

النماذج والنمذجة والجغرافيا

ديفيد ديميريت وجون وينرايت

من التنبؤ بالطقس إلى الاقتصاد ، أصبحت النماذج ميزات الحياة الحديثة المنتشرة في كل مكان ، وإن لم تكن ملحوظة . تُستخدم نماذج من أنواع مختلفة للتنبؤ ومن ثم إدارة كل شيء بدءًا من احتمالية هطول الأمطار في نزهة إلى ردود فعل المستهلكين على التغييرات في أسعار الفائدة . في المقابل ، تعتمد هذه التطبيقات العملية على و تساعد في تطوير واستخدام النماذج في سياق نقي بحث . يمكن القول أن النمذجة أصبحت الأكثر انتشارًا و ممارسة بحثية مؤثرة في تخصص الجغرافيا ، كما هو الحال بالفعل ضمن العلوم بشكل عام .

لقد اكتسبت النماذج مثل هذه الأهمية لأنها توفر طريقة لفهم وتوقع تشغيل الأنظمة التي إما لأسباب عملية وسياسية أو بسبب تعقيدها أو مقياسها المكاني الزماني أو ، أو كلاهما لا يفسح المجال للطرائق التجريبية للتلاعب بالمعلومات أو المجموعة الضابطة. على الرغم من أن الزيادات البشرية المنشأ في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي يمكن تشبيهها بـ "تجربة" على هذا الكوكب ، إلا أنه ليس لدينا كوكب "مجموعة تحكم" ثانية غير معالج لمقارنة نتائج "تجربتنا". حتى لو فعلنا ذلك ، فلن نتمكن من مراقبة النتائج الكاملة لتجربتنا 50 سنة أخرى أو أكثر . بحلول ذلك الوقت سيكون من المستحيل إعادة القيام بتلك "التجربة" إذا اكتشفنا أن كوكبنا لم يعد صالحًا للسكنى .

ومن ثم ، هناك حاجة إلى طرائق أخرى إذا أردنا فهم الديناميكيات للنظام المناخي والتنبؤ باستجابته لانبعاثات الغازات الدفيئة من الوقود الأحفوري في الوقت المناسب لفعل أي شيء حيالها . في هذا الفصل نريد تقديم لمحة موجزة عن تنوع النماذج وممارسات النمذجة التي يشجع استخدامها من قبل الجغرافيين . على الرغم من أنه أصبح الآن مرادفًا إلى حد كبير للتقنيات المعتمدة على الحاسوب يشمل الحساب العددي والنماذج والنمذجة نطاقًا أوسع بكثير من مجموعة متنوعة من الأشكال والممارسات كما أوضحنا في الجزء الأول من هذا الفصل . ومع ذلك ، فإن العديد من البيانات البرامجية المبكرة لما يسمى الثورة الكمية في الجغرافيا أن تقنيات النمذجة الرياضية ستوفر طريقة لتوحيد الاختصاص وضمان مكانته العلمية . أثارت تلك الادعاءات المبكرة حول كل من الوحدة المنهجية للجغرافيا وإمكانية إنتاج النماذج لقوانين تفسيرية صالحة للسببية والتنبؤ نقاشًا كبيرًا (ماكميلان ، 1989) ، والذي نعتبره في الجزء الثاني من هذا الفصل. اكتسب الفهم الصحيح لهذه المناقشات الفلسفية المجردة إلى حد ما حول إمكانية التنبؤ والتحقق من صحة النموذج أهمية إضافية الآن إذ يتم استخدام نماذج الحاسوب المعقدة بشكل متزايد لإبلاغ قرارات السياسة العامة المثيرة للجدل حول تغير المناخ والسياسة الاقتصادية ومسائل أخرى.

تصنيف النماذج

ما هو النموذج؟ يمكن تعريف النموذج بأنه تمثيل مبسط أو "تجريد للواقع" . بهذا التعريف والنماذج سيشمل كل شيء من نظائرها المادية ومقياسها ، نماذج لمخططات تخطيطية مفاهيمية ومربعات واسهم متنوعة لأشكال النمذجة الرياضية (المستندة إلى الحاسوب عادة). بقدر ما النموذج هو محاكاة لشيء آخر بدلاً من الشيء نفسه ، النمذجة تتطلب أن يتخذ الجغرافيون خيارات تحليلية حول ما ينبغي التركيز عليه في النمذجة وما يمكن تبسيطه أو حتى تجاهله معًا . علاوة على ذلك ، بقدر ما تكون ممارسة النمذجة بشكل نموذجي ينطوي على استخدام إجراءات رسمية للغاية ومفهومة على نطاق واسع ، التجريد ، مثل المنطق الرسمي

والرياضيات يمكن أن تساعد أيضًا في تسهيل تكامل البحوث متعددة التخصصات ، مثل تغير المناخ العالمي. العمل مع أنواع مختلفة من النماذج ينطوي على مهارات حرفية مختلفة وتقاليد الممارسة. بدورها ، تعتمد ممارسات النمذجة هذه على مجموعة متنوعة من الفهم الفلسفي للعلم والعلاقات بين النظرية والنماذج والأنظمة التي تدعي أنها تمثلها. ومع ذلك ، فإننا نقترح أن جزءًا من الالتباس في استخدام النماذج داخل الجغرافيا ينبع من الفشل في التمييز بوضوح كاف بين أنواع النماذج والمواقف الفلسفية التي تنطوي عليها استخداماتها. لمعالجة هذا القلق ، نقدم تصنيفًا موجزًا للنماذج وممارسات النمذجة ، قبل الانتقال في الجزء الثاني من الفصل إلى المناقشات حول الأسس الفلسفية والتطبيقات العملية.

النظائر الطبيعية ونماذج المقياس

هذه النماذج هي أنظمة مادية يتشابه شكلها أو سلوكها الملحوظ أو كليهما بطريقة ما مع تلك الموجودة في نظام الاهتمام الفعلي. على سبيل المثال ، تتمثل إحدى طرق استكشاف حركة الرواسب في قناة نهريّة في بناء نموذج مصغر لها في المختبر باستخدام مجرى مملوء بالرواسب. عن طريق التلاعب بحجم وانحدار الرواسب أو حجم وسرعة الماء في مجرى المختبر ، من الممكن التنبؤ بكيفية نقل الرواسب في النهر الفعلي ، الذي تكون ظروفه أقل ملاءمة (أو غير ممكنة) للتحكم بها تجريبيًا . نوع آخر من النماذج الفيزيائية هو النموذج التناظري الطبيعي الذي وصفه كورلي (1964). النماذج التناظرية هي أشياء أو أحداث حقيقية تشبه إلى حد ما بعض العمليات أو الأشياء الأخرى ذات الأهمية العلمية. ومن ثم ، فإن إحدى الطرائق للتنبؤ بإمكانية إعادة الرعاية لتركيزات غازات الدفيئة المتزايدة في المستقبل تتمثل في استخدام النظير الطبيعي الذي قدمته الفترات السابقة من تاريخ الأرض عندما كانت تركيزات غازات الاحتباس الحراري أعلى مما هي عليه الآن. المقياس ، المكاني والزمني ، هو قضية مهمة في بناء مثل هذه النماذج المادية ، كما هو الحال بالفعل ، في أي نوع من النماذج. بعض عمليات مستجمعات المياه ، مثل تأثير الماء على جزيئات الرواسب ، يسهل تصغيرها (من حيث حجمها المادي والقوى الحركية الناتجة) إلى نطاق المختبر أكثر من غيرها ، مثل تأثيرات جذور الأشجار في التمسك بتلك الرواسب. بعد السماح لهذه التشوهات بين المقياس المكاني لمستجمع المياه والنموذج المادي ، لا يزال المحقق يواجه مسألة المقياس الزمني وكيفية استقرار عمليات نقل الرواسب قصيرة المدى المقاسة في المختبر على مدى طويل المقاييس الزمنية التي تشارك في تطور التضاريس الفعلية. بينما تتضمن نماذج القياس بشكل أكثر وضوحًا بناء مادي لنظائرها ، جادل بعض الفلاسفة بأن جميع أشكال النمذجة في الواقع تستند إلى بناء نظائر من نوع أو آخر. تصر فيلسوفة العلوم ماري هيس (1966) على أن جميع النماذج تعمل وفقًا لمقياس لها : إنهم يجلبون النظرية للتأثير على العالم عن طريق رؤية مجال واحد في شروط أخرى. على سبيل المثال ، بعض أقدم النماذج الاقتصادية كانت تستند إلى تشبيه الدورة النقدية بتدفق المياه . على سبيل المثال ، استندت بعض النماذج الاقتصادية المبكرة إلى تشبيه الدورة النقدية بتدفق المياه. من منظور هيس ، العلاقة بين النموذج والنظام الذي تتم مقارنته به موحية ومجازية وليست مقلدة. وهذا يعني أن النموذج لا يهدف إلى عكس ما يمثله بأي نوع من المعنى الفردي أو الفوتوغرافي ولا ينبغي تقييمه من حيث مدى توافقه تمامًا مع النظام الذي يصيغه. بدلاً من ذلك ، من وجهة نظر هيس ، فإن قيمة الحقيقة للنموذج ، مثلها في ذلك مثل الاستعارة ، هي أكثر ذاتية وتكمن في جودة البصيرة التي يوفرها ، في الطريقة التي تجعل مقارنة النموذج بالنموذج جوانب غريبة وغير مألوفة سابقًا مألوفة ومفهومة.

النماذج الرياضية

تستخدم النماذج الرياضية المعادلات الرسمية لتمثيل العلاقات بين مكونات النظام ، وظروف الحالة المختلفة ، ومعادلات التغيير فيها. يمكن أن تتراوح هذه النماذج من المعادلات البسيطة إلى أكواد برامج plex التي تطبق العديد من المعادلات المترابطة لحساب النتائج الصريحة مكانياً ديناميكياً عبر خطوات زمنية منفصلة. من الممكن التمييز بين نهجين عريضين للنمذجة الرياضية - إحصائي تجريبي و استنتاجي - حتمي - ولكن في الممارسة العملية ، تجمع معظم النماذج الكبيرة ، على الأقل في الجغرافيا الطبيعية ، بين كلا النهجين.

النماذج الإحصائية التجريبية تستخدم النمذجة الإحصائية التجريبية تقنيات إحصائية لاشتقاق معادلات رياضية تمثل تشغيل نظام قائم على الملاحظات السابقة. غالباً ما تُستخدم نماذج "الملائمة للبيانات" في السياقات التطبيقية ، مثل هندسة التحكم في الفيضانات ، لتوليد تنبؤات كمية حول السلوك المستقبلي للنظام. لكن النمذجة الإحصائية التجريبية مهمة أيضاً في البحث البحت. بصفتها مرحلة من تحليل البيانات الاستكشافية ، يوفر بناء النماذج الإحصائية الرسمية والتجريبية طريقة واحدة للبحث عن أنماط في مجموعات البيانات الكبيرة وإنشاء فرضيات لشرح أصلها وأثارها.

يعتقد المدافعون عن الحوسبة الأرضية أن أتمتة الكمبيوتر ستجعل هذا النوع من النهج الاستقرائي لاستخراج البيانات وتوليد الفرضيات مهماً بشكل متزايد في البحث الجغرافي . عادةً ما يتم اشتقاق المعادلات الرسمية في النموذج الإحصائي التجريبي من مجموعات البيانات الحالية باستخدام المقاييس الإحصائية للارتباط ، مثل تحليل الانحدار. الانحدار هو أسلوب إحصائي معلمي يأخذ ارتباطات إحصائية تمت ملاحظتها سابقاً بين المتغيرات القادرة وتناسب معادلة لها تسمح لك بالتنبؤ بقيمة أي متغيرات تعتبرها "تابعة" ، مثل ، على سبيل المثال ، تدفق التدف [m3s] Q ، لأية قيمة معينة لهذه المتغيرات تعتبرها "مستقلة معلقة" ،

$$Q = a + b R^c + \varepsilon \quad (12.1)$$

في هذه المعادلة ، يُطلق على Q و R اسم المتغيرات لأن قيمها تتغير ديناميكياً من تطبيق واحد أو تكرار الخطوة الزمنية للنموذج إلى التالي. على النقيض من ذلك ، فإن المصطلحات الأخرى في هذه المعادلة تسمى المعلمات لأن قيمها ، بمجرد تعيينها من خلال عملية تسمى المعلمات (ينظر أدناه) ، تظل ثابتة وتعيين شروط الحدود لأي تشغيل للنموذج. المعلمة «عبارة عن مصطلح خطأ يعبر عن عدم اليقين في العلاقة بين Q و R ، إما بسبب قياس خطأ مئة أو ربما أيضاً لأن Q قد يتأثر أيضاً ، بالإضافة إلى R ، بمتغيرات أخرى لم يتم حسابها بشكل مباشر في نموذجنا .

تسمى عملية تعيين القيم للمعلمات تحديد المعلمات. غالباً ما يشكل عمل إنشاء المعلمات وتحسينها الجزء الأكبر من بناء نموذج رياضي. بينما قد يتم تعيين قيم المعلمات في البداية بناءً على التقديرات التجريبية ، فمن الشائع أيضاً ، في عملية بناء النموذج ، استخدام تقنيات التحسين الرياضي لتخصيص القيم من أجل زيادة ملاءمة الملاءمة (مقياس إحصائي للتوافق) بين تنبؤات النموذج والبيانات المرصودة. نتيجة لضبط قيم المعلمات الدقيقة بهذه الطريقة ، غالباً ما توفر النماذج الإحصائية التجريبية تنبؤات دقيقة جداً حول الارتباط بين المتغيرات في المكان والفترة الزمنية المحددة التي تم تحسين أدائها فيها. على سبيل المثال ، لا تزال المعادلة العالمية لخسارة التربة (USLE) ، وهي نموذج إحصائي تجريبي يعتمد على عشرات الآلاف من نقاط البيانات ، قادرة على إنتاج تقديرات لمعدلات تآكل التربة التي تكون على الأقل جيدة مثل النماذج المعتمدة على العمليات الأكثر تعقيداً. عندما تكون هناك أسباب نظرية جيدة لدعم مثل هذا التقريب الإحصائي التجريبي

، يشير الجغرافيون الطبيعيون أحياناً إلى النموذج أو المعلمة الناتج على أنه "قائم على أساس مادي" ، على الرغم من أن مصطلح "قائم على العملية" ربما يكون مصطلحاً أفضل في هذه الحالة لأنه لا يعتمد على فيزياء النظام ولكن بدلاً من ذلك على تبسيط العملية المفترضة في العمل.

اثنتين من الآثار المترتبة على ممارسة نموذج المعلمة والتحسين. أولاً ، تخلق معايير قيم المعلمة مشكلات منطقية للدائرية في التحقق من صحة النموذج وقد تؤدي إلى حصول النموذج على الإجابة "الصحيحة" (بمعنى الملاحظات المطابقة) ولكن لسبب خاطئ (أي قيم المعلمة غير الواقعية مادياً). ثانياً ، نظراً لأنه تم ضبطها على وجه التحديد لوقت ومكان معينين ، غالباً ما يكون أداء النماذج الإحصائية التجريبية ضعيفاً جداً إذا تم تعميمها واستخدامها لعمل تنبؤات حول أماكن أو أوقات أخرى قد تكون فيها الارتباطات بين المتغيرات والمعلمة مختلفة تماماً.

تتضمن النماذج الإحصائية التجريبية أحياناً متغيرات ومعاملات يتم حساب قيمها بشكل عشوائي. القيم العشوائية هي القيم التي يتم حسابها بشكل عشوائي ضمن نطاق توزيع الاحتمال المنسوب. على سبيل المثال ، تحسب نماذج سلسلة ماركوف قيمة متغير في الفاصل الزمني t كدالة احتمالية لقيمته في الفترة الزمنية السابقة $t-1$. قد نستخدم هذه التقنية لاشتقاق القيم العشوائية لهطول الأمطار (R في المعادلة (12.1) أعلاه) ومن ثم إنشاء توزيع احتمالي للتدفقات العالية والمنخفضة خلال فترة زمنية معينة (أي الفيضان أو الجفاف لمدة 100 عام) ، مثل تكون مفيدة في التخطيط للوقاية من الفيضانات. إذا افترضنا تبسيطاً أن اليوم إما رطب أو جاف تماماً ، فإن المصفوفة التالية ستحدد المجموعة الكاملة من التسلسلات المحتملة للأيام الرطبة والجافة

		Day 1	
		Dry	Wet
Day 2	Dry	p_{dd}	p_{wd}
	Wet	p_{dw}	p_{ww}

(12.2)

حيث: p_{dd} يمثل احتمال أن يتبع يوم جاف بيوم جاف ثاني ، p_{dw} احتمالية أن يتبع يوم جاف بيوم رطب ، p_{ww} احتمال أن يتبع يوم رطب يوم رطب و p_{wd} احتمال يوم رطب يتبعه يوم جاف. نظراً لأن $\frac{1}{4} p_{dw}$ و p_{dd} و $\frac{1}{4} p_{ww}$ بحكم التعريف ، يتم تعريف نموذج ماركوف هذا عن طريق معلمتين فقط ، يمكن تقديرهما تجريبياً من خلال النظر في الترددات النسبية للأيام الجافة والرطوبة الفعلية في سجل مناخي. توفر مثل هذه التقنيات العشوائية طريقة لمراعاة حقيقة أن بعض معلمة أو متغيرات النموذج قد يتم تحديدها بالصدفة أو أنها غير دقيقة بحيث يتم التعامل مع قيمها بشكل أفضل كما لو كانت عشوائية.

لقد مكّن النمو الهائل في القوة الحاسوبية لأجهزة الكمبيوتر الحديثة الجغرافيين من بناء نماذج رياضية أكثر تعقيداً وتطلباً حسابياً بشكل تدريجي والتي ترتبط ببعضها البعض وتحل العديد من المعادلات في وقت واحد. على وجه الخصوص ، كان الجغرافيون رائدين في تطوير نماذج رياضية مكانية صريحة. في حين أن النموذج في المعادلة (12.1) يصف تدفق التدفق بمرور الوقت لمنطقة غير متميزة ، فقد نتج نموذجاً موزعاً مكانياً يحسب قيم تدفق التدفق Q في كل وحدة فرعية من الفضاء عن طريق الربط معاً وحل المعادلات التي تصف العمليات التي تعمل داخل كل منها في وقت واحد. وحدة مكانية مع معادلات أخرى تصف كيفية عمل التدفقات بين الوحدات المكانية (غالباً الخلايا أو وحدات البكسل ، على سبيل المثال ، في صورة GIS). في أبسط الحالات ، يمكننا استخدام المعادلة (12.1) لكل وحدة مكانية على حدة ، وبعد ذلك ، باستخدام المعلومات الطبوغرافية لتحديد الوحدات المترابطة ، نحسب إجمالي التدفق في تلك الوحدة كمجموع تدفقات

التدفق في منطقة المساهمة في المنبع. سيعطي هذا النهج تقريبًا مكانيًا صريحًا ولكنه مبسط مؤقتًا. لدمج التباين الزمني ، يمكننا استخدام شكل من أشكال الاستمرارية أو معادلة توازن الكتلة:

$$Q_{x,t} = Q_{in} - Q_{out} \quad (12.3)$$

ينص هذا على أن التدفق Q في الوحدة المكانية الحالية x في الوقت t يساوي التدفق من $uplope$ (Q_{in}) ناقصًا التدفق الخارج من الموقع الحالي (Q_{out}). سيتم استخدام هذه المعادلة بشكل تكراري ، بحيث تكون قيمة Q_{out} هي القيمة السابقة للتدفق في الوحدة المكانية (أي Q_x ، $1t$) و Q_{in} القيمة السابقة للتدفق في وحدة الصعود (أي $1Q_x$ ، $1t$). تسمى النماذج الإحصائية التجريبية أحيانًا نماذج المدخلات والمخرجات لأنها تفترض أن قيمة الناتج المتغير التابع للنموذج - في المعادلة (12.1) تدفق التدفق - Q يتم تحديدها فقط من خلال تلك الخاصة بالمتغيرات المستقلة التي تدخل في النموذج (مثل هطول الأمطار R في المعادلة (12.1) أعلاه). لا يعني ذلك أن الجغرافيين الاقتصاديين والعلماء الإقليميين يحتفظون بمصطلح "نموذج المدخلات والمخرجات" لتطبيق التقنيات الإحصائية التجريبية على النمذجة الاقتصادية للروابط بين الصناعات للمدخلات والمخرجات (للعاملة ورأس المال وما إلى ذلك) داخل الاقتصاد. بقدر ما تحسب النماذج الإحصائية التجريبية قيم المتغيرات التابعة كدالة رياضية لقيم متغيرة مستقلة ، فإنها تسمى أحيانًا نماذج الصندوق الأسود لأنها لا تحدد أي شيء حول كيفية أو سبب تحويل المدخلات إلى مخرجات. ومن ثم ، فإن النماذج الإحصائية التجريبية تخاطر بجعل العلاقات الزائفة بين المتغيرات التي قد يكون ارتباطها الإحصائي صدفة بحتة أو متوقفة على بعض العمليات المتداخلة التي تم تجاهلها حسب النموذج. لهذا السبب ، يرفض الواقعيون النقاد النمذجة الإحصائية التجريبية . يزعمون أنها ترتكب المغالطة الاستقرائية لتأكيد النتيجة النهائية والفضل في تفسير سبب قيمة المتغير التابع يعتمد بالضرورة على متغير مستقل (ساير ، 1992).

كما ناقش بمزيد من التفصيل أدناه ، تم تطبيق الهدف في العديد من السياقات هي ببساطة لتوقع بعض المخرجات . طالما أن هذه النتيجة يمكن أن تكون تم توقعًا بدقة ، قد يكون نموذج الصندوق الأسود البسيط أكثر ملاءمة من عملية أكثر تعقيدًا تحدد العديد من العمليات في تفاصيل كبيرة يصعب اختبارها وتفسيرها أو تتطلب سوبر حاسوب للتشغيل . لأغراض البحث البحث ، على النقيض من ذلك ، فهم العلاقات بين المتغيرات هو الهدف من بناء النموذج . لكن الاعتبارات العملية غالبًا ما تدفع واضعي النماذج إلى تعيين بعض المعلمات أو القيم المتغيرة بناءً على الملاحظات التجريبية السابقة بدلاً من استخدام الأساليب الاستنتاجية الحتمية لنمذجة العملية ديناميكيًا على أساس فيزياء الدرجة الأولى .

تبدأ المناهج الاستنتاجية الحتمية للنمذجة من المبادئ النظرية من الدرجة الأولى وتحدد المعادلات الرياضية التي يمكن من خلالها استنتاج التفاعلات داخل النظام ومن ثم شرح السلوك الديناميكي للنظام ككل والتنبؤ به. يثير هذا النهج في النمذجة عددًا من الأسئلة الفلسفية المهمة. هل العمليات في المستويات الأعلى قابلة للاختزال تمامًا لتلك التي تعمل في المستويات الأدنى (ومن ثم يمكن أن تشرح نظرية التوحيد الكبرى كل شيء من الذرة دون الذرية إلى ما بين الكواكب)؟ إلى أي مدى يتم تحديد الجغرافيا البشرية للسلوك والمعنى بواسطة قوانين عالمية (ومن ثم يمكن التنبؤ بها) للفيزياء الاجتماعية بنفس الطريقة التي يمكن استنتاجها من الجغرافيا الفيزيائية لحركة جسيمات التربة من المبادئ الفيزيائية من الدرجة الأولى؟

على الرغم من أن الجغرافيين الطبيعيين لم يتجاهلوا هذه الأسئلة الفلسفية (مثل ريتشاردز ، 1990) ، إلا أنهم كانوا يميلون إلى أن يكونوا أكثر اهتمامًا بالصعوبات العملية والحاسوبية للنهج الحتمي الاستنتاجي الصارم لعملية النمذجة. هناك مشكلتان تقنيتان ، على وجه الخصوص ، قد أعاقتا الجهود المبذولة لتطبيق النهج الاستنتاجية الحتمية.. أولاً ، كما رأينا سابقاً ، غالباً ما تكون قوانين الفيزياء مجردة جداً لدرجة أنه يتعين علينا تحديد حدود معينة وشروط أولية من أجل توفير جسر بين نظريتنا والسياق المحدد في متناول اليد. في كثير من الحالات ، تكون هذه القيم غير معروفة بشكل كامل. تربط عملية تحديد المعاملات النموذج بالميدان والبيانات الأخرى ، ولكن يمكن أن تكون مستهلكة للوقت ومكلفة. نظراً لأنه من غير الممكن عمومًا قياس جميع هذه المعلمات بشكل مباشر ، فمن الضروري عادةً الجمع بين النهج الإحصائي التجريبي والنهج الاستنتاجي الحتمي. من الدلالات المهمة أن العديد من النماذج - خاصة النماذج المستخدمة على نطاق واسع مثل USLE أو WEPP لتقديرات التآكل - تحتوي على معلمات ضمنية لا تنطبق إلا على مجال التطبيق الأصلي. لذلك من المهم التأكد من أن اختبار نموذج في مجال جديد يراعي هذه المشكلة. قد تكون المعلمات الضمنية هي المخطئة بدلاً من النموذج نفسه. ثانياً ، حتى عندما تُفهم العمليات المطروحة جيداً بما يكفي لتمثيلها ديناميكياً استناداً إلى قوانين الفيزياء من الدرجة الأولى ، غالباً ما يكون من الصعب جداً تحديد المعادلات المناسبة والقابلة للتحليل. بالعودة إلى مثال نمذجة التدفق ، يمكننا وصف معدل التغيير في التدفقات بين الخلايا في المعادلة (12.3) أعلاه ، بالمعادلة التالية:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = e_x \quad (12.4)$$

وهذا ما يسمى معادلة الموجة الحركية ، حيث A هي منطقة المقطع العرضي للتدفق (م 2) ، و t هي الوقت (الأوقات) ، و Q هي تدفق التدفق (م 3 ث 1) ، و s هي المسافة (م) و على سبيل المثال أي وحدة التدفق الجانبية إلى النظام (1s 2m - عادة ما يكون الفرق بين معدلات هطول الأمطار والتسلسل). يُشتق هذا النوع من المعادلات من حساب التفاضل والتكامل ، وهو فرع الرياضيات المستخدم لوصف معدلات التغيير بمرور الوقت. بقدر ما تهتم النمذجة البيئية بمعدلات التغيير في الزمان والمكان ، فإن مثل هذه المعادلات تظهر بشكل مركزي. علاوة على ذلك ، تتكون معظم النماذج من معادلات تفاضلية غير خطية ، والتي يصعب حلها للأسف. نتيجة لذلك ، كان على واضعي النماذج إيجاد طرق مختلفة لتقريبهم باستخدام طرق مثل التكرار العددي أو حساب الفروق المحدودة التي توفر حلولاً قابلة للتحليل (للحصول على مقدمة أساسية ، ينظر موليكان و ون رايت ، 2003).

التراث المتنازع عليه : النماذج والنمذجة في الجغرافيا

تم الاحتفال بالنمذجة على نطاق واسع خلال ذروة ما يسمى بالثورة الكمية باعتبارها توفر أساساً منهجياً لوحدة الجغرافيا بصفقتها نظام. لم تكن هذه الادعاءات بلا منازع ، والكثير منها الآن ، لا سيما في الجغرافيا البشرية ، يرفضون النمذجة. من أجل تقدير كل من الوعد ومشاكل النمذجة ، يجدر إعادة النظر في ثلاث نقاشات طويلة الأمد حول أهداف ومنهجية العلم ، وممارسة التحقق من صحة النموذج ، والتطبيقات السياسية للنمذجة. تثير هذه المناقشات أسئلة مهمة حول مكانتها في الانضباط ككل ودورها المحتمل بصفقتها جسراً بين الجغرافيين البشريين والجغرافيين الطبيعيين.

النمذجة ومنهجية الجغرافيا باعتبارها علم

برزت النمذجة بشكل مركزي في المناقشات المنهجية طويلة الأمد حول تعريف الجغرافيا ، وحالتها بصفتها علما ، والمزايا النسبية للمقاربات النوعية مقابل الأساليب الكمية لممارستها. بشكل خاص بين الجغرافيين الطبيعيين ، تعارض النمذجة الرياضية أحيانا الأساليب الميدانية للبحث التجريبي. هذه المعارضة خاطئة ، طالما أن النمذجة تعتمد دائما على البيانات الميدانية وغيرها من البيانات لكل من بناء النموذج والمعايرة وكذلك للتحقق من صحة النموذج اللاحق. توفر ممارسات النمذجة الرياضية إحدى أهم الوسائل لدمج أنواع مختلفة من البيانات من الميدان وطرائق أخرى ، مثل الاستشعار عن بعد ، مع بعضها البعض ومع النظرية ذات الصلة.

غالبا ما تتضمن المناقشة المنهجية لمزايا النمذجة بالنسبة إلى تقنيات البحث الأخرى أسئلة نظرية حول تعريف وفلسفة العلوم. تأمل ، على سبيل المثال ، النقاشات المبكرة حول النمذجة الرياضية بين علماء الجيومورفولوجيا. لقد أشاد آرثر ستراهلر (1952) بأهمية النمذجة الرياضية في اكتشاف القوانين الأساسية . على النقيض من ذلك ، رفض (وولدريدج 1958) هذا "النهج الفيزيائي الرياضي الضيق" لعلم الأشكال الجيومورفولوجية كما أسماه ، مفضلاً المراقبة النوعية للتضاريس في الميدان (ثورنس ، 1978). كان يدافع عن أقدم وأكثر مفهوم لعلم الجيومورفولوجيا بصفته فرع من الجغرافيا الإقليمية ، وليس معنياً بالبحث البدائي عن القوانين التنبؤية العالمية للعملية الفيزيائية العامة ولكن مع فهم التاريخ الفريد لتضاريس ومناطق معينة . بدأت التطورات الأخيرة في علم الجغرافيا الطبيعية أيضاً في إدراك أن النهج البدائي قد يكون كذلك محدودا ، لأن كل موقع يتم تصميمه له خصائصه الفريدة (على سبيل المثال بيفين ، ؛ ونرايتنك وآخرون ، 2000). بين الجغرافيين البشريين ، حول الكثير من النقاش حول النمذجة هذا القضية نفسها حول أهداف الجغرافيا ووضعها كعلم. في الخمسينيات والستينيات ، عزا المؤيدون الأوائل للثورة الكمية الوضع المتواضع للانضباط إلى تقليدها الاستقرائي للدراسات الإقليمية ووصف المناظر الطبيعية. لقد كانوا يأملون في أن يزيد تطبيق الأساليب الكمية والنمذجة الرياضية من نطاق وموثوقية المعرفة الجغرافية "وإعادة توجيه التخصص حول" البحث عن القوانين وتطويرها فيما يتعلق بالعلاقات المكانية. في حين كان وولدريدج يخشى أن تنقسم النمذجة الرياضية المادية من الجغرافيا البشرية ، العديد من أنصارها الأوائل كان يأمل أن يحول نظام الجغرافيا إلى نظام موحد "علم المواقع ، والسعي للتنبؤ بالمواقع التي كانت موجودة من قبل ، القناعة ببساطة بالوصف . رفض الجغرافيون البشريون هذه الفكرة ، واشتكوا من أن مشروع الساليس الجامع لعلم الفضاء التنبؤي كان غير إنساني ، لأنه تجاهل أساليبها الكمية أسئلة القيمة البشرية والعاطفة و المعنى) على سبيل المثال .

تميل النماذج الرياضية إلى الاعتماد على النماذج المفاهيمية البسيطة والعالمية للموضوع البشري ، مثل الممثل الاقتصادي العقلاني (Homo Economicus) ، ومن ثم ، من غير المرجح أن يتقاضى النقاد (على سبيل المثال بارنز ، 1996) ، طموح العلماء المكانيين للتنبؤ الشامل. على سبيل المثال ، تعتمد نماذج الجاذبية التجريبية للهجرة على القياس بين سحب الجاذبية للكائنات الكوكبية والمدن. معاملة المهاجرين كأتمة ، يتجاهل هذا النوع من الفيزياء الاجتماعية الوكالة البشرية وقدرة الناس على الاستجابة لبيئاتهم بطرق إبداعية ، غير متوقعة ، وغير متوقعة. يرفض الجغرافيون الإنسانيون أيضاً الطموح التنبؤي الأساسي للنمذجة ومعه الفكرة طويلة الأمد (الشائعة للعلوم المكانية والجغرافيا الإقليمية القديمة لـ (وولدريدج) التي نجحت من الجغرافيا البشرية والطبيعية باعتبارهما متحدين بمنهجية علمية واحدة . بدلا من ذلك ، يصرون على انه لا

ينبغي للجغرافيا البشرية أن تصوغ نفسها على أساس التجربة الساعية إلى قانون العلوم ولكن في الفنون التفسيرية والعلوم الإنسانية .

المصادقة والاستقراء والنشوء

نقطة الخلاف الثانية تتعلق بالممارسة ، بل حتى من إمكانية التحقق من صحة النموذج بالذات . مناقشة تقنية واسعة النطاق حول كيفية اختبار وتقييم نموذج الرياضيات . يميزون بين اثنين من ممارسات الاختبار المنفصلة . أولاً ، ما هو غالباً يسمى التحقق يتضمن تصحيح أخطاء رمز الحاسوب لإزالته أخطاء مطبعية أو برمجية قد تكون ظهرت أثناء بناء النموذج وكذلك للتأكد من أن النموذج الرياضي يقوم بإنتاج حلولاً صحيحة . ثانياً ، يتضمن التحقق مقارنة مخرجات النموذج مع بعض القياسات المستقلة لتلك المتغيرات نفسها لاختبار الكفاية التجريبية لمحاكاتهم . هذه الممارسة بعيدة كل البعد عن الاستقامة . أولاً ، هناك سؤال حول المتغيرات التي ينبغي تقييمها ، قد يحاكي النموذج المعقد العديد من المتغيرات المختلفة . بالنسبة للبعض ، يطرح المقدر على محاكاة عدد قليل من المتغيرات الحرجة بدقة شديدة قد يكون من الأفضل الحصول عليها جميعاً بشكل صحيح أو أقل . حتى مع متغير واحد فقط للتحقق من صحته ، كما هو الحال في نموذج الجريان السطحي البسيط الخاص في المعادلة (12.1) أعلاه ، ما زلنا بحاجة إلى تحديد ما إذا كان أفضل اختبار لنموذجنا ، للغرض المحدد المطروح ، هو مقدره نموذجنا على إعادة إنتاج حجم الجريان الأقصى ، وتوقيته ، أو ربما نمطه المكاني .

بعد أن قررنا الجانب التجريبي لأداء نموذجنا نرغب في تقييمه ، فغالباً ما تكون هناك مشكلات حول مدى توافر البيانات بالمقياس المكاني أو الزمني المناسب (أو كليهما) للمقارنة مقابل مخرجات نموذجنا . ثم ، هناك سؤال حول تقييم أي طرائق لاستخدامها في التحقق من الصحة . وهناك أيضاً عدد آخر من الأساليب الإحصائية الرسمية لقياس ملاءمة النموذج (على سبيل المثال ، معامل التحديد ، ص 2 ؛ جذر متوسط الخطأ التريبيعي). كل من هذه المقاييس حساسة لجانب مختلف من سلوك النموذج .

في حين أن هذه الصعوبات الفنية مع التحقق من صحة النموذج تشغل الكثير من أدب النمذجة ، فإن عدداً من القضايا الفلسفية الأكثر جوهرية لفتت انتباه نقاد النمذجة. لقد أشار فلاسفة العلوم منذ فترة طويلة إلى أن المشكلة المنطقية للتحريص تجعل من المستحيل التحقق من صحة النموذج بالمعنى اليومي لإثبات حقيقة ودقة فرضياتها. على عكس اللغة التحليلية الرسمية للمعادلات ، مثل " $2p = 2 + \frac{1}{4}$ " ، الذي يتم تعريف الحقيقة عن طريق نظام مغلق من المنطق الداخلي يمكن اختباره بوساطة التحقق (بالمعنى أعلاه) ، تتعلق المطالبات التجريبية للنموذج بالانظمة المفتوحة ، ومن ثم ينبغي أن تواجه المشكلة المنطقية للاستقراء ، أن البيانات المتاحة لاختبار نموذجنا في المعادلة (12.1) تحدث لتطابق تنبؤاتها بتدفق التدفق Q الناتج عن كمية معينة من هطول الأمطار R ، ليس لدينا أساس منطقي للتحقق من صحة النموذج وافترض التنبؤات التجريبية للنموذج سوف تستمر في التمسك في المستقبل.

النظم الطبيعية ديناميكية ومفتوحة. قد تتغير الشروط المستقبلية بطرق لم يتم حساب نموذجنا. إذا فشل النموذج في إعادة إنتاج البيانات المرصودة ، ثم . . . النموذج معيب بطريقة ما ، لكن العكس ليس هو الحال أبداً (أورسكيس و آخرون ، 1994 : 643). وفقاً لذلك ، دافع بعض واضعي النماذج عن النهج العقلاني في السعي إلى تزوير نماذجهم بدلاً من التحقق منها (على سبيل المثال هينز يونج وبيتش ، 1986). في الممارسة العملية ، ومع ذلك ، هذا التزوير تبين أن المبدأ ليس أقل إشكالية. غالباً ما يكون من الصعب اتخاذ

القرار ما إذا كان هناك تناقض بين النموذج وبعض الاختبارات التجريبية له بسبب مشكلة في إجراء الاختبار (أي افتراضنا المساعد بأن بيانات الاختبار تمثيلية قد يكون خاطئاً) أو زيف النموذج نفسه. يقدم الواقعيون النقديون استجابة مختلفة نوعاً ما لهذه الأمور المنطقية لمشاكل الاستقراء والتحقق. يشكون من أن المشكلة مع النماذج الرياضية ، وخاصة النماذج الإحصائية التجريبية ، إنهم يصفون فقط ولا يفسرون العمليات التي ترتبط بها المتغيرات المعتمدة وتعتمد عليها القيم : إن استخدام النماذج الرياضية كعامل مساعد في التفسير السببي يمثل إشكالية حتمية لأن الرياضيات ، بصفته لغة ، تعد سببية وفلكية . إنه يفتقر إلى فئات "الإنتاج" أو "التوليد" أو "الإجبار" التي تتخذها للإشارة إلى السببية . الدوال الرياضية مثل $y = \frac{1}{4}x$ فنقول لا شيء يتعلق بما يجعل y أو x ، فقط هذا الاختلاف الكمي في y هو رسمياً (غير جوهري) مرتبط بطريقة ما بالتغير الكمي في x . لا تعني علامة $\frac{1}{4}$ في المعادلة ، بالطبع ، أن ما يسمى بـ المتغير المستقل هو سبب التغييرات في المتغير التابع ، لكن الكميات على كلا الجانبين متساوية ! أي افتراضات السببية المرتبطة بقرار تحديد واحد متغير كمستقل والآخر على أنه تابع يجب أن يعتمد على المعايير السببية غير الرياضية. بسبب هذا الفشل ، فهم غير قادرين على شرح التغيير النوعي أو كيف يمكن أن تظهر خصائص جديدة. يؤكد الواقعيون النقديون على أهمية التصور - ما نطلق عليه النمذجة المفاهيمية - للتمييز بين الآليات الضرورية المسؤولة عن السببية والجمعيات الإحصائية الطارئة البحتة. كانت الاستجابة لهذا النقد للنمذجة الرياضية مختلفة تماماً في الجغرافيا البشرية والجغرافية الطبيعية. استجاب الجغرافيون الطبيعيون المتعاطفون مع الواقعية النقدية عن طريق المحاولة ، قدر الإمكان ، لاستبدال الأساليب التجريبية - الإحصائية لصالح مناهج النمذجة الرياضية القائمة على أساس مادي ، مثل تحديد المعايير الفيزيائية أو أساليب النمذجة الاستنتاجية الحتمية. على النقيض من ذلك ، كان الجغرافيون البشريون يميلون إلى التخلي عن النمذجة الرياضية تماماً لصالح التصور النظري.

التطبيقات والسياسة والأهمية

يتحول خط ثالث من النقد إلى تطبيقات النمذجة والسياسة التي تنطوي عليها. كان الكثير من الحماس الأولي للنمذجة الرياضية في الجغرافيا مدفوعاً بالأمل في أن تطوير مثل هذه التقنيات الكمية من شأنه أن يعزز مكانة الجغرافيا كعلم. بينما كان الجغرافيون يقدمون قريباً مساهمات مهمة في مجالات البحث البحت مثل الارتباط الذاتي المكاني ، تقريباً منذ فجر الثورة الكمية ، كانت هناك أيضاً مخاوف بشأن الأهمية الأوسع للنمذجة والآثار المترتبة على هذا النوع من البحث على المجتمع ككل. ومن أجل مستقبل الجغرافيا باعتبارها تخصص أكاديمي.

أثارت هذه المخاوف استجابتين متميزتين ، وإلى حد ما متعارضتان ، لا يزالان صدى حتى يومنا هذا. من ناحية أخرى ، هناك أولئك الذين كانت المشكلة بالنسبة لهم - ولا تزال - هي أن الجغرافيين في الأبراج العاجية "محاصرون في نقاش خاص ، ومنشغلون بالأفكار التافهة وإصلاح وتأهيل الأفكار المقبولة" (برنس ، 1971: 153). في البداية ، كانت هذه الشكوى حول عدم ملاءمة الجغرافيا الأكاديمية موجهة ضد جميع أشكال البحث الجغرافي. في الآونة الأخيرة ، ومع ذلك ، تم تبني هذه الصرخة من قبل أولئك الذين يدافعون عن دور أكثر مركزية للنمذجة الرياضية ، إلى جانب الاستشعار عن بعد ، ونظم المعلومات الجغرافية ، وغيرها من التقنيات الكمية ، في التخصص. وهكذا ، فإن إعادة اكتشاف الجغرافيا (1997: 7) الصادر مؤخراً عن المجلس القومي للبحوث في الولايات المتحدة: أهمية جديدة للعلم والمجتمع يبدأ من خلال التأكيد

على كيفية استخدام هذه الأدوات من قبل المعلمين ورجال الأعمال والباحثين وواضعي السياسات للتعامل مع مجموعة واسعة من المجالات العلمية. والاحتياجات المجتمعية. يحث التقرير على تحقيق توازن مقدرة عرض الاختصاص مع "الطلب" المطبق من هذا النوع من الخبرة التطبيقية (المرجع نفسه: 171). من ناحية أخرى ، اشتكى الجغرافيون المتطرفون من أن مثل هذا البحث التطبيقي يميل إلى معالجة الأسئلة التقنية الضيقة على حساب النقد السياسي الأوسع. كتب ديفيد هارفي (1989: 212-213) في معرض تأمله في العشرين عامًا الأولى من النمذجة في الجغرافيا: أوافق على أنه يمكننا الآن نمذجة السلوكيات المكانية مثل الرحلة إلى العمل ، ونشاط البيع بالتجزئة ، وانتشار أوبئة الحصبة ، تشتت الغلاف الجوي وما شابه ، مع قدر أكبر من الأمان والدقة أكثر من ذي قبل . وأنا أقبل أن هذا لا يعني الإنجاز. ولكن ماذا يمكننا أن نقول عن الانفجار المفاجئ لديون العالم الثالث في سبعينيات القرن الماضي ، والدفع الملحوظ نحو أنماط جديدة تبدو مختلفة تمامًا للتراكم المرن ، وصعود التوترات الجيوسياسية ، وحتى تعريف المشكلات البيئية الرئيسية؟ ما الذي نعرفه أكثر عن التحولات الجغرافية التاريخية الكبرى (صعود الرأسمالية ، الحروب العالمية ، الثورات الاشتراكية ، وما شابه)؟ في حين جادل النقاد الراديكاليون بأن على الجغرافيين التخلي عن النمذجة الرياضية لصالح النمذجة المفاهيمية لعلم النقد السياسي ، سعى العمل الأحدث من قبل الجغرافيين البشريين إلى استكشاف السياقات الاجتماعية وعواقب استخدام النماذج في صنع القرار السياسي (ديمريت ، 2000).

خاتمة

حتى إذا كنت لا تخطط للانخراط مباشرة مع النماذج والنمذجة بصفتها جزء من رسالتك أو أي عمل بحثي آخر ، فإننا نعتقد أنه ينبغي أن يكون لدى جميع الجغرافيين فهم قوي للنماذج. بصرف النظر عن دورها المتزايد الأهمية في صنع السياسة العامة ، تحتل النمذجة مكانة مركزية في تاريخ وممارسة الجغرافيا كنظام علمي. في حين أن دورها في تزويد الجغرافيا البشرية والطبيعية بإطار منهجي موحد لا يزال محل نزاع حاد ، فلا شك أن ممارسة النمذجة توفر نقطة مهمة للوحدة بين التخصصات الفرعية المتباينة للجغرافيا الطبيعية (جريجوري وآخرون ، 2002).

ركز الكثير من الجدل النقدي حول النمذجة على النمذجة الرياضية دون الاعتراف دائمًا بأنها ليست النوع الوحيد من النمذجة ، كما حاولنا في هذا الفصل. من المهم التعرف على الممارسات المختلفة والافتراضات الفلسفية المرتبطة بها المتضمنة في أنواع مختلفة من النمذجة. ومن المفارقات ، أن بعض أشد نقاد النمذجة الرياضية هم أنفسهم منخرطون في أشكال من النمذجة المفاهيمية القائمة على الرسوم والسرد ، بدلاً من الأشكال الرياضية للتجريد (ساير 1984). في المقابل ، استجاب المدافعون عن النمذجة بدورهم بإدانات شاملة للجغرافيا "اللينة" والنظرية الاجتماعية (مثل ، أوبن شو 1998 ؛ دورلنك و شو 2002). ولكن إذا تم إعادة تصور التفكير والتمثيل كأشكال من النمذجة المفاهيمية ، فقد يكون من الممكن المضي قدمًا بشكل جماعي لاستكشاف الأرضية المشتركة التي يشترك فيها جميع الجغرافيين حول الأسئلة المهمة ، العملية والنظرية في أن واحد ، ذات النطاق المناسب ، والكفاية التجريبية ، و طرائق التجريد المتضمنة في النمذجة ، سواء كانت مفاهيمية أو رياضية أو كليهما.

حان الوقت لهدنة في المعركة الطويلة بين المقاربات النوعية والكمية. هناك ، كما يلاحظ كوسكروف (1989: 242) ، "تقارب رسمي بين النماذج الجغرافية المعبر عنها في شكل رياضي وإحصائي ورسم المناظر الطبيعية". تم تشبيدهما "وفقًا للقواعد والاتفاقيات الرسمية" ، وكلاهما "يمثلان عالماً مثاليًا. . . [عن

طريق] ترتيب الكائنات داخل المساحة التي يتم إنشاؤها من أجل توضيح العلاقات بين تلك الكائنات. "بدلاً من رفض النمذجة والأساليب الكمية للجغرافيا تماماً ، سيكون من المفيد كثيراً التعرف على " النمذجة العددية بصفته أسلوب جغرافي وصفي بجانب مجموعة من البدائل (كوسكروف ، 1989 :244).