور وبيرو ، مما يُعطل صعود المياه الباردة التي تُثري ساحل المحيط الهادئ في أمريكا الجنوبية . هناك العديد من المواقع الإلكترونية التي تناقش ظاهرة النينيو ، مع رسومات ورسوم متحركة ممتازة توضح كيفية تغير ديناميكيات نظام الغلاف الجوي والمحيط (ينظر المصادر الإضافية أدناه) . تكمن أهمية فهم هذه التغيرات ورصدها في العواقب الاقتصادية والاجتماعية واسعة النطاق التي تنشأ نتيجةً لتقلبات هذا النظام البيئي .

على اليابسة ، يمكن توضيح المشكلات التي تطرحها الحاجة إلى رصد سلوك النظام البيئي من خلال العمل الذي يستخدم مؤشر الغطاء النباتي الموحد(NDVI) . في الشكل 40.2، رأينا بالفعل كيف يمكن استخدام مؤشر الغطاء النباتي الموحد لتحليل ديناميكيات الغطاء الأرضي باستخدام نهج "تحليل متجه التغيير" الذي وصفه لامبين وستراهلر (1994) . تُستخدم التحليلات القائمة على مؤشر الغطاء النباتي الموحد بشكل روتيني في جميع أنحاء العالم للمساعدة في حل المشكلات المتعلقة بتقلبات الإنتاجية الأرضية. يمكن توضيح هذا العمل من خلال العمل الأخير الذي قام به سانير وآخرون (1998) . استخدم هؤلاء الباحثون بيانات NOAA-AVHRRلرصد الغطاء النباتي في الوقت الفعلي كأداة لإدارة الحياة البرية وتقييم الأمن الغذائي في جنوب

إفريقيا . يُعد مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) مؤشرًا لمستوى النشاط الضوئي في المحاصيل والنباتات الأخرى . باستخدام بيانات من أرشيف ARTMIS التابع لمنظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ، عالج سانير وآخرون (1998) المعلومات لإنشاء التوزيع الإحصائي لقيم مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) بناءً على كل فترة عشرة أيام من السنة ؛ واستُخدمت بيانات عشر سنوات لإنشاء التوزيعات . باستخدام هذه البيانات، أمكن تطوير "نموذج" يُشير إلى الحدود الفاصلة بين السنوات ذات الإنتاجية المنخفضة جدًا ، والمنخفضة ، والمتوسطة ، والمرتفعة ، والمرتفعة جدًا .

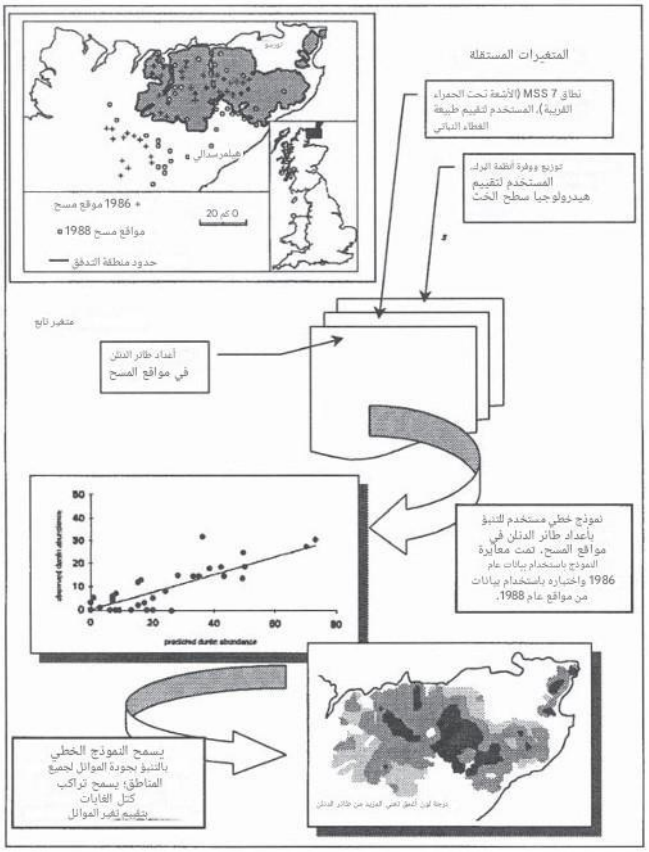
تصف هذه النماذج الديناميكيات الموسمية للنظام البيئي ، سانير وآخرون . تشير هذه النماذج إلى إمكانية استخدامها لرسم مسار الإنتاجية لمنطقة ما لأي عام لتحديد ما إذا كانت تُمثل حدثًا متطرفًا قد يكون ذا أهمية للناس أو الحياة البرية . هناك الآن اهتمام واسع النطاق بتطبيق بيانات AVHRR لإعطاء إنذار مبكر بضعف المحاصيل ، بحيث يمكن اتخاذ خطوات لتأمين الإمدادات الغذائية في المناطق المعرضة للخطر.

نمذجة التغيير

عند السعي لفهم طبيعة التغير البيئي ، نكون محظوظين إذا استطعنا قياس المعلمة المعنية مباشرةً ، كما هو الحال في الغطاء الأرضي . في بعض الحالات ، لا يمكن تقييم أو قياس خصائص بيئية معينة مباشرةً . بدلاً من ذلك ، يتعين علينا استخدام مقياس بديل واستنتاج ما قد يحدث لبعض المتغيرات الأساسية التي تهمنا حقًا . بعبارة أخرى ، قد نضطر إلى نمذجة التغييرات باستخدام نظام المعلومات الجغرافية لدينا . تُعد مؤشرات مثل مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) أمثلة على هذه النماذج . لا يُعد المؤشر قياسًا مباشرًا لنشاط التمثيل الضوئي ، ولكن يُفترض أنه يرتبط ارتباطًا وثيقًا بهذا النشاط . وبالتالي ، يمكن استخدام مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) للتنبؤ بالإنتاجية . وهناك العديد من الأمثلة الأخرى في الأدبيات التي توضح كيفية استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لنمذجة أنواع التغيرات التي تحدث في النظم البيئية والتنبؤ بها .

في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات ، على سبيل المثال ، كان تأثير الغابات التجارية على بيئة أسراب الطيور الخواضة في منطقة التدفق في كيثنيس وساذرلاند باسكتلندا مثار قلق . ولسوء الحظ ، زُرعت مساحات شاسعة من الغابات قبل إدراك حجم التأثيرات المحتملة ، لذلك استُخدمت نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بُعد لمحاولة فهم ما حدث . وقد اعتمد هذا النهج على نموذج لملاءمة الموائل لتقييم جودة الأراضي التي فُقدت بسبب الغابات ، ولإصدار أحكام حول أهمية الخسارة . تُعد منطقة التدفق مساحة شاسعة من الخث المرتفع . تتميز المظاهر الطبيعية المسطحة والمفتوحة بوجود أنظمة برك صغيرة ، مما يجعل هذه المناطق جذابة بشكل خاص للطيور الخواضة .

في الواقع ، تُعد منطقة التدفق واحدة من أهم مناطق تكاثر الطيور الخواضة في أوروبا ، مثل طائر الدنلن ، والزقزاق الذهبي ، والزقزاق الأخضر . كان الخوف من الغابات التجارية في أواخر الثمانينيات يتمثل في تقويض القيمة البيئية لهذه المناطق بسبب فقدان الموائل واختلال هيدرولوجيا الخث . استُخدم نموذج بيئي بسيط لتقدير جودة موطن طائر الدنلن الذي فُقد بسبب الغابات (أفيري وهاينز-يونغ 1989؛ لافرز وآخرون 1996؛ لافرز وهاينز-يونغ 1997) . تم تحسين النموذج على مراحل عدة ، واستند في النهاية إلى دمج صور الأقمار الصناعية المستشعرة عن بُعد مع القياسات الأرضية لتوزيع البرك عبر سطح الخث . تمثلت المرحلة الأولى من التحليل في معايرة النموذج مع المواقع التي قُدِّرت فيها كثافة تكاثر طائر الدنلين من خلال المسح الميداني (الشكل 40.7) . أما المرحلة الثانية فكانت اختبار النموذج على مجموعة أخرى من المواقع لمعرفة ما إذا كان النموذج قد توقع بشكل صحيح أعداد الطيور المرصودة هناك.



الشكل 40.7 نمذجة تأثير التغير البيني في منطقة التدفق.

وبمجرد تأكيد صحة النموذج ، أمكن استخدام نظام المعلومات الجغرافية لتطبيقه على المظاهر الطبيعية في منطقة التدفق ككل لرسم خريطة للاختلافات في جودة الموائل عبر المنطقة . وقد استخدمت الدراسة بيانات الأقمار الصناعية الأرشيفية من عام ١٩٧٨ لتقييم المنطقة بأكملها ، لأن هذا التقييم يسبق معظم الغابات التجارية التي أقيمت خلال ثمانينيات القرن الماضي . ثم استُخدمت تقنيات تراكب نظم المعلومات الجغرافية لإزالة المناطق التي كانت متاحة سابقًا لطائر الدنلن ، وذلك لتقييم جودة وأهمية الموطن المفقود . وقد قدم موريسون وآخرون (١٩٩٢) القضايا التي تنشأ في بنائها . ومن الأعمال الحديثة التي توضح ببراعة كيفية استخدام بيانات الأقمار الصناعية المستشعرة عن بُعد لنمذجة ملاءمة الموطن لذباب التسي تسي في جنوب إفريقيا عمل روبنسون وآخرون (١٩٩٧ أ، ب).

تُستخدم نماذج ملاءمة الموطن الآن على نطاق واسع للمساعدة في تحليل العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها ، ويمكن أن تؤدي إلى تطبيقات مهمة لأنها تُمكّن من تقييم آثار استراتيجيات الإدارة المختلفة . وصف مفصل لاحداث فرق لا جدوى من الاستثمار في تقنيات مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد ما لم يكن من الممكن استخدامها لإحداث فرق في طريقة استخدام الناس للموارد وإدارتهم لها .

دراسات الحالة

يوضح ما ورد في هذا الفصل بالتأكيد أن هذه التقنيات يمكن أن تكون مفيدة ، إلا أن تطبيقها يطرح أيضًا عددًا من القضايا العلمية والمؤسسية الأوسع نطاقًا التي يجب التغلب عليها قبل تحقيق قيمة هذه التقنيات بالكامل .

على سبيل المثال ، يجب أن يكون أحد المجالات المهمة التي تثير الاهتمام العلمي هو جودة البيانات المستخدمة في بناء نظم المعلومات الجغرافية لدينا وجودة المخرجات الناتجة **. تمثل قضايا جودة البيانات بعضًا من أكثر المشكلات تحديًا التي تواجه مجتمع نظم المعلومات الجغرافية في الوقت الحالي**، ويجب ألا يتجاهلها أي شخص يسعى إلى تطبيق نظم المعلومات الجغرافية أو تقنيات الاستشعار عن بُعد لحل مشكلة جغرافية أو بيئية . ما يزال الإطار الذي قدمه أرونف (1989) مفيدًا للبدء في التفكير في بعض القضايا المتعلقة بجودة البيانات . ناقش دوجين وروبينوف (1990) القضايا التي تتعلق تحديدًا بتحليل بيانات الاستشعار عن بُعد . عند تقييم جودة البيانات ، من المفيد البدء بطرح أسئلة حول مدى ملاءمة مجموعة بيانات معينة للتطبيق المعني ، ثم الانتقال إلى دراسة القضايا المتعلقة بالمحتوى والسياق .

ويرد شرح لهذه المصطلحات وبعض الأمثلة التي توضحها في الملحق 40.1 . والرسالة المهمة هنا هي أنه لا يمكن اتخاذ قرارات سليمة إلا باستخدام بيانات ذات جودة مناسبة بطرق مناسبة عند تطبيق التكنولوجيا . بالإضافة إلى القضايا العلمية التي يطرحها استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد ، نحتاج أيضًا إلى فهم السياق المؤسسي الذي تُطبق فيه هذه التقنيات . وتشير التجربة إلى أن طريقة تدفق المعلومات إلى المؤسسات وحولها تُحدد أيضًا مدى فعالية هذه التقنيات في مساعدتنا على إحداث فرق في طريقة إدارتنا للبيئة . فلا يمكن استخدام المعرفة ، على سبيل المثال ، إلا إذا تمكن المرء من الوصول إليها . وبالتالي ، على الرغم من القيمة المحتملة لنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد ، فقد لا تمتلك المؤسسات أو المجموعات الموارد اللازمة للاستثمار في هذه التكنولوجيا أو تدريب موظفيها على استخدامها.

علاوة على ذلك ، قد لا تمتلك المجتمعات الإجراءات الإدارية اللازمة لتنفيذ استراتيجيات إدارية مناسبة حتى لو كانت تعرف ما يجب القيام به . يقدم ديفيس وميديكيج-سكوت (1996) بعض الرؤى الحديثة حول مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية في العالم المتقدم ، بينما يوثق ساهاي وولشام (1996) دراسة حالة مفيدة تركز على تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في الهند . ولعل التعليق الأكثر تحديًا هو الذي قدمه بيكلز (1995) ، الذي بحث مع آخرين في الآثار الاجتماعية والسياسية الأوسع لهذه التقنيات . إحدى القضايا الرئيسية المطروحة في هذا العمل هي ما إذا كانت التكنولوجيا تستبعد الأفراد من عملية صنع القرار أم أنها تجبرنا على النظر إلى العمل بطرق معينة .

ليس هناك شك في أن الوصول إلى تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد سيحدث فرقًا في طريقة فهمنا لبيئتنا وإدارتنا لها . تتمتع هذه التقنيات بالقدرة على تسريع وتحسين تدفق المعلومات ، ويمكن أن تفيد بشكل واضح استراتيجيات صنع القرار لدينا . ومع ذلك ، فإن الأشكال الأكثر استدامة للإدارة البيئية لن تتطور تلقائيًا . فكما هو الحال مع أي تقنيات أخرى ، يمكن استخدامها للخير أو الشر . وقد أظهر هذا الفصل أن نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد قد بلغا مرحلة النضج ، ويمكن استخدامهما في سياق عملي . وتتمثل المهام المُلحة التي تواجهنا في فهم قدراتهما الأوسع ، وإيجاد سبل لاستخدامهما لإعلام الناس وإشراكهم في القرارات التي يتعين علينا اتخاذها ، في ظل المشاكل المُلحة للتغير البيئي.

دليل لمزيد من القراءة

تُقدم النصوص التالية مقدمةً وافيةً لمجالات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد الآخذة في التوسع، وإرشاداتٍ حول مبادئ وممارسات كلٍّ منهما.

بورو، ب. أ. وماكدونيل، ر. أ) .1998(مبادئ نظم المعلومات الجغرافية. أكسفورد: مطبعة جامعة أكسفورد.

فودي، ج. (1996) الاستشعار البيئي عن بُعد من الإقليمي إلى العالمي. تشيتشستر: جون وايلي وأولاده.

جودتشايلد، م. (1996) نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة البيئية: التقدم وقضايا البحث. نيويورك: جون وايلي وأولاده.
ماثر، ب. م. (1999) المعالجة الحاسوبية للبيانات المستشعرة عن بُعد، الطبعة الثانية.
تشيتشستر: جون وايلي وأولادهباور، سي. إتش. (محرر) (1996) الاستشعار عن بُعد لإدارة الموارد الطبيعية. معهد الموارد الطبيعية.
ستار، جيه. إل. (1996) تكامل أنظمة المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد. كامبريدج: مطبعة جامعة كامبريدج. مصادر أخرى للمعلومات المفيدة
معلومات عن: AVHRR: http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/avhrr
معلومات عن هيئة المسح الجيولوجي البريطانية http://www.bgs.ac.uk/
معلومات عن CORINE: http://www.ecnc.nl/doc/servers/land.html
معلومات عن نظام معلومات الريف:
http://www.nmw.ac.uk/ite/software/cisflier.html
معلومات عن CS2000: http://www.cs2000.org.uk
معلومات عن شبكة التغير البيئي:
http://www.nmw.ac.uk/ite/edn2.html
معلومات عن ENVISAT: http://envisat.estec.esa.nl/
معلومات عن Landsat: http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/landsat_tm
معلومات عن خريطة الغطاء الأرضي لبريطانيا العظمىhttp://www.nmw.ac.uk/ite/lcm.html :
معلومات عن SPOT: http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/spot#spot18
معلومات عن مركز السجلات البيولوجية:
http://www.nmw.ac.uk/ite/edn2.html#brc
معلومات عن نظام ونظام تحديد المواقع العالمي Navstar (GPS): http://www.navstar-systems.com/
معلومات عن هيئة المساحة البريطانية: http://www.ordsvy.gov.uk/
معلومات عن مركز مسح التربة وأبحاث الأراضي: http://www.cranfield.ac.uk/sslrc/publics/digital/
معلومات عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP): http://www.unep.org/home.htm
وقاعدة بيانات معلومات الموارد العالمية (GRID) التابعة لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة:
http://grid2.cr.usgs.gov/http://www.unep.org/unep/eia/ein/grid/web/document/grid.htm
http://www.unep.org/unep/eia/ein/grid/web/document/grid.htm
معلومات عن ظاهرة النينيو:
www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino/http://
الصفحة الرئيسية لنظام رصد الأرض التابع لوكالة ناسا:
http://eospso.gsfc.nasa.gov/
بيانات ومعلومات رصد الأرض التابعة لوكالة ناسدا
نظام اليابان: http://www.eoc.nasda.go.jp/homepage.html