

النمذجة

إيفون مارتين وستيفانيا بيرتازون

الفصل 21

ترجمة بتصرف
أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

يُدرّك الجغرافيون أن النماذج أدوات فعّالة تُسهم إسهامًا كبيرًا في فهم سلوك النظام ، وفي دعم صنع السياسات والقرارات التي تؤثر على كوكبنا ومجتمعنا على نطاقات تتراوح من المحلي إلى العالم ي. في هذا الفصل ، نتناول استخدام النماذج في الجغرافيا الطبيعية والبشرية ، والمساهمات التي يُمكن أن تُقدمها النمذجة ، والافتراضات والقيود المرتبطة بها . يمكن تعريف **النموذج** بأنه تمثيل مُبسط لظاهرة أو نظام طبيعي و/أو بشري . **النماذج هي تجسيدات مثالية للواقع ، مُصممة لتوليد مخرجات من المُدخلات في محاولة لفهم سلوك النظام** . يجب وضع افتراضات وتبسيطات مُختلفة أثناء تطوير النموذج لضمان بقاء المشكلة قيد البحث قابلة للحل . ومع ذلك ، إذا أمكن الحفاظ على الخصائص الأساسية للنظام خلال هذه العملية ، فقد يُقدم النموذج نتائج ذات مغزى ، ويساهم بمعرفة مهمة لفهمنا لكيفية عمل النظام ، ويساعد في التنبؤ بالمستقبل . يُعد تقييم النماذج مرحلة حاسمة في عملية النمذجة ، إذ يسمح بتقييم كل من النموذج نفسه وتنبؤاته ، ومع ذلك ، وعلى الرغم من أهميته ، ما تزال هناك العديد من الأسئلة التي لم تُحل بعد حول ما يُشكل اختبارًا حاسمًا لأداء النموذج . يقبل الباحثون الذين يدرسون مختلف فروع الجغرافيا الطبيعية استخدام النماذج بشكل عام ، مع إدراكهم لنقاط قوتها وحدودها . في المقابل ، يُشكك الباحثون في معظم التخصصات الفرعية في الجغرافيا البشرية في النماذج و/أو يرفضونها ، أو ببساطة لا يستخدمونها كمنهجية . لذلك ، يختلف دور النمذجة في الجغرافيا الطبيعية والبشرية اختلافًا كبيرًا ، ولهذا السبب سيتم استكشاف كل منهما على حدة في هذا الفصل بعد مقدمة عامة .

قبل الخوض في دور النمذجة في الجغرافيا بالتفصيل ، دعونا أولاً نتناول سؤالين أساسيين ، لتمهيد الطريق لمزيد من النقاش : لماذا تُعد النماذج أداة قيّمة عند تطبيقها على مشكلات جغرافية معينة ؟ وما هو دور النماذج في الجغرافيا ؟ **يتمثل الدور الأساسي للنماذج في توفير صياغة افتراضية لمشكلة ما لتوجيه دراستها** . كما يمكن استخدام النماذج لاختبار كيفية استجابة النظام لمعلومات الإدخال المختلفة ، وفحص حساسية النظام لسيناريوهات مختلفة ، واختبار الفرضيات أو النظريات التي قد تكون أو لا تكون قد تم تأكيدها بطرق أخرى . تُمثل الفرضية تفسيرًا لظاهرة ما بناءً على ملاحظات ذات صلة، ولكن لم يتم قبولها بشكل عام بعد، بينما تُمثل النظرية تفسيرًا لظاهرة تم تأكيدها على نطاق أوسع من قبل مجتمع البحث . يمكن أن توفر النماذج أدلة لدعم أو رفض أو تحدي أو تعديل أفكارنا (الفرضيات أو النظريات) حول كيفية عمل العالم . ثم يتولى تقييم النموذج دورًا هامًا في اختبار قوة التفسيرات المقدمة . ومع ذلك ، لا يمكن للنماذج وحدها أن تقدم دليلًا قاطعًا على فرضية أو نظرية . إحدى طرق النظر إلى النماذج **هي كوسيلة لتوصيل الأفكار حول عمل نظام معين** . في العالم الواقعي ، غالبًا ما يكون من الصعب التحكم في البيئة الطبيعية أو البشرية . يمكن تعديل متغيرات النموذج ومعاملاته وشروطه الابتدائية / الحدودية بسهولة لطرح سلسلة من أسئلة "ماذا لو" الحرجة ، والتي تُشكل أحد أهم جوانب عملية النمذجة . غالبًا ما تُستخدم النماذج في وضع السياسات وصنع القرار . على سبيل المثال ، استُخدمت النماذج للتنبؤ بحالات النظام المستقبلية لقضايا مثل

تلوث المياه الجوفية أو ممرات النقل المثلى في المدينة . ومع ذلك ، يلزم توخي الحذر عند تطبيق النماذج لصنع القرار نظراً للقيود المرتبطة بتقييم النموذج.

النمذجة في الجغرافيا الطبيعية

تتشترك الجغرافيا الطبيعية في العديد من المنهجيات ، بما في ذلك النمذجة ، مع التخصصات العلمية الأخرى . تتضمن الأنظمة البيئية ، كتلك التي تدرج تحت نطاق الجغرافيا الطبيعية ، عادةً عددًا كبيرًا من المتغيرات والعمليات . يمكن أن تكون التفاعلات والتغذية الراجعة داخل النظام معقدة للغاية ، وغالبًا ما تكون العمليات الأساسية غير خطية بطبيعتها . لهذا السبب ، تُعد الدراسات العلمية لهذه الظواهر... نادرًا ما تكون هذه التجارب مباشرة ، بل تُشكل تحدياتٍ مثيرةً للباحث . إن عملية محاولة مواجهة هذا التحدي تجعل دراسة الجغرافيا الطبيعية مُجزيةً للغاية ، وتتطلب دراسةً متأنيّةً للمنهجيات المناسبة لمعالجة سؤال البحث (ينظر الفصلين 2 و5).

يُعدّ التجريب المعيار الذهبي للمنهجيات في العلوم ، وقد أواه المؤرخون والفلاسفة وممارسو العلوم اهتمامًا كبيرًا (ينظر الفصل 3) . أثناء التجريب، يتم التحكم في بعض المتغيرات بينما تتغير أخرى ، مما يسمح بتحديد العلاقات الحرجة وفهم سلوك النظام بشكل أعمق . يُصبح التجريب صعبًا بشكل خاص عند تطبيقه على الأنظمة البيئية المعقدة . على سبيل المثال ، قد تُواجه صعوبات في التحكم في المتغيرات الرئيسية في هذا المجال ، مثل المناخ أو الجيولوجيا . علاوة على ذلك ، حتى لو كان التحكم ممكنًا في بعض المواقع ، فإن التجارب الميدانية محدودة في قدرتها على توفير رؤى ثاقبة حول تشغيل النظام على المقاييس المكانية والزمانية المتوسطة والكبيرة التي تُؤخذ غالبًا في الحسبان في الجغرافيا الطبيعية . لهذا السبب ، تُعد النمذجة الفيزيائية والنمذجة الرياضية منهجيات قيّمة للبحث في الجغرافيا الطبيعية . ضمن هذه الأطر، لا يقتصر الأمر على إجراء عمليات تلاعب للتحكم في متغيرات معينة مع السماح للآخرين بالتغير ، بل يمكن أيضًا استكشاف تشغيل النظام على نطاقات متوسطة إلى كبيرة .

على الرغم من الدور المهم للنمذجة في البحث العلمي ، لا ينبغي الاعتماد على دراسات النمذجة وحدها لتقديم تفسيرات حول الظواهر العلمية . غالبًا ما يحدث التقدم الأكبر عند اعتماد مزيج حاسم من المنهجيات العلمية المختلفة لمعالجة مشكلة بحثية . على سبيل المثال ، يمكن استخدام النمذجة لاختبار وتحسين فهمنا للمعرفة المكتسبة باستخدام مناهج منهجية أخرى (مثل الدراسات الميدانية) . ويمكن لهذه الأنواع الأخرى من الدراسات ، بدورها ، أن تساهم في تطوير نموذج ما وتحسينه . ننتقل الآن إلى دراسة الأنواع الثلاثة الرئيسية للنماذج المستخدمة بشكل شائع في الجغرافيا الطبيعية: النماذج المفاهيمية، والنماذج الفيزيائية، والنماذج الرياضية . تجدر الإشارة إلى أن بعض المعلومات الواردة في الأقسام الآتية ذات صلة بالمناقشة اللاحقة للنمذجة في الجغرافيا البشرية . لهذا السبب ، لن نُكرر الأوصاف الأساسية للأنواع الأولية من النماذج في هذا القسم ، بل سيتم توسيع نطاق المناقشة للنظر في تطبيقها على الجغرافيا البشرية.

النماذج المفاهيمية

تمثل النماذج المفاهيمية أداةً واسعة الاستخدام وقيّمة في البحث العلمي . ويمكن بناؤها في أي مرحلة من مراحل دراسة ظاهرة ما ، لاستكشاف وتلخيص حالة الفهم في ذلك الوقت . تتخذ هذه النماذج شكل ملخصات سردية أو بصرية ، تُوصف فيها مكونات النظام (العمليات والأشكال) ، والتفاعلات فيما بينها . غالبًا ما تكون النماذج المفاهيمية بصرية ، وتتخذ شكل مخططات "مربعات وأسهم" ، حيث تُعرض المكونات

في مربعات ، ويُشار إلى التفاعلات بأسهم (ينظر الشكل 21.1 كمثال) . تُعد هذه المخططات مفيدة بشكل خاص في وصف ردود الفعل في الأنظمة ، وغالبًا ما تُستخدم في الكتب الجامعية لتبسيط الضوء على السمات الرئيسية لتشغيل النظام . تتيح النمذجة المفاهيمية للباحث التفكير في المشكلة وتحليلها ، ووصف السمات والعمليات الأساسية ، وتجميع المعرفة .

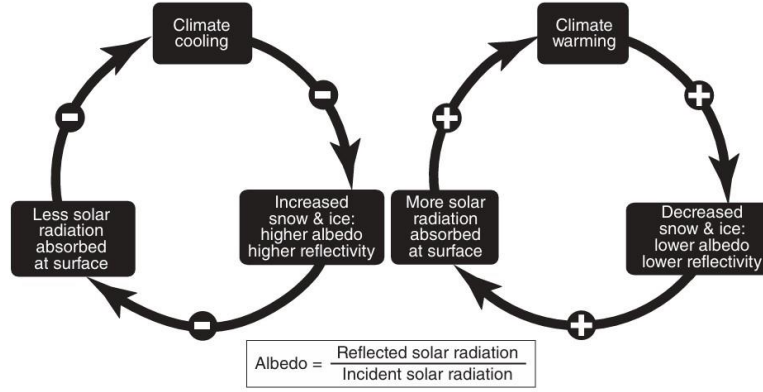


Figure 21.1 An example of a “boxes-and-arrows” conceptual model for the sea ice-albedo feedback. (a) positive feedback; (b) negative feedback

قد تُستخدم هذه النماذج ويمكن تطويرها بناءً على التفكير / الحدس النظري و/أو النظريات / البيانات / المعرفة الموجودة المستمدة من وسائل أخرى (مثل القياسات الميدانية) . بعض النماذج المفاهيمية متطورة للغاية وتتضمن أوصافاً مفصلة لسير العمليات ، بينما قد يكون البعض الآخر ، وخاصةً في مجالات البحث الجديدة ، أكثر بدائية . في كلتا الحالتين ، ينبغي الكشف عن رؤى جديدة حول عمل النظام . غالبًا ما تكون النمذجة المفاهيمية خطوة أولية في البحث العلمي ، وغالبًا ما تسبق برامج القياس والتجريب والنمذجة الفيزيائية و/أو الرياضية (التجريبية أو القائمة على العمليات). يمكن استخدام النموذج المفاهيمي لتوليد فرضيات عمل لاختبارها بطرق مختلفة.

ومع ذلك ، فإن العلاقة بين النمذجة المفاهيمية والمنهجيات الأخرى (بما في ذلك أشكال النمذجة الأخرى) ليست دائمًا خطية تمامًا ؛ يمكن استخدام المعرفة المكتسبة بطرق أخرى لتطوير نماذج مفاهيمية جديدة أو لمراجعة النماذج الموجودة . تتضمن النمذجة المفاهيمية ثلاث خطوات أساسية . أولاً، يجب تحديد سؤال البحث ، والنظام المراد معالجته ، والمقاييس المكانية والزمانية المعنية بوضوح . ثانيًا، يجب تحديد أهداف عملية النمذجة المفاهيمية (على سبيل المثال ، هل سيستخدم النموذج كأساس لمزيد من البحث؟) . ثالثًا، يجب تحديد مكونات النموذج ، بما في ذلك العمليات والأشكال والتفاعلات / العلاقات ، وتوضيح أي افتراضات.

النماذج الفيزيائية

تتضمن النمذجة الفيزيائية (التي يُشار إليها أحيانًا بالنمذجة المادية أو النمذجة على نطاق واسع) بناء نموذج تماثلي لنظام بيئي واقعي ، وتسمح بالتحكم الدقيق في المتغيرات في بيئة مختبرية . تُعد هذه الميزة الأخيرة بالغة الأهمية لفهم الأهمية الخاصة لهذا النوع من النماذج ، نظرًا لأن عدم قدرتنا على التحكم بشكل كافٍ في متغيرات الأنظمة البيئية في هذا المجال يُمثل عقبة هائلة في الدراسات . الجغرافيا الطبيعية ، طورت العديد من مختبرات الأبحاث ، مثل مختبر شلالات سانت أنتوني بجامعة مينييسوتا ، مرافق متطورة لإجراء

تجارب النمذجة الفيزيائية (<http://www.safl.umn.edu/facilities/facilities.html>). يتضمن تطوير النموذج بناء تمثيل فيزيائي للنظام المستهدف ، يحافظ على السمات والعلاقات الأساسية التي يحددها التفكير النظري أو فهم الظاهرة المُستقاة باستخدام منهجيات أخرى (مثل النمذجة المفاهيمية أو الرياضية ، والبحوث الميدانية) . عادةً ما يكون النموذج أصغر حجمًا وتعقيدًا مقارنةً بنظيره ذي النطاق الكامل . قد تُغير التغييرات في النطاق الفيزيائي سلوك النظام بشكل كبير، ويجب استيفاء معايير القياس الرسمية للنظام قيد الدراسة حتى يعمل النظام بطريقة مجدية ويساهم في إمكانية تفسير النتائج . يتطلب هذا الحفاظ على الأحجام النسبية للعمليات والخصائص الحرجة ، والتي غالبًا ما يتم التعبير عنها كنسب بلا أبعاد ، في النموذج (ينظر الملحق 21.1). يجب توخي الحذر لأن التبسيط والتغيير في المقياس الفيزيائي يؤثران بشكل مباشر على المقارنة مع النظام بالحجم الكامل.

بمجرد بناء النموذج الفيزيائي ، يُمكن إجراء تجارب باستخدامه ، حيث يتم التحكم في المتغيرات الرئيسية في محاولة لفهم سلوك النظام . ومن مزايا النمذجة الفيزيائية سهولة التحكم في عوامل التحكم أثناء التجارب ، مقارنةً بالصعوبات التي تُواجه عند إجراء ملاحظات مُتحكم بها في الميدان . ونظرًا لأن هذه النماذج مُصممة لتكون أبسط من أنظمة العالم الحقيقي ، فإن قياس البيانات وتحليلها يكونان بسيطين نسبيًا بالمقارنة . علاوة على ذلك ، تسمح هذه النمذجة بإجراءات مكثفة لقياس البيانات . على الرغم من أن بناء هذه النماذج قد ينطوي على تكاليف أولية عالية ، إلا أن هذا النوع من أعمال النمذجة ، بمجرد تشغيله ، قد يكون فعالًا من حيث التكلفة والوقت مقارنةً بالدراسات الميدانية . تتيح تجارب النماذج التحكم الدقيق في المتغيرات ، وتوفر رؤية قيمة لتحسين النظريات العلمية واختبارها ، ويمكن أن تُسهم في إجراء المزيد من التحقيقات باستخدام منهجيات أخرى . ويتزايد إدراك الرؤى الحاسمة التي يمكن أن تقدمها هذه النماذج لمواضيع البحث الكلاسيكية والجديدة في الجغرافيا الطبيعية ، مع تطبيقها على مواضيع تغطي مجموعة كاملة من المقاييس الزمنية والمكانية .

تتضمن النمذجة الفيزيائية الخطوات الآتية . وكما هو الحال في النمذجة المفاهيمية ، يجب توضيح النظام المراد دراسته والمقاييس المكانية والزمانية قيد البحث . ويجب تحديد العمليات والخصائص الحرجة للنظام ، وتحديد العمليات التي سيتم التعامل معها وتلك التي ستبقى ثابتة في المرحلة التجريبية . كما يجب استيفاء معايير القياس الرسمية للنظام قيد الدراسة . خلال مرحلة التجريب ، يُمكن تعديل المتغيرات حسب الضرورة وإجراء القياسات . ثم تُحلل البيانات وتُفسر لتحديد العمليات والخصائص والعلاقات الرئيسية . وأخيرًا ، تُقارن نتائج النموذج بالبيانات ذات الصلة للنظام كامل النطاق لتقييم أداء النموذج ، وبناءً على نتائج النموذج ، يُمكن إجراء تغييرات على النموذج الفيزيائي نفسه أو على التصميم التجريبي.

النماذج الرياضية

تُستخدم النمذجة الرياضية على نطاق واسع في معظم فروع الجغرافيا الطبيعية ، وتُمثل أداة فعالة قدّمت العديد من الرؤى الجديدة والرائعة حول آلية عمل الأنظمة البيئية . ببساطة ، تتكون النماذج الرياضية من سلسلة من العلاقات الكمية بين المتغيرات التي تُمثل النظرية الأساسية للنظام قيد الدراسة . يمكن أن تختلف النماذج الرياضية اختلافًا كبيرًا في تحليلها الأساسي لظاهرة ما ، حيث تُحاول بعض النماذج ربط خصائص النظام ، بينما تُركز نماذج أخرى على التعبيرات الرياضية التي تُجسد آلية عمل النظام و/أو العملية ، وهي أكثر تفسيرًا بطبيعتها . سيتم مناقشة هذين النهجين المتميزين للنمذجة الرياضية تحت عنوانين رئيسيين : النماذج التجريبية ؛ والنماذج القائمة على العمليات (والتي قد تشمل مكونات فيزيائية وكيميائية و/أو بيولوجية) . بالإضافة إلى ذلك ، قد تختلف طريقة معالجة الأشكال والعمليات بشكل حاسم آخر. تستند بعض النماذج

الرياضية إلى فرضية أن السبب والنتيجة مباشران ، بينما تتضمن نماذج أخرى درجة من العشوائية في بنائها . سنتناول هذه المسألة تحت عنوان "الاحتمالية والعشوائية" .

النماذج التجريبية

يمكن استخدام هذه النماذج في الحالات التي قد يكون فيها من الصعب ، أو ليس الهدف من عملية النمذجة ، إنشاء نموذج يشرح ويفسر عملية النظام الأساسية . قد ينشأ هذا عن نقص في المعرفة بالعمليات ، أو لأن النموذج قد يقرر أن فهم عمليات النظام غير مطلوب لدراسة معينة . في مثل هذه الحالات ، قد تتوفر بيانات لما يُعتقد أنها متغيرات نظام رئيسية يمكن استخدامها في تطوير نموذج تجريبي (يُشار إليه أحياناً باسم نموذج الصندوق الأسود) . لا يأخذ النموذج التجريبي في الحسبان العمليات الأساسية ، بل تُستخدم بيانات متغيرين أو أكثر لتحديد علاقات وظيفية تعكس الاتجاهات الرئيسية للنظام .

قد يشمل ذلك ، على سبيل المثال ، ملاءمة منحنى خطي بسيط ، أو تحليل انحدار متعدد المتغيرات ، أو تحليل مكاني أكثر تعقيداً ضمن إطار عمل نظام المعلومات الجغرافية (ينظر الفصلين 18 و 22). غالباً ما تتطلب النماذج التي تنطوي على التجريبية بعض العوامل الخارجية . لا تتغير المتغيرات (مثل المناخ) بين إنشاء النموذج وتطبيقه . إن البساطة النسبية للنماذج التجريبية غالباً ما تجعلها مرغوبة مقارنةً بالنماذج القائمة على العمليات ، حيث تتطلب الأخيرة عموماً فهماً أعمق للنظام . إذا نجح نموذج تجريبي بسيط في محاكاة ملاحظات البيانات ، فقد يوفر النموذج بياناً موجزاً قوياً ، خاصةً إذا كانت العمليات المفترض أنها تشكل أساس العلاقة الوظيفية الحقيقية (والتي قد لا يكون من الممكن تحديدها). غالباً ما تُستخدم النماذج التجريبية للتنبؤ بالسلوك عند عدم وجود بيانات عملية مفصلة و/أو فهم ، أو عندما تكون البيانات متاحة لمتغيرات محدودة معينة فقط . غالباً ما تكون النماذج التجريبية بمثابة مقدمة لنماذج لاحقة أكثر تفسيراً قائمة على العمليات.

النماذج القائمة على العمليات

تشرح هذه النماذج وتوفر فهماً لعمل النظام من خلال تحديد تعبيرات رياضية للمبادئ والعمليات الحاكمة . تتمتع هذه النماذج بقوة تفسيرية عالية مقارنةً بالنماذج التجريبية ، وغالباً ما تُفضل لهذا السبب . عند استنباط نموذج قائم على العمليات من خلال تحليل دقيق وفهم دقيق لعمليات النظام ، قد يُقبل النموذج حتى لو لم تكن قدرته التنبؤية قوية بالقدر المطلوب . في هذه الحالة ، قد يُفضل النموذج لأنه يحاول شرح العمليات الداخلية للنظام ، وهو ما يُعد بنفس أهمية التأكيد التجريبي . ومع ذلك ، فإن العديد من النماذج التي تعتمد بشكل كبير على العمليات ، أو تسعى جاهدة لتكون كذلك ، ما تزال تنطوي على درجة معينة من التجريبية في بعض معالم النموذج ، حيث إن التفسير الكامل ليس ممكناً دائماً . لهذا السبب ، تُعد النماذج الهجينة (التي تتضمن مكونات قائمة على العمليات ومكونات تجريبية) شائعة .

في مثل هذه النماذج ، يمكن تفسير جوانب معينة من النظام من خلال عبارات رياضية ذات معنى فيزيائي ، مع تضمين معالم محددة تجريبياً . قبل عصر الحوسبة ، صُممت النماذج الرياضية القائمة على العمليات بحيث يمكن حل المعادلات تحليلياً ، مما يحد غالباً من تعقيد النموذج ويجعل حلها يستغرق وقتاً طويلاً . نتيج التطورات في قوة الحوسبة والتقنيات العددية الآن حل مجموعات معقدة من المعادلات بسهولة ضمن إطار النمذجة الحاسوبية ، وقد وسّعت نطاق تأثيرها على هذا المجال . على سبيل المثال ، يتيح تطوير تقنيات التقريب العددي والزيادات المقابلة في قوة الحوسبة في العقود الأخيرة الآن حل نماذج معقدة للغاية قائمة على العمليات ، مثل نماذج المناخ العالمي (GCMs) .

الاحتمية والعشوائية

هذان مفهومان يوفران أساساً لوصف طريقتين يمكن من خلالهما معالجة العمليات في نموذج رياضي . تتضمن النظرة العالمية الاحتمية الاعتقاد بوجود صلة بين الظروف الأولية والظروف النهائية (أي أنه إذا كانت جميع الظروف معروفة ، فيمكن التنبؤ بمخرجات النظام)، بينما تعد النظرة العالمية العشوائية العشوائية متأصلة في النظام (سمارت 1979) . يمكن بناء نماذج احتمية أو عشوائية أو مزيج منهما . حتى لو اعتُقد أن ظاهرة ما حتمية بطبيعتها ، غالباً ما يلزم تضمين عناصر عشوائية لتفسير الجزء من المشكلة الذي لا يمكن تعريفه حتمياً . يمكن معالجة العشوائية باستخدام أساليب متخصصة ، أو قد تظهر كمعاملات تجريبية تُغلف متوسطاً مناسباً للسلوك العشوائي (في مثل هذه الحالات ، يُتوقع وجود خطأ عشوائي مرتبط بنتائج النموذج). على سبيل المثال ، إن الفهم الاحتملي الكامل للاضطرابات في الأنهار أمرٌ مستحيلٌ وغير عملي في الوقت الحالي . ولذلك ، غالباً ما يُعتمد نهج الميكانيكا الإحصائية لحل هذه المشكلة ، والذي يربط سلوك الذرات / الجزيئات الفردية بخصائص النظام ككل . في حين أن بعض النماذج قد تكون حتمية تماماً أو عشوائية تماماً ، فإن النماذج الهجينة ، التي تتضمن كلا العنصرين ، قد تكون قيّمة (فوغل، ١٩٩٩) ؛ فقد تسمح العناصر العشوائية للنماذج الاحتمية بالحفاظ على العلاقات بين النموذج والبيانات التجريبية المرصودة بدقة أكبر، بينما تسمح المكونات الاحتمية للنماذج العشوائية بدمج وظائف النظام الداخلية.

خطوات النمذجة الرياضية

- تتضمن النمذجة الرياضية الخطوات الاتية :
- بالإضافة إلى التحديد الواضح للنظام المراد دراسته والمقاييس المكانية والزمانية قيد البحث ، يجب تحديد نوع النموذج الرياضي وعناصره (تجريبي أو قائم على العمليات ، عشوائي أو حتمي)، بالإضافة إلى العمليات والخصائص ذات الصلة .
- يجب تحديد المعلمات المراد معالجتها والمعاملات التي ستبقى ثابتة ، وتوضيح افتراضات النموذج وقيوده .
- يجب تحديد البيانات المناسبة لإدخال النموذج وتطويره ومعايرته و/أو تقييمه (ينظر الملحق 21.2) و/أو تقييمه . يتم جمعها / الحصول عليها ، وتحديد الشروط الأولية والحدودية .
- يمكن بعد ذلك إجراء عمليات تشغيل للنموذج ، مع معالجة متغيرات التحكم وتغييرها حسب الحاجة.
- يمكن استخدام تحليل الحساسية لتحديد كيفية اعتماد مخرجات النموذج على معلمات الإدخال وفحص تأثير تغيير ظروف المتغيرات المختلفة أو قيم المعلمات على سلوك النظام .
- ثم يتم تحليل نتائج النموذج وتفسيرها.
- وأخيراً، وكما هو موضح في الملحق 21.2 يجب إجراء تقييم للنموذج لتقييم قوته.

النمذجة في الجغرافيا البشرية

يشكك الباحثون في معظم فروع الجغرافيا البشرية في الافتراضات اللازمة للنمذجة و/أو يرفضونها ، أو ببساطة لم يعتمدوا النمذجة في عملهم (ينظر الفصلين 3 و5) . تشمل القضايا الأكثر شيوعاً ما يلي : افتراض أن تجريد جزء من الواقع أمر مشروع وذو معنى ؛ أن النموذج يُمثل جميع الحالات التي يُشير إليها ؛ وأن التجريد / النموذج يُمثل الواقع تمثيلاً كافياً وفعالاً ؛ وأن المعرفة المُستمدة من النموذج يُمكن أن تُفسره . هناك أسبابٌ مهمةٌ تجعل بعض الجغرافيين البشريين يُشككون في النماذج والافتراضات التي تُؤسسها . فعلى سبيل

المثال ، قد تكون النماذج مُفيدة في صنع السياسات ، إلا أن هذه المُنفعة مُكلفة . ومن هذه التكاليف الواضحة أن التبسيطات اللازمة لقياس الظواهر الجغرافية قد تُؤدي إلى إزالة مُكون أساسي من الجغرافيا البشرية ، أو التعبير عنه بشكل سيء ، وهو السلوك البشري . في الواقع ، غالبًا ما يكون السلوك البشري الفردي غير قابل للتنبؤ ، وقد يصعب رصده رياضياً ؛ وبالتالي ، لا يُناسب النمذجة بسهولة .

غالبًا ما تسعى النماذج المُستخدمة في الجغرافيا البشرية فقط إلى تفسير ذلك الجزء من الواقع الجغرافي الذي يُمكن قياسه كمياً ، ولا تُحاول غالبًا تفسير السلوك الفردي . هذا التقيد المتأصل للنماذج في الجغرافيا البشرية يترك فجوة واسعة حاول الجغرافيون البشريون سدّها بطرق مختلفة . في الماضي ، لطالما اقترح الجغرافيون البشريون أن نهجًا واحدًا فقط في هذا التخصص هو الأنسب ، منتقدين أحيانًا وجهات نظر أخرى . يشير اتجاه حديث في الجغرافيا البشرية إلى أن دمج مختلف المناهج المفاهيمية والأدوات التحليلية يمكن أن يؤدي إلى فهم أشمل للظواهر الجغرافية . ربما يوفر دمج النمذجة مع الأدوات النوعية استجابة كافية لقيود كل نهج . في تاريخ الجغرافيا البشرية ، تم قبول شرعية النمذجة والافتراضات ذات الصلة بشكل كامل ضمن التقليد المعروف باسم العلوم المكانية ، أو على نطاق أوسع ، الجغرافيا البشرية الكمية (ليفينغستون 1992) . كان للنهج الكمي تأثير قوي على البحث الجغرافي المعاصر ، والعديد من النماذج المستخدمة حاليًا في الجغرافيا البشرية متجذرة في هذا الإطار . انتشر العلم المكاني في الجغرافيا البشرية طوال خمسينيات وستينيات القرن الماضي . وبينما تطور الفكر الجغرافي البشري إلى تقاليد مختلفة في العقود التالية ، فإن التطورات في تكنولوجيا الحوسبة التي بدأت في هذه العقود نفسها سمحت بتقدم سريع في النمذجة الرياضية . على سبيل المثال ، كان التطور المبكر لنظم المعلومات الجغرافية مستقلاً عن العلوم المكانية ، لكن العديد من الجغرافيين أدركوا لاحقًا إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية ، ليس فقط لتمثيل البيانات وإدارتها ، ولكن أيضًا للتحليل والنمذجة . على مدى العقود القليلة الماضية، أدى هذا التفاعل بين مختلف المجالات الفرعية للجغرافيا البشرية الكمية إلى **تطوير التحليل المكاني** الذي شمل العديد من المجالات .

هناك مناهج ممكنة ؛ يستخدم بعض واضعي النماذج أساليب إحصائية متقدمة لاستكشاف الأنماط التجريبية بين المتغيرات ذات الصلة ، بينما يستخدم آخرون الرياضيات والإحصاءات المكانية كلغة لتطوير واختبار النظريات التفسيرية . يعمل العديد من الجغرافيين البشريين الكميّين باستخدام الأساليب التحليلية المستخدمة في التحليل المكاني ، مما يجعل المجالين غير قابلين للتمييز إلى حد ما . الجغرافيا البشرية ليست تخصصًا موحدًا ومتناسكًا ؛ في الواقع ، يمكن تحديد عدد من المجالات داخل جوهرها (فيلمان وآخرون، 1997) . كل تخصص فرعي مستقل إلى حد ما ، بحيث لا تشترك أساسياته بالضرورة مع التخصصات الفرعية الأخرى ، وغالبًا ما يرتبط كل منها بتخصصات أخرى في العلوم الاجتماعية خارج الجغرافيا ؛ على سبيل المثال ، يمكن عد الجغرافيا الاقتصادية تخصصًا فرعيًا من الاقتصاد .

ربما تكون التخصصات الفرعية الأكثر رسوخًا في تقاليد النمذجة هي الجغرافيا الاقتصادية والحضرية ، وقد أصبحت تعديلات نماذج الجغرافيا الاقتصادية (مثل تلك المستخدمة لدراسة استخدام الأراضي الحضرية) نهجًا يتبناه العديد من جغرافيين المناطق الحضرية . وبالمثل ، تستخدم الجغرافيا الطبية أو الصحية ، وهي تخصص فرعي ازدادت أهميته مع المخاوف بشأن انتشار الأمراض ، نماذج كمية لتحليل انتشار الأوبئة والمحددات البيئية أو الاجتماعية والاقتصادية للأمراض . تخضع التخصصات الفرعية المختلفة للجغرافيا البشرية لتطور ديناميكي في الفكر (ينظر الفصل 3) . حتى التخصصات الفرعية التي قبلت تقليديًا استخدام نماذج معينة ، شككت أحيانًا في صحة بعض نماذجها المبكرة ، وقد تقبل التخصصات التي رفضت تقليديًا استخدام النماذج أو حتى تدعمها . على سبيل المثال ، على مدى العقود القليلة الماضية ، دفعت التغيرات

الجذرية في الاقتصاد العالمي ، كالصدمات المتكررة الناجمة عن التقلبات الكبيرة في أسعار النفط ، وانهيار الاقتصادات المخططة مركزياً في أوروبا ، والظاهرة المعروفة باسم العولمة ، العديد من الباحثين إلى التشكيك في أسس الجغرافيا الاقتصادية الكلاسيكية ، ورفض النماذج السابقة ومفاهيمها عن الاقتصاد العالمي (نوكنس وآخرون، 2003) . في الوقت نفسه ، شهد مجال الجغرافيا الحضرية ، ضمن تخصصه الفرعي ، انتعاشاً حديثاً في استخدام النماذج ، لا سيما فيما يتعلق بقضايا تغير استخدام الأراضي والنمو الحضري . وقد أصبح الاستخدام المتزايد لهذه النماذج وغيرها ممكناً جزئياً بفضل زيادة توافر البيانات وتحسين أدوات المعالجة . والأهم من ذلك ، أن تطورها كان مدفوعاً بزيادة قبول النماذج في بيئات صنع القرار التعاوني المحلية (هيرولد وآخرون، 2005).

أمثلة على النماذج في الجغرافيا البشرية

في حين تُستخدم النماذج المفاهيمية في الجغرافيا البشرية لتجميع وتوصيل العلاقات بين المتغيرات والعمليات الأساسية المرتبطة بالظاهرة قيد الدراسة ، فإن النماذج الرياضية شائعة الاستخدام ، وهي محور تركيز القسم الاتي . يمكن وصف النماذج الرياضية المستخدمة حالياً في مختلف التخصصات الفرعية للجغرافيا البشرية بأنها :

(أ) نماذج نظرية قائمة على العمليات (يُشار إلى بعضها بالنماذج "الكلاسيكية") ، وهي نماذج توضيحية، وغالباً ما تنسم بعمومية كبيرة ، ولكنها لا تستطيع دائماً تفسير الظواهر المرصودة بشكل كافٍ؛ و
(ب) نماذج تجريبية ، ذات خلفية نظرية أضعف ، ولكنها قد تتمتع أحياناً بالقدرة على التنبؤ بالظواهر المرصودة.

تُعد بعض النماذج الرياضية المبكرة مهمةً لأنها تستند إلى أسس نظرية ، وتتشترك في هدفٍ واحد ؛ وهو تفسير الظواهر الجغرافية بناءً على متغيرات مثل المساحة والموقع والمسافة . وتُمثل بساطتها النسبية أعظم نقاط قوتها ونقطة ضعفها الأساسية ؛ ويرجع ذلك إلى أنه لا يُمكن تفسير الأنشطة البشرية غالباً من خلال عدد قليل من المتغيرات الرئيسية . ولتحقيق أهدافها، تعتمد هذه النماذج على مجموعة من الافتراضات ؛ وأي محاولة لتخفيف هذه الافتراضات تزيد من قدرة النماذج على تفسير الظواهر المرصودة ، لكنها تُضعف قوتها وعموميتها .

تُعاير النماذج التجريبية لتفسير حالات محددة . وتُعد هذه النماذج مفيدةً للغاية في سياقات تطبيقية متنوعة ، وتُمثل أدوات قيمةً لصانعي القرار . وتُطور هذه النماذج باستخدام التحليل المكاني ، في إطار التحليل الإحصائي (وقد تستفيد من نظم المعلومات الجغرافية) (ينظر الفصلين 18 و 22) . كمثال على هذا النوع من النماذج الرياضية ، قد يجمع الباحث بيانات حول جودة الهواء ومعدلات الإصابة بالأمراض في منطقة معينة على مدى فترة زمنية محددة لتحليل العلاقة بين تلوث الهواء ومعدل الإصابة بالسرطان في مجموعة سكانية . تُستخدم هذه البيانات لمعايرة معلمات النموذج ، مما يساعد الباحث على تحديد ما إذا كان تلوث الهواء مرتبطاً بمعدل الإصابة بالسرطان .

عادةً ما تتضمن هذه النماذج متغيرين رئيسيين أو أكثر للنظام ، وقد تصف علاقات متبادلة ، مثل التفاعل المكاني ، أو علاقات سببية محتملة بين المتغيرات ، والتي يمكن إبرازها باستخدام تحليل الانحدار . على سبيل المثال ، قد يتخذ نموذج الإصابة بالسرطان شكلاً متعدد المتغيرات ، حيث يكون معدل الإصابة بالمرض دالة لتلوث الهواء ، ولكن أيضاً للعوامل الديموغرافية والاجتماعية والاقتصادية المسجلة في نقاط محددة (مثل مناطق التعداد) . في معظم الحالات ، يُدمج عنصر عشوائي في النموذج ، للتعبير عن عدم اليقين في العلاقة . في حالة الإصابة بالسرطان ، على سبيل المثال ، حتى المجموعة الأكثر اكتمالاً من العوامل

البيئية والاجتماعية والاقتصادية لا يمكنها تفسير حدوث المرض بشكل كامل ، والذي يعتمد جزئياً على متغيرات مثل العوامل الوراثية والنظام الغذائي التي لا يمكن تضمينها في النموذج المكاني .

يُفسر العنصر العشوائي الجزء من الظاهرة الذي لا يستطيع النموذج التقاطه ، وقد يُهيئ نفسه لمزيد من البحث . بمجرد حساب معلمات النموذج ، يمكن تكرار جمع البيانات وتحليلها لمناطق وفترات زمنية مختلفة ، مما يعزز عمومية النموذج . ومع ذلك ، عند إجراء هذا التمرين ، أدرك الباحثون أن البيانات المكانية تمتلك خصائص فريدة تؤثر على معايرة المعلمات وموثوقية تقديرات النموذج (بيرتازون وآخرون، 2006).

توجد الآن إجراءات تحليلية معقدة للتغلب على هذه المشكلات . وبناءً على الأفكار التي نوقشت أعلاه ، يُقدم الآن مثال محدد يستخدم الانحدار متعدد المتغيرات أدناه وفي الملحق 21.3 . العديد من المخاوف الصحية الأولية لمجتمعاتنا ذات طبيعة مكانية : كشف المخاطر الصحية البيئية ورصدها ؛ والاستجابة السريعة والفعالة لتفشي الأوبئة ؛ وإمكانية الوصول الفعال إلى خدمات الرعاية الصحية - وكلها تعتمد على التحليل المكاني .

علم الأوبئة المكاني - المعروف أيضًا باسم علم الأوبئة الجغرافي - يهتم بدراسة الأنماط المكانية للأمراض والوفيات ، ومحددات المرض وتفاعلها الديناميكي في المكان والزمان (Waller and Gotway 2003) . على سبيل المثال ، يُعد مرض القلب أحد الأسباب الرئيسية للوفاة في العالم المتقدم . بالإضافة إلى عوامل الخطر غير القابلة للتعديل ، مثل العمر والجنس والخلفية الوراثية ، وُجد أن المرض مرتبط بعوامل خطر قابلة للتعديل ، مثل الإجهاد ، وقلة النشاط البدني ، والتدخين ، وتناول كميات كبيرة من السعرات الحرارية ، وارتفاع نسبة الدهون المشبعة (Ahlbom and Norell 1984) . وترتبط عوامل الخطر القابلة للتعديل هذه ، بدورها ، بالخصائص الديموغرافية والاجتماعية والاقتصادية (مثل العمر والمهنة).

تُظهر هذه المتغيرات توزيعًا مكانيًا محددًا ، ويمكن قياسها من خلال متغيرات التعداد السكاني . ويمكن لنموذج الانحدار متعدد المتغيرات لهذه المتغيرات ربط انتشار المرض بهذه المتغيرات الديموغرافية والاجتماعية والاقتصادية (الملحق 21.3) ، مما يوفر صورة واقعية عن الأماكن التي يُتوقع فيها ارتفاع معدل الإصابة بالمرض في مدينة معينة في المستقبل القريب ، وأي سياسات الإسكان تزيد من انتشار المرض ، وأي قرارات الموقع تعزز إمكانية الوصول إلى خدمات الرعاية الصحية للسكان المعرضين للخطر (بيرتازون وأولسون 2008) . ويُنظر الآن في نموذجين رياضيين قائمين على النظرية :

(أ) استخدام الأراضي الزراعية والحضرية (أو سوليفان 2003)؛ و

(ب) التفاعل المكاني وانتشار الابتكار (بيلي وجاتريل 1995).

ولعل أشهر مثال على نموذج الاقتصاد المكاني هو نموذج يوهان هاينريش فون ثونن (1783-1850) لاستخدام الأراضي الزراعية ، والذي عُرض في كتابه "الدولة المعزولة" (1826) .

بصفته مالكًا للأراضي ، اهتم فون ثونن بالعوامل التي تساعد المزارعين على تعظيم العائدات . ويركز تحليله على المتغيرات التي تحدد الربح ، وهي : الاستخدام الأمثل للأرض وتقليل تكاليف النقل . وبما أن تكاليف النقل في النموذج تعتمد على المساحة والمسافة ، يعتمد النموذج على مجموعة من الافتراضات التبسيطية ، التي تُعرّف حالته المعزولة ما قبل الصناعية : سهل دائري متجانس ، بسوق مركزي واحد ، ودون علاقات خارجية (دولية) . تتميز هذه "الحالة المعزولة" المسطحة تمامًا بتربة ومناخ متجانسين ، ولا توجد أنهار أو جبال ، وتحيط بها براري . ومن الافتراضات التبسيطية الأخرى أن المزارعين يتصرفون بعقلانية لتعظيم الأرباح ، وينقلون سلعهم مباشرةً إلى السوق في المدينة المركزية باستخدام عربات تجرها الثيران (نظرًا لعدم وجود طرق) ، ولديهم معرفة جيدة بالتكاليف والمسافات التي سيقطعونها.

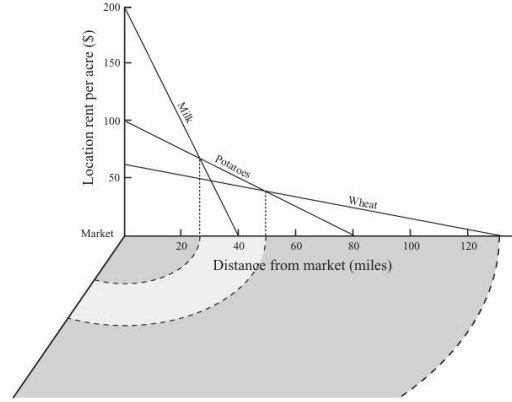


Figure 21.4 Agricultural land use model: location rent curves versus distance from market for different commodities (after Dicken and Lloyd 1990)

تحدد صيغة رياضية الربح المرتبط بكل محصول كدالة لتكلفة نقله ، حيث R هو إيجار الأرض ؛ γ هو العائد لكل وحدة من الأرض ؛ c هي تكلفة الإنتاج لكل وحدة من السلعة ؛ p هو سعر السوق لكل وحدة من السلعة ؛ و f هو سعر الشحن ؛ و m هي المسافة إلى السوق . وبالتالي، كلما ازدادت المسافة من المدينة المركزية ، انخفضت قيمة المحاصيل المنتجة ، ويتنبأ النموذج بأنماط النشاط الزراعي على شكل حلقات متحدة المركز (الشكل 21.4). تم توسيع نطاق نموذج فون ثونن ، وهو يُطبق حاليًا خارج سياقه الزراعي الأصلي . ففي الجغرافيا الحضرية ، على سبيل المثال ، استُخدم لتفسير استخدام الأراضي ؛ حيث تقع الأنشطة التجارية والخدمية عادةً في وسط المدينة (منطقة الأعمال المركزية) ، بينما تقع أنشطة التصنيع والتخزين في الحلقات الخارجية . كما استُخدم لتحليل المدن أحادية المركز ومتعددة المراكز، وديناميكيات استخدام الأراضي الحضرية (أو سوليفان 2003).

تُركز نماذج التفاعل المكاني ، وهي حالة ثانية تُدرس هنا ، على تدفقات الأشخاص أو البضائع أو الأفكار بين الأماكن . تنطبق هذه النماذج على مجموعة متنوعة من الأنشطة البشرية ، بدءًا من تدفقات المسافرين بين المدن ، ووصولًا إلى زيارات المستشفيات أو مراكز التسوق . واستنادًا إلى مفاهيم الفيزياء ، غالبًا ما استخدم الجغرافيون الكيميون **مفهوم الجاذبية** ، بحيث يتناسب التفاعل المتوقع بين مكانين مع كتلة قوة جاذبيتها ، التي تقل بفعل احتكاك المسافة . تتمثل الخطوة الأولى المهمة في تعريف هذه النماذج في تحديد المؤشرات ذات الصلة ، أو العوامل التي تُمارس الجاذبية : ومن الأمثلة النموذجية على ذلك عدد السكان أو الخدمات أو عدد الوظائف . أما الخطوة الثانية فهي تحديد وقياس مسافة ذات معنى للظاهرة قيد الدراسة : ومن الأمثلة على ذلك المسافة على طول شبكة الطرق ، أو وقت السفر ، أو تكلفة السفر . الخطوة الأخيرة هي معايرة معايير العلاقة . بتقدير هذه المعايير ، يتوصل الباحث إلى فهم أعمق للآليات التي تحكم التفاعل . ومن الجوانب التي حظيت باهتمام كبير من قبل الجغرافيين دور المسافة ، وبشكل أكثر تحديدًا أهمية الفصل بين المكانين ، ومدى قوة الاحتكاك الذي يُحدثه على تفاعلها.

يُعد **نموذج انتشار الابتكار** فئة مهمة من نماذج التفاعل المكاني ، وهو مبني على العمل النظري للجغرافي السويدي تورستن هاغيرستران (1916-2004) . فقد لاحظ وجود نظام مكاني ملحوظ في تبني الابتكار ، ووضع نموذجًا نظريًا لمحاكاة عملية الانتشار ومحاولة التنبؤ بها . تكمن أهمية مساهمته ووثاقته صلته بإدخاله **الزمن في تحليل العمليات الجغرافية البشرية** ، ويمثل عمله في جغرافية المكان والزمان ابتكارًا أساسيًا في الجغرافيا البشرية الكمية . ومع ذلك ، ما تزال العمليات المكانية الزمنية صعبة النمذجة حتى يومنا هذا ، وما يزال الكثير من الأبحاث مخصصًا لهذه المشكلة . في نموذج هاغيرستران ، يمكن تقسيم عملية

الانتشار إلى عدد من المراحل (الشكل 21.5) ، مما يسمح للباحث ليس فقط بفهم العملية المرصودة ، ولكن أيضاً بالتنبؤ بنتائجها .

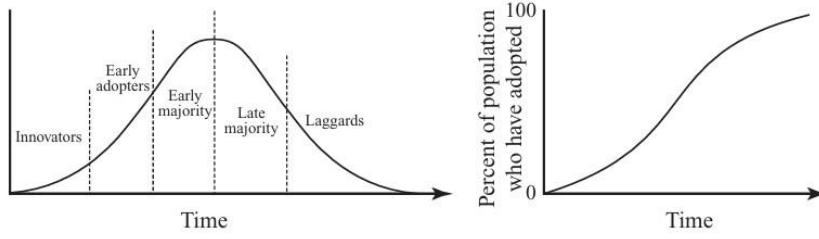


Figure 21.5 Innovation diffusion: classification of the various stages of a diffusion process according to Hägerstrand (after Clark 1984)

تتضمن بنية العملية ومراحلها الاتي : الاختراق ، مع التجمعات الأولية وعدد قليل من المتبنين (عادةً في مناطق صغيرة) ؛ التوسع ، عن طريق الانتشار الشعاعي الذي ينطوي على إنشاء تجمعات جديدة وزيادة كبيرة في عدد المتبنين الجدد ؛ والتشبع ، الذي يتميز بانكماش ملحوظ في عدد المتبنين وانخفاض معدل التبني . تتراوح التطبيقات الحالية لنماذج انتشار الابتكار بين تغلغل الابتكارات التكنولوجية (مثل يُسهم استخدام الإنترنت أو مشغلات أقراص بلو راي (DVD) في تحليل انتقال الأمراض في مجال الجغرافيا الطبية وعلم الأوبئة . كما تُستخدم نماذج الجاذبية وغيرها من نماذج التفاعل المكاني في الدراسات الجغرافية والوبائية لتحليل كيفية انتقال الأمراض : ففي حالة انتقال العدوى المعدية ، يميل الأفراد القريبون إلى التأثير دائماً نظراً للدور الكبير للمسافة . ومع ذلك ، يمكن أن تظهر الأمراض أيضاً في بعض الأماكن ثم تنتشر عبر عقد التسلسلات الهرمية الحضرية وشبكات النقل . ومن الأمثلة على الانتقال الهرمي وباء متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد الوخيم (سارس) عام 2003 ، الذي نشأ في مقاطعة صينية نائية . انتقل سارس عبر عقد النقل الرئيسية لطرق الطيران الدولية ، وبهذه الطريقة وصل بسرعة إلى مواقع بعيدة ، مثل تورنتو، كندا (بوين ولارو، 2006).

تقييم النموذج

يُعد تقييم النموذج مرحلةً أساسيةً في أي عملية نمذجة ، سواء أكان النموذج متجذراً في الجغرافيا الطبيعية أم في تقاليد الجغرافيا البشرية . فبدون تقييم نقدي للنموذج ، تبقى الدلالة التي يمكن ربطها بالنتائج غير واضحة . ومع ذلك ، فإن تحديد ما يُشكل "اختباراً نقدياً" لنموذج معين وأدائه يُعدّ مسألةً مثيرةً للجدل . يتناول النقاش الاتي بعض الخصائص الأساسية التي يجب مراعاتها أثناء تقييم النموذج . أولاً، لا تُعادل جودة النموذج مجرد التوافق التجريبي لنتائجه مع ملاحظات البيانات (هودجز وديوار، ١٩٩٢) . ينبغي أن تشمل جودة النموذج مجموعةً من العوامل ، مثل سلامة المبادئ الأساسية ، وكمية وجودة معلومات الإدخال ، واتساق نتائج النموذج مع البيانات المرصودة (تأكيد النموذج) . علاوة على ذلك ، ينبغي أن يركز تقييم النموذج على الجوانب الإيجابية والسلبية ونتائج عملية النمذجة (أوريسكيس 1998).

من المهم مراعاة المحتوى الفعلي للنموذج عند تقييم "جودته" بشكل عام . لا يُمكن تقديم تمثيلات خالية من العيوب باستخدام نماذج مفاهيمية أو فيزيائية أو رياضية لمعظم الأنظمة ، ومن المُسلّم به عموماً وجوب وضع افتراضات وتبسيطات . يجب على الباحث مراعاة "العيوب" في تمثيل النموذج للنظام والتي

يجب تقبلها ، مع الاستمرار في تقديم رؤى بشأن خصائص النظام الأساسية (مارتن وتشرش 2004) . على سبيل المثال ، قد يكون من الممكن نمذجة سلوك "متوسط" مناسب لما قد يكون عمليات وتغيرات في الشكل معقدة للغاية ؛ وبالتالي يتم الحفاظ على الاتساق الداخلي ، على الرغم من التبسيط . ومن العوامل الأخرى التي يجب مراعاتها تعقيد النموذج ، وعدد متغيرات الإدخال ، وجودة البيانات المطلوبة لإنتاج نتائج "مقبولة" . وأخيرًا ، يُعد تأكيد النموذج عنصرًا أساسيًا في تقييمه . ويشمل ذلك مقارنة نتائج النموذج ببيانات تجريبية مستقلة لتقييم درجة الاتساق المُحققة .

وقد كرّست فلسفة المجتمع العلمي جهودًا كبيرة لمسألة ما إذا كان من الممكن إثبات "صحة" الفرضيات أو النظريات من خلال اختبار النموذج والتأكيد التجريبي . وكما ذكر في الفصل الثالث ، طرح كارل بوبر (1902-1994) مفهوم التفنيد ، حيث ادّعى أن العلم لا يتقدم إلا من خلال إثبات عدم صحة النظريات بشكل قاطع ، وأنه لا يمكن إثبات صحتها أبدًا . بناءً على أهداف الدراسة ، قد تختلف ترجيح العوامل المختلفة الموضحة أعلاه عند تقييم أداء النموذج . ومع ذلك ، لا ينبغي الاعتماد على النماذج لتقديم إجابات قاطعة لتفسير الظواهر. بل ينبغي استخدامها بالتزامن مع مناهج ومنهجيات أخرى ذات صلة خلال عمليات تطوير النظرية واختبارها.

الخلاصة

على الرغم من أن النماذج تُمثل تصورات مثالية للواقع ، إلا أنها قد تكون فعالة في فهم آلية عمل الظواهر الطبيعية والبشرية . **لا تُستخدم النماذج بشكل موحد في جميع فروع الجغرافيا** . على وجه الخصوص ، تُستخدم النماذج على نطاق واسع في الجغرافيا الطبيعية ، ولم تُقبل إلا في بعض فروع الجغرافيا البشرية . يمكن للنماذج أن تُقدم صيغًا تخمينية لمشكلة ما ، أو تختبر فهمنا لظاهرة ما ، أو تُمكننا من معرفة كيفية استجابة النظام للتغيرات في متغيرات الإدخال أو معلمات النموذج . على الرغم من ضرورة وضع افتراضات والتبسيط ، إلا أنه ما يزال يتعين الحفاظ على خصائص النظام الأساسية ؛ من المهم تحقيق توازن حاسم إذا أردنا للنمذجة أن تكون تمرينًا ذا معنى . إن الافتراضات والتبسيطات المرتبطة بالنمذجة هي التي تكمن وراء العديد من مخاوف الجغرافيين البشريين . علاوة على ذلك ، غالبًا ما يظل من غير الواضح كيفية انتشار أوجه عدم اليقين غير الخطية من خلال النماذج المعقدة النموذجية للأنظمة البيئية والبشرية / المجتمعية.

ناقش هذا الفصل ثلاثة أنواع من النماذج المستخدمة في الجغرافيا الطبيعية . تُستخدم النماذج المفاهيمية في جميع مراحل البحث ، وتمثل طريقة لتجميع الأفكار وفهم تشغيل النظام . تُعد النماذج الفيزيائية أدوات قوية في البحث العلمي لأنها تسمح بالتحكم المباشر والدقيق في المتغيرات ، وهو أمر نادر الحدوث في الدراسات الميدانية . وبالمثل ، تسمح النماذج الرياضية بالتحكم في متغيرات المدخلات والمعلومات من خلال التباين المنهجي للمتغيرات أثناء تشغيل النموذج . غالبًا ما تجعل البساطة النسبية للنماذج التجريبية مرغوبة ، بينما تُعد القوة التفسيرية للنماذج القائمة على العمليات سمة قيمة . في حين أن النمذجة لا تُستخدم في العديد من فروع الجغرافيا البشرية ، فإن بعض المجالات الفرعية تستخدم نماذج مفاهيمية أو رياضية . **العديد من النماذج المُطورة في الجغرافيا البشرية مُجذرة في تقاليد العلوم المكانية** ، وتهدف إلى تحديد وإثبات عالمية النظريات المتعلقة بسلوك الظواهر المكانية ؛ ومن السمات المميزة لهذه النماذج **الدور المركزي للمسافة في تحديد العلاقات المكانية** . ومع ذلك ، فإن الافتراضات الجامدة المطلوبة غالبًا في مثل هذه النماذج غالبًا ما تحد من قيمتها العملية وقابليتها للتطبيق .

يظل تقييم النموذج أحد أقل جوانب النمذجة فهمًا ، ولكن يجب أن يشمل عوامل تشمل سلامة المبادئ الأساسية ، وكمية ونوعية معلمات الإدخال ، واتساق نتائج النموذج مع البيانات الملاحظة . يمكن أن تُوفر النماذج منهجية قوية في دراسة الأنظمة التي يدرسها الجغرافيون ، مُقدمةً دليلاً واحداً ضمن نطاق أوسع من المناهج والأساليب المُتبعة في دراسة الظواهر الجغرافية.

الملحق ٢١،١

النماذج الفيزيائية لقنوات الأنهار

لأكثر من قرن ، استخدم مهندسو الأنهار نماذج فيزيائية صغيرة الحجم لدراسة عمليات الأنهار، مثل ديناميكيات التدفق ، ونقل الرواسب ، وتطور مورفولوجيا قنوات الأنهار، واختبار تصاميم هياكل الأنهار في ظل ظروف تجريبية مُتحكم بها . وقد اعتمد علماء الجيومورفولوجيا هذه الأساليب واستخدموها لدراسة العمليات النهرية وديناميكيات الأنهار . تتطلب النماذج الفيزيائية بعض التحقق من صحتها مقارنةً ببيانات العالم الحقيقي ، إلا أن النمذجة الفيزيائية للأنهار تتميز بعدد من المزايا مقارنةً بالرصد الميداني ، بما في ذلك : نطاق زمني مُختصر (حيث تحدث العمليات طويلة المدى بشكل أسرع) ؛ والتحكم في تصريف النهر وظروف أخرى ، مثل معدل توصيل الرواسب ومنحدر القاع (الوادي) ؛ وسهولة مراقبة وقياس مورفولوجيا الأنهار والعمليات .

تتطلب النمذجة الفيزيائية مرافق مختبرية متخصصة ، مثل المجرى المائي في جامعة غرب أونتاريو ، والذي استخدمه بي . أشمور وزملاؤه (مثل بيرس وأشمور 2003) لدراسة جوانب مختلفة من مورفولوجيا الأنهار وعملياتها . يبلغ طول هذا المجرى المائي 20 مترًا وعرضه 3 أمتار، وله طبقة رملية ذات تدرج مُصغّر لتمثيل الحصى النهرية متوسط الحجم . يُثبت على رافعات ويمكن إمالاته إلى منحدرات مختلفة . تُجمع الرواسب الخارجة من طرف المجرى المائي وتُعاد إلى طرفه العلوي . يمكن قياس الأنهار النموذجية بدقة وفقًا لقوانين القياس الهيدروليكي ، بحيث تتم نمذجة مورفولوجيا النهر "الحقيقي" كامل النطاق (النموذج الأولي) بدقة ، أو قد تكون نماذج تناظرية يُخفف فيها القياس الدقيق ، وفي هذه الحالة لا يقدم النموذج سوى فكرة عن العمليات والاستجابات الجيومورفولوجية، دون السماح بنفس درجة المقارنة مع النهر كامل النطاق. بالنسبة للقياس الهيدروليكي ، يتم اختيار مقياس طول النموذج في البداية ، غالبًا عن طريق تقليل أحجام جزيئات مادة قاع النموذج الأولي (بالنسبة للأنهار ذات قاع الحصى، تكون مقاييس النماذج 1:30 نموذجية) . تدرج القناة في النموذج هو نفسه الموجود في النموذج الأولي. يُحسب مقياس التصريف بأخذ تصريف النموذج الأولي وخفض هذه القيمة بمقدار 2.5 من مقياس الطول . على سبيل المثال ، يُعطي تصريف النموذج الأولي البالغ 20 مترًا مكعبًا في الثانيةً تصريفًا نموذجيًا مُقاسًا يبلغ 4 لترات في الثانية. المقياس الزمني للنموذج هو الجذر التربيعي لمقياس الطول؛ مقياس طول 30 يُعطي مقياسًا زمنيًا يتراوح بين 5 و6، مما يعني أن سرعة التدفق في النموذج تتراوح بين 1/5 و1/6 من سرعة النهر الحقيقي. وبالتالي، تعمل العمليات الجيومورفولوجية المكافئة في النموذج أسرع بخمس إلى ست مرات من النموذج الأولي.

الملحق 21.2:

كيف نُقيّم النماذج الرياضية؟

دعونا نتناول نهجًا للنمذجة الرياضية لتحديد كيفية استجابة مورفولوجيا وديناميكيات الغطاء الجليدي لتغير المناخ . السؤال المهم الذي يجب طرحه هو: ما مدى موثوقية هذه التنبؤات ؟ نتناول هذا السؤال باستخدام

مثال نموذج يدمج كلاً من ديناميكيات الغطاء الجليدي وعلم المياه تحت الجليدية ، والذي طُبّق على الغطاء الجليدي فاتنلو أو كول، أيسلندا (مارشال وآخرون، 2005). يُعد تقييم النموذج ، والذي غالباً ما يتكون من تأكيد النموذج بمقارنة النتائج بقياسات واقعية ، إحدى طرق تقييم أداء النموذج (وربما تكون الأكثر شيوعاً) . ومع ذلك ، هناك سلسلة من الخطوات التي تسبق ذلك والتي قد تُحسّن موثوقية التنبؤات . أولاً، نحتاج إلى تقييم بناء النموذج نفسه والتعرف على نقاط قوته وضعفه . تعتمد قوة النموذج على مدى فهم مجموعة من العمليات الفيزيائية ومحاكاتها ؛ ففي حالة نمذجة الغطاء الجليدي ، يجب أن تكون عمليات التشوه الداخلي للجليد والتدفق القاعدي (الانزلاق فوق الطبقة الجليدية وتشوه الرواسب تحت الجليدية) مقيدة جيداً وممثلة تمثيلاً كافياً في النموذج ، ويجب أن تكون تضاريس الطبقة الجليدية قابلة للحل عند بُعد خلية الشبكة المستخدمة لحل المعادلات الحاكمة عددياً.

غالباً ما توفر الدراسات الميدانية وملاحظات الاستشعار عن بُعد بيانات لتقييد مدخلات النموذج ، ويمكن استخدامها في معايرة معادلات العمليات الفيزيائية في النموذج . بمجرد تشغيل النموذج ، يمكن استخدام عمليات المحاكاة التي تُجرى بدقة مختلفة (أي تغيير حجم خلايا الشبكة التي تُشكل النهر الجليدي والتضاريس الأساسية) لتقييم فائدة النموذج على مقاييس مختلفة واختبار اتساقها . النتائج (هل تتقارب التنبؤات عند دقة مختلفة؟). بالإضافة إلى ذلك ، يمكن لتجارب النمذجة باستخدام معلمات عمليات مختلفة أن تُبرز حساسية تنبؤات النماذج لمصادر عدم اليقين المحددة . على سبيل المثال ، أجرى مارشال وزملاؤه عمليات تشغيل للنماذج مع أو بدون عمليات مُحددة مُضمنة في النموذج ، مثل اقتران الإجهاد الطولي في حل ديناميكيات الجليد ، وحلّوا قدرة تصميمات النماذج المختلفة على محاكاة السمات الرئيسية للغطاء الجليدي فاتنلي أو كول (الشكل 21.3).

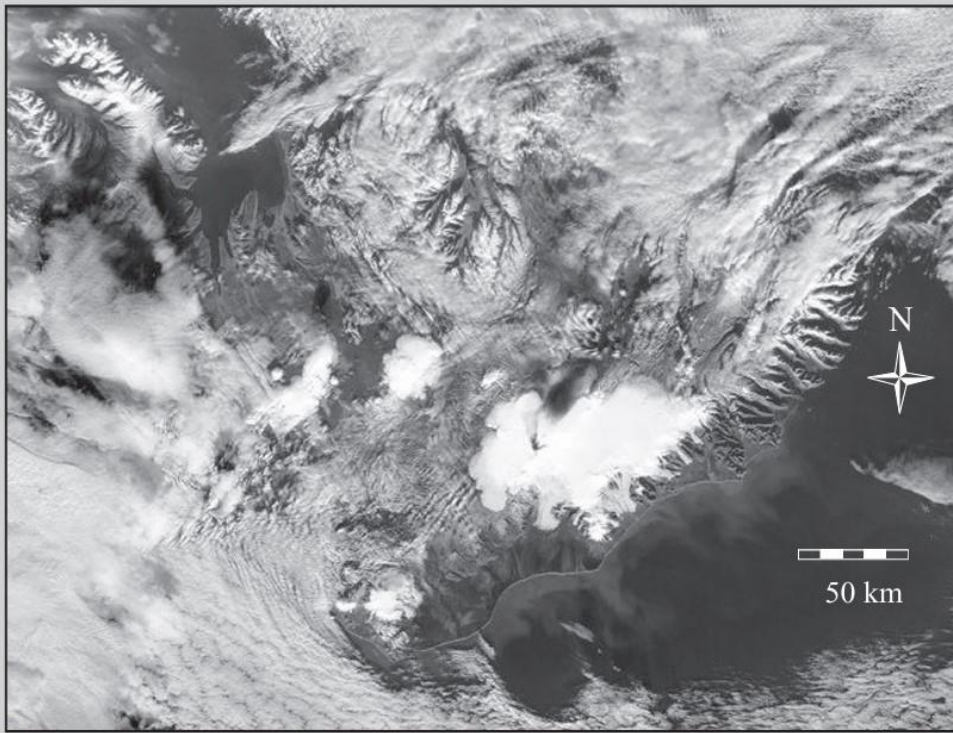


Figure 21.3 The Vatnajökull Ice Cap, southeast Iceland 11/07/2004 (Image courtesy of MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC)

كشفت عمليات التشغيل الأولية للنماذج أن متوسط سماكة الجليد المتوقعة كان كبيراً جداً مقارنةً بالملاحظات الميدانية للغطاء الجليدي فانتاي أو كول . لكن عمليات تشغيل النماذج الإضافية ، والتي شملت التنظيم الهيدرولوجي للتدفق القاعدي ، وربط الإجهاد الطولي ، وتدفق الحرارة تحت الجليدية من المراحل الحرارية الأرضية ، خفضت متوسط سماكة الجليد في عمليات إعادة بناء الغطاء الجليدي إلى قيم أكثر منطقية . قد تكون العملية التي تُسهم في أكبر قدر من الخطأ أو عدم اليقين في التنبؤ هي المرشح الأفضل للدراسات الميدانية المستهدفة . في حالة ديناميكيات الغطاء الجليدي في فانتاي أو كول، يتطلب الفهم الأفضل لعناصر التحكم والأنماط المكانية للتدفق القاعدي المزيد من القيود.

يجب تقييم قدرة محاكاة النماذج على إعادة إنتاج حالات التحكم ، مثل إعادة بناء الوضع الحالي ، قبل عد التنبؤات (أي التنبؤات المستقبلية) ذات معنى أو فائدة . إذا أثبتت النماذج مهارتها في تكرار حالات التحكم ، فمن المحتمل أن تصبح أداة قيمة لتقييم الحالات المستقبلية للأنظمة المعقدة.

الملحق 21.3:

النمذجة الوبائية المكانية

من الجوانب المهمة للنمذجة في الجغرافيا البشرية ضرورة التفسير الدقيق للنتائج التحليلية ، والذي غالباً ما يكون مدعوماً بمعرفة نوعية بالظواهر قيد الدراسة . استخدم نموذج انحدار متعدد المتغيرات لدراسة أنماط المرض في مدينة كالجاري ، كندا (الجدول 21.1) . ترتبط أربعة متغيرات اجتماعية واقتصادية ارتباطاً وثيقاً بانتشار المرض : "الدخل" (ارتباط إيجابي) ، "التعليم ما بعد الثانوي غير الجامعي" (ارتباط سلبي) ، "التعليم في الصف الثالث عشر أو ما دونه" (ارتباط إيجابي)، و "الأسر التي لديها أطفال" (ارتباط سلبي) .

Table 21.1 Variables incorporated in and output (correlation matrix) from a multivariate regression model used to examine patterns of disease in the city of Calgary, Canada

Variable category	Variable name		Variable definition											
Dependent variable	cases		Number of cardiac catheterization cases											
Demographic variables	a45_54		Number of residents aged between 45 and 54 years											
	a55_64		Number of residents aged between 55 and 64 years											
Family variables	a65pl		Number of residents aged 65 years or older											
	single		Number of single-person families											
	w_d_s		Number of families with widowed, divorced, or separated persons											
	sing_p		Number of single-parent families											
	mar.claw		Number of families of two parents with children											
Education variables	gr13ls		Number of couples married or living in common law											
	non_uni		Number of residents with grade 13 or lower education											
	uni		Number of residents with post-secondary, non university education											
Economic variables	f_m_inc		Number of residents with university education											
			Family median income											
		cases	Demographic			Family			Education			Economic		
		a45_54	a55_64	a65pl	single	mar.claw	w_d_s	2p_wchld	sing_p	gr13ls	non_uni	uni	f_m_inc_k	
cases		1.000	0.041	0.569**	0.794**	0.105	-0.377**	0.577**	-0.495**	0.317**	0.181*	-0.235**	-0.051	-0.229**
a45_54		0.041	1.000	0.491**	-0.104	-0.326**	0.273**	-0.403**	0.448**	-0.295**	-0.275**	-0.382**	0.381**	0.586**
a55_64		0.569**	0.491**	1.000	0.415**	-0.237**	0.047	0.051	-0.074	-0.028	-0.026	-0.292**	0.141	0.195**
a65pl		0.794**	-0.104	0.415**	1.000	0.096	-0.416**	0.628**	-0.555**	0.194**	-0.098	-0.334**	0.216**	-0.099
single		0.105	-0.326**	-0.237**	0.096	1.000	-0.911**	0.530**	-0.737**	0.469**	0.163*	-0.046	-0.115	-0.642**
mar.claw		-0.377**	0.273**	0.047	-0.416**	-0.911**	1.000	-0.790**	0.819**	-0.620**	-0.224**	0.127	0.132	0.665**
w_d_s		0.577**	-0.403**	0.051	0.628**	0.530**	-0.790**	1.000	-0.798**	0.702**	0.378**	0.035	-0.322**	-0.639**
2p_wchld		-0.495**	0.448**	-0.074	-0.555**	0.737**	0.819**	-0.798**	1.000	-0.450**	-0.087	0.044	0.053	0.572**
sing_p		0.317**	-0.295**	-0.028	0.194**	-0.620**	0.702**	-0.450**	-0.620**	1.000	0.661**	0.197**	-0.620**	-0.782**
gr13ls		0.181*	-0.275**	-0.026	-0.098	0.163*	-0.224**	0.378**	-0.087	0.661**	1.000	0.251**	-0.919**	-0.698**
non_uni		-0.235**	-0.382**	-0.292**	-0.334**	-0.046	0.115	0.035	0.044	0.197**	0.251**	1.000	-0.611**	-0.294**
uni		-0.051	0.381**	0.141	0.216**	-0.115	0.132	-0.322**	0.053	-0.620**	-0.919**	-0.611**	1.000	0.691**
f_m_inc_k		-0.229**	0.596**	0.195**	-0.099	-0.642**	0.665**	-0.639**	0.572**	-0.782**	-0.698**	-0.294**	0.691**	1.000

Notes: * and ** denote the 0.95 and 0.99 significance levels, respectively
Source: after Bertozzi and Olson (2008)

يتيح تحليل الارتباط المتبادل بين المتغيرات للباحث استنتاج علاقات أكثر ثراءً من تلك التي تنشأ ببساطة من معاملات الانحدار متعدد المتغيرات . على سبيل المثال ، تشير العلاقة الإيجابية بين المرض والدخل إلى أن معدلات الإصابة أعلى في المناطق التي يسكنها مهنيون ناضجون ، مما قد يشير إلى عامل عمر كامن . تتأثر هذه العلاقة بشدة أيضاً بقيم الدخل المتطرفة (أي المناطق ذات الدخل المرتفع جداً والمنخفض جداً : بما أن هذا المتغير يمثل متوسط دخل الأسرة ، فمن المرجح أن يُظهر أعلى قيم له في الأسر المكونة من شخص واحد) . هناك أيضاً روابط بين المرض وفئات مختلفة من الأشخاص الوحيدين ، بدءاً من العزاب ذوي الدخل المرتفع جداً وصولاً إلى الآباء والأمهات العازبين أو الأرامل . هناك نمط مكاني ثنائي : توجد معدلات عالية لانتشار المرض في المناطق التي تهيمن عليها الثروة والمكانة الاجتماعية العالية ، وكذلك في

المناطق التي تتميز بوضع اجتماعي واقتصادي متدنٍ . ومع ذلك ، هناك حاجة أقل إلحاحًا إلى سياسات اجتماعية وصحية استباقية في مناطق المدينة التي يهيمن عليها متغيرا "الدخل" و"التعليم ما بعد الثانوي غير الجامعي" ، وهما مؤشران على الوضع الاقتصادي والاجتماعي المرتفع نسبيًا (على الرغم من أنهما لا يضمنان الرفاهية) ، مقارنة بالمناطق ذات الاهتمام الاجتماعي والاقتصادي حيث يهيمن متغيرا "التعليم في الصف الثالث عشر أو ما دونه" و"الأسر التي لديها أطفال".

التمرين ٢١,١ النمذجة المفاهيمية

الجغرافيا الطبيعية

يُحدّد سُمك الريجوليث من خلال تفاعل عمليات نقل منحدرات التلال وتآكل قاع الصخر (ينظر الفصل ٧) . طوّر نموذجًا مفاهيميًا ، على شكل مخطط "مربعات وأسهم" (ينظر الشكل ٢١,١) ، يوضح آلية عمل الأشكال والعمليات المرتبطة بتطور الطبقة المُجَوّاة، وعلاقاتها، ونتائجها. يجب أن يستند نموذجك إلى بيئة إقليمية مُحدّدة ، وأن يشمل جميع عمليات نقل منحدرات التلال الرئيسية المُتوقع حدوثها في ذلك الموقع.

الجغرافيا البشرية

احصل على خريطة لاستخدام الأراضي في مدينتك أو بلدتك ، بالإضافة إلى المنطقة الريفية المحيطة بها. هل يمكنك ملاحظة أي دليل على نمط فون ثونن المُتمركز؟ هل تلاحظ أي تحوّل من شكل دائري إلى شكل أكثر تعقيدًا ؟ هل تؤثر أي عناصر فيزيائية رئيسية (أنهار، طرق، جبال، إلخ) على النمط؟ ناقش أسباب توافق / عدم توافق البيئة المرصودة مع نظرية فون ثونن (اربط حجتك بالافتراضات التي يقوم عليها النموذج).