الفصل الثاني

طبيعة البيانات
NATURE OF THE DATA

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- تعريف وشرح مصطلح الكَم من منظور المكان الجغرافي.

٢- شرح تشعبات وآثار الكَميّة المكانيّة المتعلقة بتمثيل ونمذجة الظواهر الجغرافيّة.

٣- شرح برسوم توضيحية كيف تمثّل النقاط والخطوط والمساحات بالنسق أو الهيئة الخلويّة.

٤- شرح برسوم توضيحية ما هية السطوح (Surfaces) والحقول (Fields) وتقديم أمثلة واضحة.

٥- شرح برسوم توضيحية لكيفيّة تمثيل السطوح والحقول في التجزءات أو التقسيمات الخلويّة.

٦- وصف أربعة نماذج خلوية أساسية (النموذج البسيط (كل الأنواع)، والخلوي الموسع، والتفريعات التربيعية، والآلية أو الروبوتات الخلويّة).

٧- شرح الفرق بين الرويوتات الخلويّة والأنواع الأخرى من نماذج البيانات الخلويّة.

٨- عدّ مزايا وسلبيات التمثيل الخلوي التمثيل الخلوي للبيانات مقارنةً بالتمثيل الخطي من وجهتي نظر النمذجة وتخزين البيانات.

٩- وصف أيّ أنواع النماذج التي يمكن حلها بكفاءة باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة وتقديم أمثلة واضحة لذلك.

١٠- حصر مصادر عديدة للبيانات الخلويّة لنظم المعلومات الجغرافيّة لتشمل، لكن لا تقتصر على، مصادر الاستشعار عن بعد.

١١- شرح أهمية حجم خلية الشبكة، والمسقط، والنظام الإحداثي، فيما يخص النمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

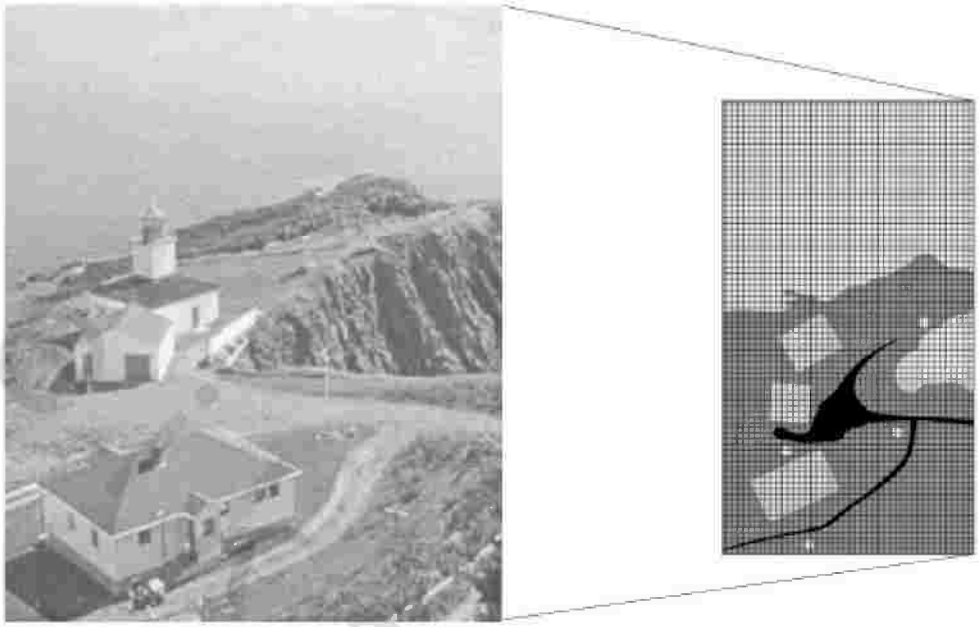
١٢ – تقديم بعض المصادر الأساسية للخطأ في البيانات الخلويّة لتشمل التعميم، والتصنيف والتفاعل، وعناصر الخطأ المتعلقة بصفات الظاهرة.

١٣ – وصف، بشكل عام، كيف يمكن التعامل مع العنصر الزمني في العمليات التقليديّة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

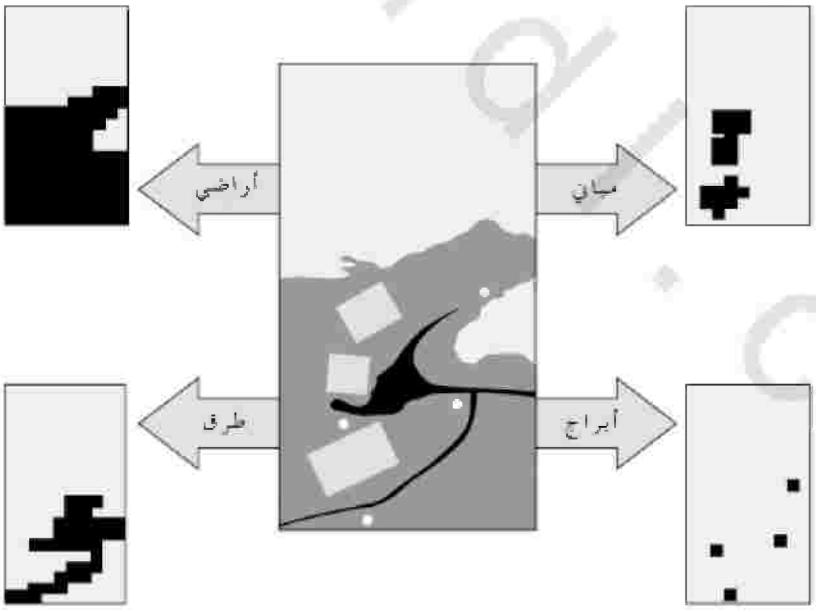
مقدمة في التقسيم الخلوي

تعدّ البيانات الخلويّة – حسب ما جاء في الفصل الأول – أنواعاً من البيانات المألوفة وذات فاعليّة في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة. وبالرغم من أن بعضكم قد يجد راحةً كبيرة مع هذا النوع من البيانات وقدراتها – إلا أنه من المهم أن نراجع هذه المفاهيم ونفحصها بدرجة كبيرة من التفصيل. سوف يوفر لنا هذا أرضية مشتركة ومصطلحات موحدة نبني عليها مفرداتنا ومفاهيمنا النمذجية.

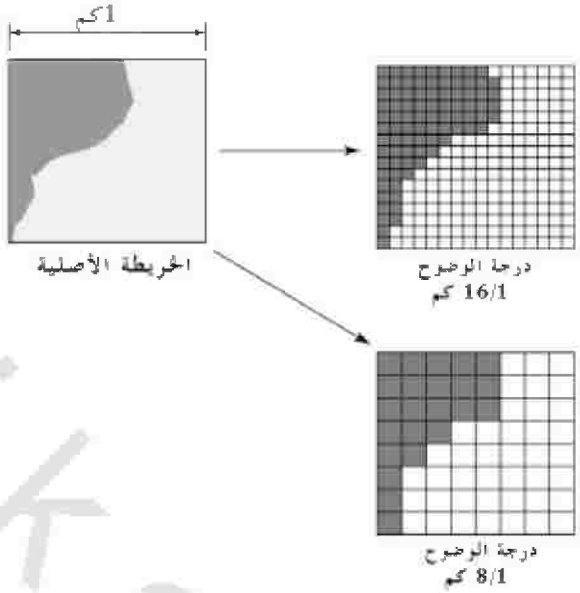
تعد كل أنواع البيانات الخلويّة تجزيئات أو تقسيمات فسيفسائية (Tessellations)، أو بمثابة طرائق لتقسيم المكان الجغرافي بحيث يمكن تمثيله بشكل ما داخل الحاسوب. فالعمليّة تبدأ بتصور لعالمنا الحقيقي ثم تحويله إلى تجريد خرائطي (الشكل رقم ٢,١). وبمجرد إتمام هذه العمليّة، يُحول المنتج الخرائطي إلى منتج مماثل لكنه رقمي وذلك عبر شكل ما من أشكال التجزئة. يجزّئ هذا الشكل الخلوي المكان الجغرافي إلى سلسلة من القطع المنفصلة والتي يمكن بواسطتها تمثيل البيانات الجغرافيّة الحقيقية. وتسمى هذه المنهجيّة بالكميّة المكانيّة (Kemp, 1993). وبهذا أعني، إننا نقسم البيانات المكانيّة إلى مقادير كميّة أو رزم صغيرة نجري عليها عملياتنا التحليلية إما فرادى، وإما مجتمعة (الشكل رقم ٢,٢). يحوّل هذا النوع من التمثيل كل من البيانات المتصلة والمنفصلة إلى وحدات منفصلة يعمل عليها البرنامج. ويوفر هذا التمثيل بهذه الطريقة معلومات مكانيّة أقل دقة مقارنةً بمثيلاتها الخطّيّة (Vector)، لكنها تضيف القدرة على تخزين الأنواع المختلفة من معلومات الكيانات المكانيّة بشكل متماثل. وكلما زادت المساحة الأرضية التي تمثّلها الخلية الواحدة قلت الصحة الموقعية أو الأرضية. وبكلمة أخرى، كلما قلّت درجة وضوح خلايا الشبكة قلّت الصحة المكانيّة (الشكل رقم ٢,٣). عادةً ما تمثّل خلايا الشبكة في شكل مربعات، بالرغم من أنها ليست مقصورة على شكل معين، وهناك أشكال أخرى ممكنة مثل متوازيات الأضلاع وسداسيات الأضلاع (الشكل رقم ٢,٤). وبالرغم من أن لهذه الأشكال إيجابياتها الخاصة مقارنةً بالمربع، مثل قدرتها في تمثيل البيانات السطحية (مثل المثلثات) أو الظواهر الكروية (مثل الأشكال السداسية) أو بيانات الاستشعار عن بعد (مثل متوازيات الأضلاع) – إلا أن بساطة المربع وسهولة التعامل معه، وطبيعته التلقائية، في الغالب، هي التي تجعله الشكل المفضل في التقسيم الخلوي. ونتيجة لهذه المميزات، فإن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الأولية صُممت بحيث تستخدم شبكة الخلايا المربعة، وأكثر برنامج خلوي اتباعا هو برنامج ماب (MAP) – اختصاراً لحزمة التحليل الخرائطي، المقدم من Tomlin (توملن) في عام ١٩٨٣م، والذي استفاد من هذا التقسيم استفادة كاملة.



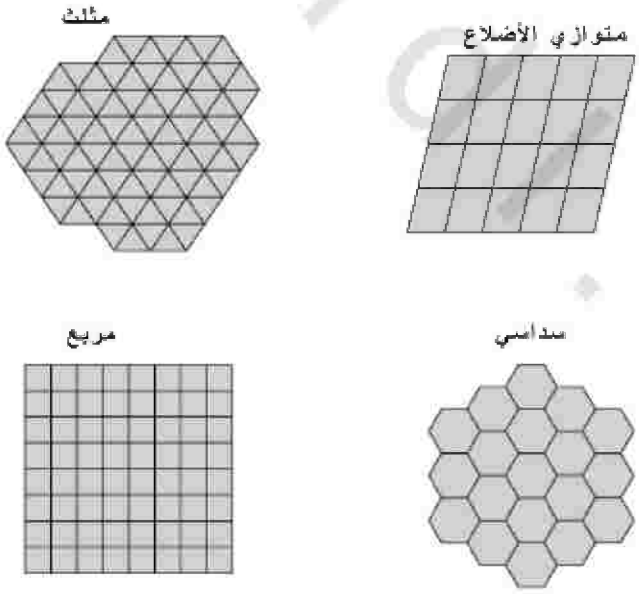
الشكل رقم (٢,١). سواء كانت الخريطة تقليدية أو رقميّة فهي تجريد للواقع، باستخدام رموز لتمثيل الأهداف التي نبني عليها نماذجنا بنظم المعلومات الجغرافيّة.



الشكل رقم (٢,٢). يشتمل التمثيل الخلوي للنقطة والخط والمساحة على تقسيم مكاننا الجغرافي إلى وحدات كمية منفصلة نطلق عليها خلايا شبكية.



الشكل رقم (٢,٣). كلما كبرت خلايا الشبكة (نقصت درجة الوضوح) قلّت الصحة الموقعية.



الشكل رقم (٢,٤). بالرغم من أن المربع يعدّ الشكل القياسي الأكثر استخداماً – إلا أن هناك أشكال أخرى يمكن تطبيقها لتقسيم المجال الجغرافي. كل واحد منها له خصائصه ومنافعه المتميزة.

obeikan.com

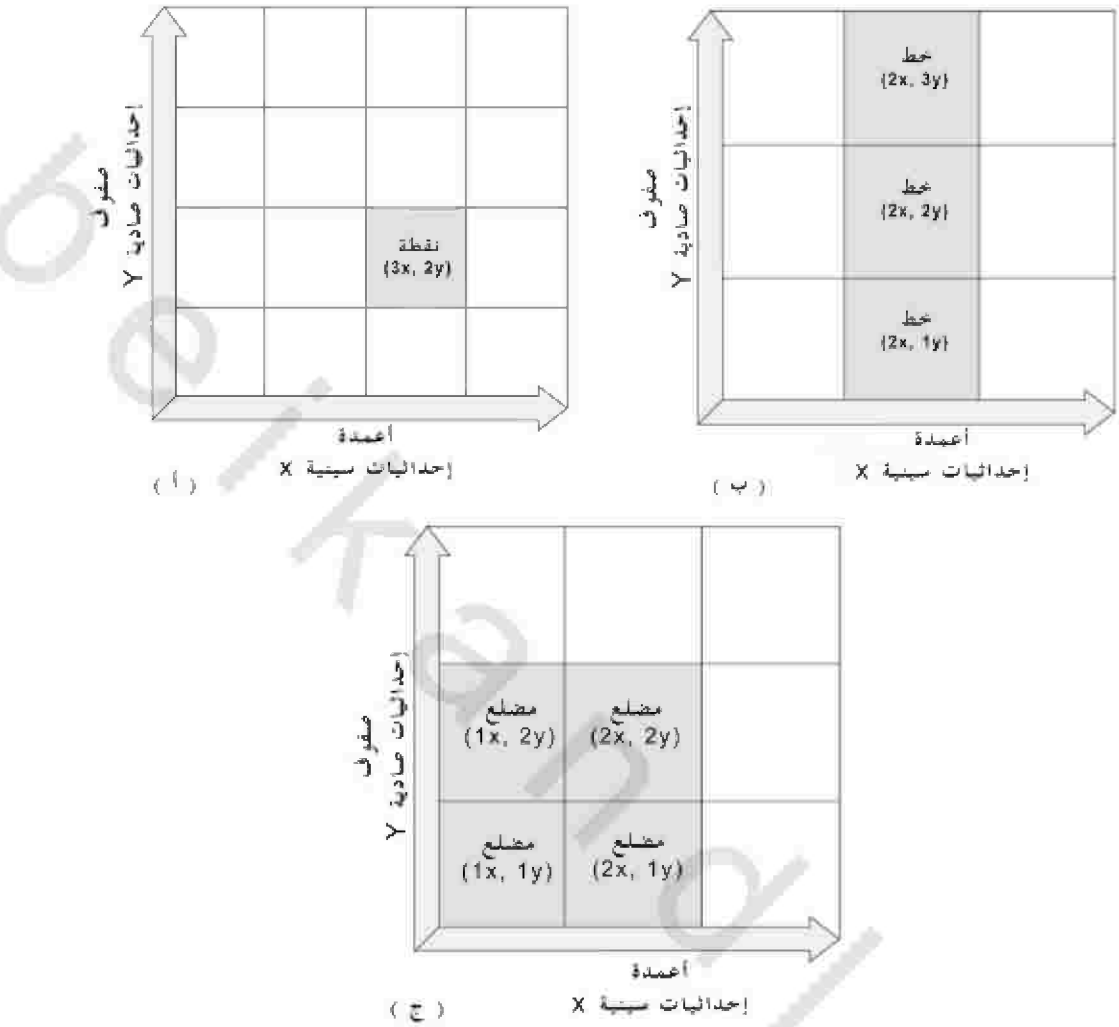
هذا يشرح إلى حد ما سيادة هذا النوع من خلايا الشبكة في نظم المعلومات الجغرافيّة. لقد صُممت الخلايا الشبكية أو النموذج الخلوي لتمثيل أهداف (ظواهر) جغرافيّة معروفة أو مفهومة وتقديم آليات لتخزين المعلومات الوصفيّة لهذه الأهداف أيضاً. وقد حُدّد المكان الجغرافي تقليدياً بواسطة عدد من أنواع الكيانات الجغرافيّة. فالنقاط تمثّل بخلايا فردية، وتُحدّد إحداثياتها، عادةً، من خلال مواقعها النسبية في مصفوفة من المواقع الخلويّة الشبكية. وبمعنى آخر، تكون مواقعها منسوبةً لكل مواقع الخلايا الشبكية الأخرى، ويتحدّد ذلك، في الغالب، بواسطة مجموعة من الإحداثيات المكانيّة السينية (X) والصادية (Y) في الحيز (أو النظام) الكارتيزي (الشكل رقم ٢,٥أ)، وينتج عن هذا قصوراً نسبياً في الصحة المكانيّة.

توفر معظم نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة إمكانيّة الربط بين المكان الإحداثي الكارتيزي وبين النظام الإحداثي الجغرافي، ممّا يسمح بالترميز أو التسجيل الجغرافي، وذلك لعمليات مطابقة الطبقات الخلويّة المخزّنة حسب مساقط مختلفة، ولعمليات تعديل المساقط، ولعمليات مطابقة الحواف (بين الطبقات)، وللسماح بمعالجات مكانيّة أخرى مثل التغطية عن طريق المط (Rubber Sheeting). إن هذه المواضيع تقع خارج اهتمام هذا الكتاب، ويمكن الرجوع إلى معلومات أكثر من مصادر أخرى (انظر على سبيل المثال، Chrisman, 1997; Heywood, et al., 1998).

إن توسيع التمثيل الخلوي للأهداف الجغرافيّة إلى خطوط ومساحات يعد ببساطة عمليّة إضافة مجموعات من المواقع النقطية الخلويّة مع الخط الذي يشغل حيزاً مكانياً متداخلاً. فعلى سبيل المثال، يعد الخط حسب النموذج الخلوي عبارة عن مجموعة خطيّة من الخلايا الشبكية، ويتحدّد موقع كل خلية – كما سبق – كموقع نسبي في المصفوفة الكاملة لشبكة الخلايا (الشكل رقم ٢,٥ب). ومن الناحية النظريّة، فالخط الممثل بواسطة موقع خلايا الشبكة يُعد بعداً واحداً، ويتحدّد طوله حسب بعده المكاني المُقاس.

طبعاً، تغطي خلايا الشبكة عملياً بُعدين، لكننا، هنا، نعلّق عدم تصديقنا بذلك مؤقتاً، وذلك بغرض التبسيط. أما زيادة هذا البعد فيتمثّل في إنشاء مجموعة من الخلايا الشبكية ذات البعدين لتمثيل المساحات أو المضلعات الخلويّة (الشكل رقم ٢,٥ج)، ويتحدّد موقع كل خلية بشكل كبير، مثل السابق، من خلال موقعها النسبي في مصفوفة الخلايا معا مع أي نظام إحداثي للشبكة يُركّب على المصفوفة. وبالرغم من أن التقسيم الخلوي يعد أقل صحةً في تمثيل المكان الجغرافي المطلق – إلا أن شكله المنتظم والمتسق يسهّل عمليّة مقارنة المحتويات بين الخرائط الموضوعيّة المبنيّة على الخلايا.

بالإضافة إلى ذلك، فإنه يسمح بأن تكون كل عناصر الأهداف الجغرافيّة (النقطة، والخط، والمساحة) ممثلة بنفس التقسيم. كما يسمح، وربما هذا هو الأهم، بتمثيل النوع الأخير من الأهداف الجغرافيّة (السطوح والحقول) بنفس نموذج التقسيم.



الشكل رقم (٢,٥). تُحدّد مواقع خلايا الشبكة في الحيز الكارتيزي حسب مواضعها في شكل قيم أعمدة وصفوف مرتبة. وهكذا، فتمثّل النقاط (أ) بزوج واحد من الإحداثيات، والخطوط (ب) بمجموعات خطّيّة من الأزواج الإحداثيّة، والمساحات (ج) بمجموعات من الأزواج الإحداثية.

إن السطوح، وهي التي تُعَد الظواهر الجغرافيّة النهائيّة المطلوبة في داخل نظام المعلومات الجغرافيّة، تُبنى أساساً على فكرة السطح الإحصائي. وأعني بهذا، أن السطوح لا تحتاج بالضرورة أن تكون طبوغرافيّة أو خاصة بارتفاع السطح، بل معنية بتمثيل أي مجموعة من البيانات التي تكون أو يُفترض أن تكون متصلة (مستمرة) وقابلة للقياس حسب مقاييس البيانات الترتيبية أو الفاصلية أو العشرية (Robinson, et al. 1995). أما مفهوم الحقل (Field) فهو زيادة على السطح الإحصائي، لكنه يشمل أي بيانات ذات علاقة بالسطح الإحصائي بحيث يمكن تمثيلها في

شكل معادلة. وفي الحقيقة، إن تمثيل السطح الإحصائي كمعادلة هو الجانب الأهم في الحقل. وعلى كل حال، يمكن أن تشمل الحقول كل التمثيلات السطحية الإحصائيّة، مثل تجاذب القوى بين أو ضمن المؤسسات الاقتصادية أو بين مصادر الموارد ومصباتها، أو العلاقات بين الحيوانات المفترسة وضحاياها (Hilborn, 1979). ومعظم هذه السطوح الإحصائيّة يمكن تمثيلها بمعادلة واحدة – على الرغم من التعقيد الذي قد تكون عليه هذه المعادلة – لكن هذا لا يعيق قدرتها في تمثيل هذه السطوح كرُزم معلومات محدّدة المعالم بالنموذج الخلوي. سوف نركّز في ضوء اهتمامنا بالتقسيم الخلوي على السطوح والحقول في إطار تلك القرينة.

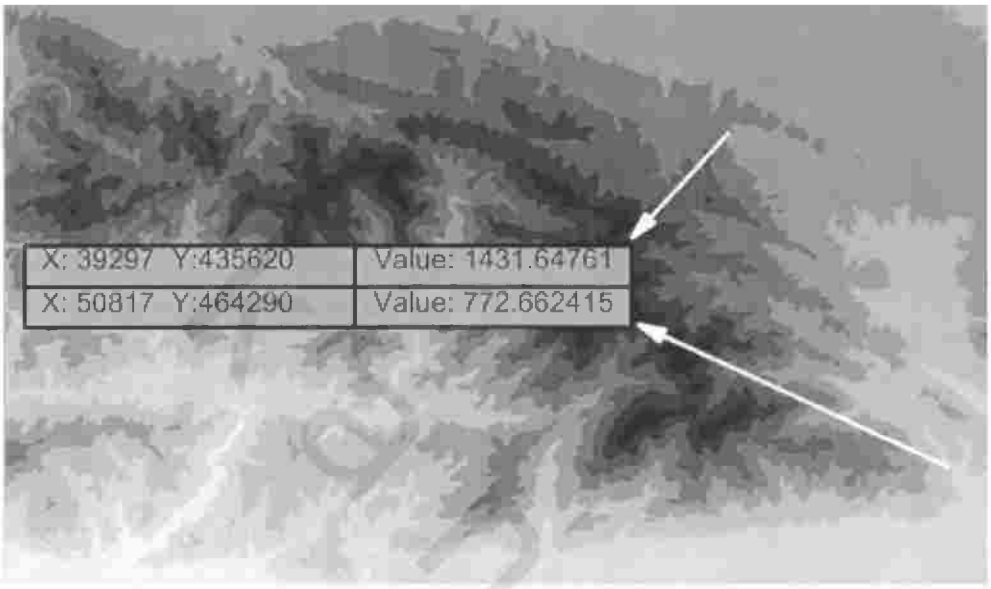
يمكن للسطوح، وكما هو الحال مع الكيانات النقطية والخطّيّة والمساحية، أن تمثّل بواسطة التجزئة الكمية للمكان الجغرافي. وإذا افترضنا – مثلما بيّنا سابقاً – أن السطوح الإحصائيّة مؤلفة من بيانات متصلة، فإن تصويرها في شكل خلوي يتضمن تحويل السطح الطبيعي المتصل إلى تجزيئات منفصلة قائمة بذاتها، والتي أطلقنا عليها بالخلايا الشبكية. وبما أن السطوح تحتوي على أبعاد ثلاثة (طول وعرض وارتفاع) فالصفة النسبية للمعلومات الخاصة بالموقع المتضمنة في الخلايا الشبكية الممثّلة تُضاف إلى البعد الثالث. (أي ما يُعطى من معلومات وصفيّة للخلية يمثّل البعد الثالث). وبهذا، فهناك فقدان للصحة المكانيّة في الأبعاد عند المحاور الأفقية (X,Y) والرأسية (Z). مرة أخرى، يمكن، على أي حال، تحمّل هذه الخسارة في الصحة في ظل سهولة التعامل مع معلومات السطح وتحليلها ومقارنتها بالطبقات الأخرى.

إن تمثيل السطح الإحصائي في نموذج التقسيم الخلوي يشمل، عادةً، تقديم قيمة واحدة ثالثة أو قيمة ارتفاع (Z) لكل موقع خلية (الشكل رقم ٢,٦). ونتيجة لذلك، فإن هذه القيمة ستكون ممثلة لموقع معين في داخل الخلية، لكنها ستشير إلى كامل المنطقة التي تغطيها الخلية. وهذه الطريقة مألوفة في تمثيل السطوح الإحصائيّة بالنموذج الخلوي والتي تعد طريقة نموذجية في تمثيل البيانات الخلويّة لكل الكيانات أو الظواهر الجغرافيّة. سوف يناقش الجزء التالي بعض الطرائق البديلة لهذه الطريقة أو المنهجيّة التقليديّة، وسوف يبيّن كيف أنه بتطوير هذا النموذج يمكن الحصول على نتائج نمذجية مفيدة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

نماذج البيانات الخلويّة

يهدف التقسيم أساساً إلى تشكيل تمثيل بياني للظواهر. وترتبط هذه الظواهر، عادةً، مع بياناتها الوصفيّة من خلال تخصيصات عددية صريحة لكل خلية. فالهدف أو الظاهرة التي تمثّل بشكل نقطي، على سبيل المثال، في النموذج الخلوي يُخصص لها، عادةً، قيمة عددية واحدة، فربما يمكن أن تستخدم قيمة (٢) كرمز اسمي لتمثيل أعمدة الهاتف باعتبارها ظواهر نقطية. وهذا يشبه تخصيص قيم عددية رقميّة (صفات) ذات مدى معين، مثل بين (٠) و(٢٥٥) لبيانات الاستشعار عن بعد الممثلة بالبكسلات (Pixels). وبالرغم من أن هذه المنهجيّة سهلة الفهم – إلا أنها طريقة واحدة فقط ضمن طرائق عدة أخرى لتمثيل البيانات، وسوف أشير إليها، هنا، على أنها نموذج

البيانات الخلويّة البسيط (أو العادي). إن ما تعنيه فكرة نموذج البيانات هذه هو أننا نحتاج إلى أن ننشئ طريقة موضوعيّة بحيث يستطيع الحاسب أن يستخدمها لربط الكيانات البيانية مع خصائصها الوصفيّة، خاصة في حالة وجود مواضيع (أو خصائص) متعددة. سوف نبدأ بفحص النموذج الخلوي البسيط ثم ننتقل إلى طرائق أكثر تعقيداً أو إثارة في النمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

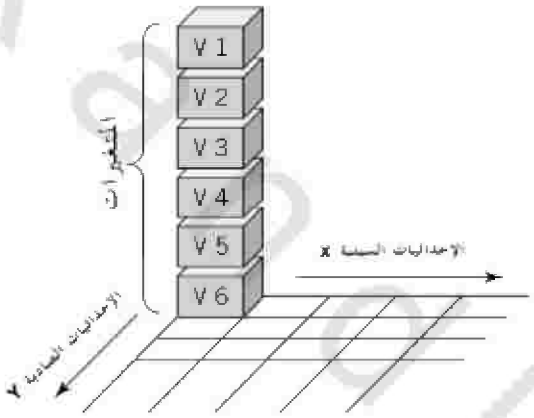


الشكل رقم (٢,٦). لتمثيل السطح حسب النموذج الخلوي، يتم تخصيص قيمة مفردة تمثّل قيمة ارتفاع السطح لكل خلية. في المقابل، ما يزال موقع الخلية يُسجل في شكل زوج واحد من قيم الصفوف والأعمدة.

النموذج الخلوي البسيط

لكل موقع في المصفوفة الخلويّة في النموذج الخلوي البسيط قيمة عددية واحدة لتمثيل أي من الظواهر النقطية أو الخطّيّة أو المساحية أو السطحية التي نصادفها في الواقع. إن هدف هذا النموذج، مثل الطرائق الأخرى التي سوف نعرفها فيما بعد، هو السماح بإجراء عمليّة النمذجة. هذا يتجاوز عمليّة الترميز (Coding) البسيطة للظواهر والصفات. ففي النمذجة، من المهم أن تتفاعل خلايا الشبكة في الموضوع (Theme) الواحد مع الخلايا الأخرى سواء في نفس الموضوع أو مع الخلايا الخاصة بمواضيع متعددة إضافية. صحيح أن النظام بدون هذه الخاصية يمكن أن يسمح بإنتاج خرائط خلوية – إلا أن قدرته النمذجية ستكون محدودة جداً. يوجد من ضمن طرائق تركيب مثل هذه النماذج فئة عامة من نماذج البيانات الخلويّة التي سوف نطلق عليها النماذج البسيطة؛ لأنها تخزن قيمة واحدة لكل خلية في الشبكة ولكل موضوع، وهي مازالت شائعة حتى اليوم سواء في حزم البرامج الخلويّة التعليمية (مثل برنامج

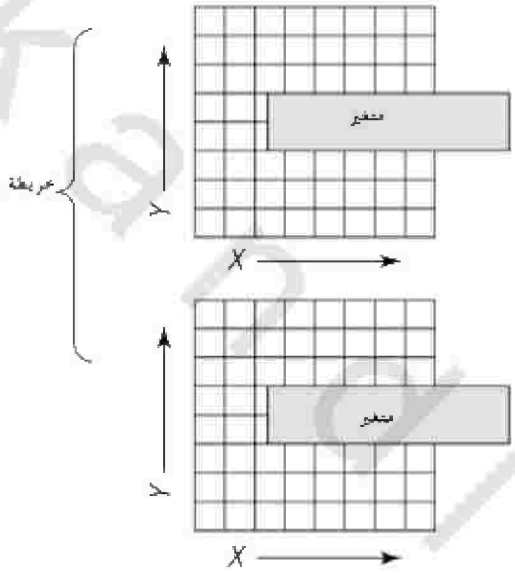
MAP [ماب] الأصلي والأشكال الأخرى منه)، أو البرامج الاحترافية (مثل IDRISI و GRASS). وفي إطار هذه الفئة العامة هناك، على أي حال، أشكال مختلفة للنموذج، كل منها يعالج عمليّة الوصول إلى البيانات والمعلومات في التقسيم الخلوي بطريقة مختلفة. وأول هذه النماذج ما يعرف بنموذج ماجي MAGI (DeMers, 2000a)، والذي يتعامل مع كل خلية في الموضوع الواحد على حدة، ويعمل – متى ما دعت الضرورة – مقارنات مع الخلايا الأخرى في المواضيع المختلفة في شكل عمودي (الشكل رقم ٢,٧). وتعد هذه المنهجيّة من أوائل ما تم تطويره والذي يظهر تركيزاً مبكراً ضرورياً لنظم المعلومات الجغرافيّة لتقارن وتمايز بين العديد من البيانات الموضوعيّة للنمذجة. وبالرغم من كفاءة هذه المنهجيّة – إلا أنها ليست بدهية كما يتوقع، خاصةً إذا أخذنا في الاعتبار ميل المنمذجين بنظم المعلومات إلى التعامل مع المواضيع كوحدة كاملة في بعدين على الأقل، بدلاً من التعامل مع كل خلية على أنها جزء من العمود.



الشكل رقم (٢,٧). تعامل طريقة MAGI لتمثيل بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مع كل قيمة على أنها جزء من العمود. توفر هذه الطريقة ربطاً رأسياً فيما بين مواضيع شبكية متعددة، لكنها تجعل التعامل مع المجموعات الأفقية للخلايا أقل كفاءة.

أما الشكل الآخر المسمى بـ IMGRID، فهو بخلاف سابقه (MAGI) إذ يستخدم المصفوفة ثنائية البعد أو الموضوع على أنها الوحدة الرئيسة التي تُجرى عليها الاستعلامات (الشكل رقم ٢,٨). وأول ما أُنتج هذا النظام، كانت التكلفة مرتفعه لكل من ذاكرة الحاسب والتخزين. ولتقديم شرح لهذا النظام، فإن كل موضوع كان مُحدَّداً جداً، إذ يتطلب أن تكون المواضيع في شكل أو نسق ثنائي (Binary). هذا استلزم بأن تُرمَّز كل فئات المواضيع بقيمتين: إما (١)، وإما (٠). وبهذه الطريقة، فموضوع مثل استخدام الأرض يصبح غير قابل للعمل عليه لأنه يحتوي على أكثر من فئة، وهذا يتعارض مع قاعدة الثنائية هذه، وعليه فإن البديل هو لابد من تبسيط موضوع استخدام الأرض. وهناك بعض

الأمثلة على هذه الفئات الموضوعيّة المألوفة التي قد تشمل أزواج ثنائية كالتالي: يابس مقابل ماء؛ وريفي مقابل عمراني؛ وصناعي مقابل غير صناعي؛ وملوَّث مقابل غير ملوَّث. وكما تلاحظ، فإن المنهجيّة الثنائية تبسّط عمليّة الترميز إلى (١) و(٠)، ومن ثم توفر مساحة تخزينية في الحاسب. ومع ذلك، فإذا أخذت في الاعتبار تمثيل السطح الإحصائي، فإنه يصعب تمثيل البيانات غير الثنائية مثل القيم الطبوغرافيّة، أو سطوح الاحتكاك (Friction Surfaces)، أو سطوح الإعاقة (Impedance Surfaces)، أو قيم تجاذب القوى لأيّ نوع كان، أو قيم الاحتمالية، وغيرها من القيم المشابهة. بالإضافة إلى ذلك، يمكنك بسهولة أن تتصور وجود عدد من الفئات التي قد تصل في الخريطة الواحدة إلى (١٠٠) فئة من استخدامات الأرض أو الغطاء الأرضي. لهذا، فإذا تم الأخذ بمنهجيّة الثنائية هذه فإن هناك حاجة إلى وجود العشرات من المواضيع المنشأة لتغطية هذا الموضوع الواحد فقط.

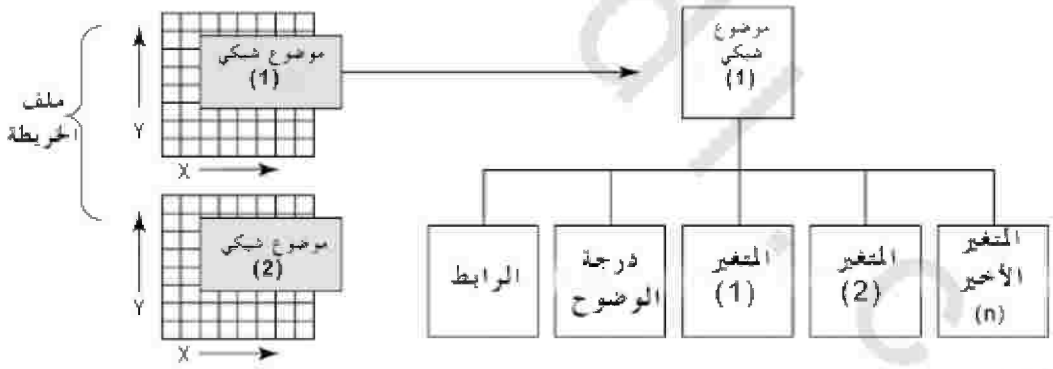


الشكل رقم (٢,٨). إن طريقة IMGRID للتمثيل الخلوي هي نموذج أفقي يستلزم بأن يمثّل كل موضوع بطريقة (١) و(٠). وبهذه الطريقة، يجب أن يمثّل كل موضوع بطريقة بولينية (ثنائية) لا يسمح بوجود تدرج ولا فئات متعددة داخل نفس المجموعة من خلايا الشبكة الأفقية.

وفي الحقيقة، إذا كان المطلوب تمثيل كل فئة من فئات استخدام الأرض بقيمة (١) والمقابل لها (لا يوجد فئة – إذا شئت)، فإن خريطة تقليدية – عندئذ – مكونة من (١٠٠) فئة قد تتطلب (١٠٠) موضوعاً لتخزين كل هذه المعلومات. أيضاً، وقبل أن ترفض هذا النموذج، فإن فكرة المواضيع الثنائية أو الخرائط الثنائية سوف نتحدث عنها في سياق النمذجة باعتبارها وسيلةً من وسائل التعامل مع أعداد كبيرة من المتغيرات والمواضيع.

أما النوع الأخير من نموذج البيانات الخلوي البسيط فقد طوّره C. Dana Tomlin (1983) (دانا توملن) لبرنامج حزمة التحليل الخرائطي Map Analysis Package-MAP (ماب)، كجزء من رسالته للدكتوراه في جامعة ييل بكلية الغابات. وفي هذا البرنامج، يتعامل نموذج البيانات مع كل موضوع بشكل متكامل، وبهذا يسمح بفئات متعددة للقيم الموضوعيّة لكل موضوع أو تغطية (Coverage)، وما يزال هذا النموذج ضمن أكثر نماذج البيانات الخلويّة اتباعاً في العالم. ويعدّ الموضوع في هذا النموذج العنصر الأولي الذي تجري عليه النمذجة، فالسطوح الإحصائيّة والحقول يمكن تضمينها بسهولة في نظام المعلومات الجغرافيّة، كما هو الحال مع النقط والخطوط والمساحات (الشكل رقم ٢,٩). يستعمل نموذج البيانات الأصلي الذي قدمه توملن منهجيّة "قيمة واحدة لكل خلية"، مثلما تفعله الأشكال الأخرى من نماذج البيانات الخلويّة البسيطة.

كما يعد هذا النموذج أكثر ترابطاً من سابقه (IMGRID)، لكنه ما يزال يعقّد عمليّة تخزين معلومات الفئات ذات التعقيد الشديد التي يمكن تضمينها بسهولة في فئة واحدة. فخذ، على سبيل المثال، فئة واحدة من المحاصيل الحقلية التي تكون في شكل صفوف التي يمكن أن يشملها موضوع زراعي، بل قد يوجد قائمة معلومات إضافية مع هذه المحاصيل، منها: نوع المحصول؛ والتنوع؛ وتاريخ الزراعة؛ وإضافة المبيدات الحشرية؛ ونوع المخصبات؛ والمحصول المتوقع. هذا يشير إلى نفس مشكلة اتساع البيانات التي رأيناها مع نموذج البيانات الخاص بـ: IMGRID. وأكثر من ذلك، إنه يعني أن النموذج الخلوي البسيط بحاجة إلى توسيع ليتخلص من هذه السلبية.



الشكل رقم (٢,٩). يخزن برنامج توملن MAP (ماب) الخلايا الشبكية بطريقة بحيث يمكن من خلالها التعامل مع كل موضوع على حدة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن معالجة فئة موضوعيّة واحدة أو أكثر، عند الحاجة.

تستخدم هذه النماذج غالباً الأعداد الكاملة أو الصحيحة (Integer) في الترميز بدلاً من الأعداد الكسرية. وبالرغم من إنه من الممكن تخزين الأعداد الكسرية بهذه النماذج – إلا أن حجم التخزين الضروري لهذه الأعداد،

بل والأكثر أهمية، حجم القدرة الحسابية والمعالجة المطلوبة لنمذجة هذا النوع والقدر من الأعداد، يتجاوز تلك القدرات المتوفرة حتى في أقوى منصات العمل الحاسوبية. ولقد قاد هذا البعض إلى فكرة الانتقال بنظم المعلومات الجغرافيّة للعمل بقدرات المعالجات الحاسوبية المتوازية (المتزامنة) في الحواسيب المتقدمة جداً – إلا أن قدرة هذا النوع من الحواسيب يعيق تطبيق هذا النهج، سوى للاستخدامات المعمليّة الصرفة في مجال البحث العلمي. وعليه فإن ذلك يعد خياراً غير عملي للتطبيقات والاستعمالات التجارية لنظم المعلومات الجغرافيّة.

النموذج الخلوي الموسع

يتسبب النموذج الخلوي البسيط في تكاثر البيانات؛ وذلك لأن كل الفئات يجب ترميزها بشكل صريح عند كل خلية ولأي موضوع من مواضيعها أو طبقاتها. ويعد النموذج الخلوي الموسّع (أو المحسّن)، في الحقيقة، امتداداً لنموذج ماب والذي يكون فيه الموضوع السمة الرئيسة التي يعالجها أو يهتم بها. وهذه السمة أو الخاصية لنموذج ماب هي التي تجعله ملائماً للعمل مع النموذج الخلوي الموسع؛ وذلك لأن التحسين، هنا، يتعامل مع الموضوع باعتباره وحدةً أو كياناً أساسياً فيوسّعه من خلال السماح بتمثيل بيانات موضوعيّة عديدة لكل خلية في الشبكة. وبهذه الطريقة يتم التعامل أولاً مع الموضوع أو الطبقة (على سبيل المثال، نحدّد ونعزل موضوع "الغابات"). هنا، لدينا في "الغابات" مجموعة من الخلايا مجمّعة حسب فئات الغابات، مثل: الصنوبر الأبيض؛ والرانتيج الأزرق؛ والبلوط الأحمر الشمالي؛ والحَوَر الرجراج؛ والدردار؛ وغيرها. ولكل من هذه الفئات، لدينا مجموعة من الخلايا تُرمّز فئاتها بشكل صريح بقيم عددية، كما هو الحال في نموذج ماب نفسه. بعد ذلك، تُربط كل فئة مع مجموعة من البيانات المجدولة وتُحفظ في نظام إدارة بيانات علائقي (RDBMS) (الجدول رقم ٢,١).

نجد على سبيل المثال في موضوعنا (الغابات) في الجدول رقم (٢,١) أن هناك بيانات وصفيّة إضافية، مثل: كثافة الظل؛ ونسبة ضرر الحشرات. تلاحظ أيضاً، أن هذا يساعد في تخزين صفات إضافية، مثل: القيم المرتبطة مع كل عدد؛ ومقدار (عدد) الخلايا (مساوياً للنسبة من الخريطة المغطاة بكل فئة). وكما ترى، فهذا يسمح بكمية من البيانات الوصفيّة التي يمكن أن يحتويها كل موضوع، وهذا يوفر مساحة تخزين حاسوبية؛ إذ لا يتطلب ذلك مواضيع إضافية لكل فئة، في الوقت الذي يضع البيانات الموضوعيّة بين يدي المستخدم بسهولة. والأخيرة هذه تعد مهمة جداً لعمليّة النمذجة، إذ أنه مع كل خريطة تُستخدم يتم جلب صفاتها المرتبطة بها. بالإضافة إلى ذلك، فكلما تداخلت أي خريطة مع أي خريطة إضافية فإن البيانات الموضوعيّة المضافة تنتقل إلى المواضيع المنشأة الجديدة.

يشتمل نموذج البيانات في حزمة التحليل الخرائطي (MAP) الموسّع على إنشاء مُدخلات في جدول الصفات لكل خلية ممثلة. يسمح هذا النموذج للخلية الواحدة بأن يكون لها عدداً من التوصيفات دون حاجة إلى وجود مجاميع إضافية من الشبكات الموضوعيّة.

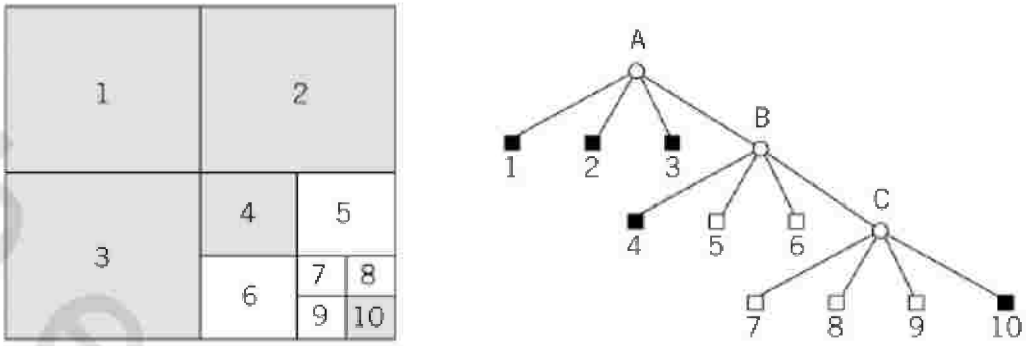
الجدول رقم (٢,١). نموذج البيانات الموسع في MAP (ماب).

نسبة ضرر الحشرات	كثافة الظل	النوع	العدد	القيمة
لا يوجد بيانات	لا يوجد بيانات	لا يوجد بيانات	٣	٠
٨	٣٠	صنوبر أبيض	١٢	١
١٠	٦٥	بلوط أحمر	٨	٢
٠	١٠	رانتيج أزرق	٤	٣
٢٠	٤٥	حَوَر رجراج	٥	٤
٣٥	٨٠	دردار	٤	٥

2	1	4	4	4	1
2	2	0	5	5	1
2	2	1	5	5	1
1	2	4	1	2	1
3	3	3	1	2	1
1	1	3	0	0	4

التفريع التربيعي

نجد أنه في كل أنواع نماذج البيانات الخلويّة التي استعرضناها حتى الآن إن الفرضية الرئيسة هي أن كل خلية تأخذ نفس الحيز من المكان الجغرافي. وبالرغم من أن هذا التقسيم يعد سهل الاستيعاب نسبياً – وبالتأكيد هو الأكثر شهرة – إلا أنه يتطلب أن تُخزن كل خلية وكل مجموعة من الصفات المرتبطة (في حالة النموذج الخلوي الموسع) في شكل عنصر أو عناصر منفصلة. ينتج عن هذا مساحة تخزينية هائلة غير مرغوب فيها. وهناك بعض الطرائق لهذه التقسيمات التقليديّة للترميز والتخزين بهدف تقليل كميات البيانات المخزنة. فعلى سبيل المثال، توفر طريقتا ترميز طول فترة التنفيذ (Run-Length Encoding) والترميز الكتلي (Block Encoding) كميات من مساحة التخزين لا يستهان بها، من خلال دمج أقاليم كبيرة من الأرض لتصبح وحدات متكاملة. تتطلب نظم المعلومات الجغرافيّة المتعلقة بهذه التقنيات أو الطرائق، في بعض الأحيان، تحويل البيانات إلى أشكال غير مدمجة (مجزّأة) قبل التحليل والنمذجة، في حين أن بعض البرامج الأخرى لا تتطلب ذلك. إن طرائق الدمج هذه مصممة أساساً لعمليات الإدخال والتخزين بدلاً من عمليّة النمذجة. هناك نموذج آخر للدمج تم تصميمه في الأصل لعمل نظم الخبرة والذكاء الاصطناعي، حيث صُيغ ليعمل بوصفه شكلاً من أشكال نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. يسمى هذا النموذج بالتفريع الترتيبي (Quadtree)، حيث يقسّم الأرض إلى وحدات مربعة متجانسة متعاقبة في الصغر (الشكل رقم ٢,١٠)، يسمح للمستخدم بأن يحدّد مقدار تفصيل التقسيم (يسمى، في هذه الحالة، بمستوى التفريع التربيعي) المطلوب استعماله في النمذجة. إضافة إلى ذلك، يعد تركيب بيانات التفريع التربيعي سهل الاستعمال للنمذجة دون حاجة إلى أن يتم أولاً إعادة تشكيله إلى حالته المكانيّة الأكثر بدائية (الأصلية). يتوفر نوعان أساسيان من حزم البرامج التي تستخدم نموذج البيانات هذا، الأول، نسخة غير تجارية من جامعة ماري لاند يسمى: Quilt (كويلت) (Shaffer, et a;. 1990)، ويحتاج إلى بناء واجهة مستخدم. والثاني، يسمى: SPAN (إسبان)، وهو حزمة محترفة تجارية، ويعد مناسباً تماماً من حيث القدرة على تطوير نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. ولحسن الحظ، فإن المنهجيّة في النمذجة تشبه كثيراً ما يمكن أن يصادفه الواحد في أي من حزم نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الأكثر تقليديةً.



الشكل رقم (٢,١٠). إن تمثيل الخلايا بالتفريع التربيعي يقسم المكان الجغرافي إلى تربيعات متعاقبة. يخزن هذا المنهج في تمثيل البيانات الخلويّة مجاميع مربعة متماثلة للخلايا كقيمة أو مستوى تفريعي تربيعي واحد. وبهذه الطريقة، فإن الأقاليم الأكثر تجانساً عادةً ما تُخزن بكفاءة.

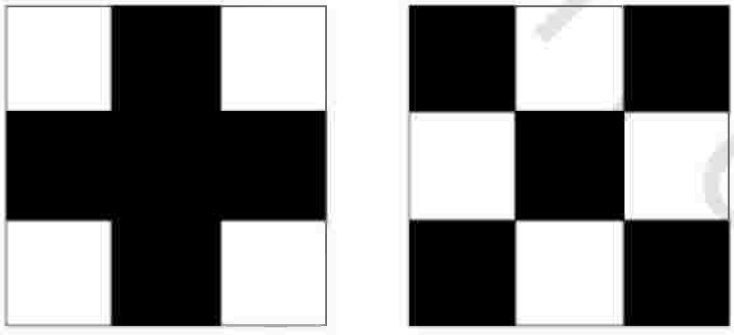
الآلية الخلويّة

شهد مجال نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مؤخراً دخول تطوير موازٍ صُمم أساساً من قبل جون فون نيومان وصديقه أولان وتم تفعيله لنمذجة الحياة نفسها كجزء ممّا سُمي بلعبة الحياة (Game of Life) (Gardner, 1990, 1971). ولقد سُمي بالآلية أو الروبوتات الخلويّة (Cellular Automata – CA)، وتُبنى نماذج البيانات هذه، أيضاً، على تقسيمٍ خلويّ منتظم للمكان الجغرافي. ويخزن نموذج الآلية الخلويّة قيمة، مثل النموذج الخلوي البسيط، لتمثيل صفة ما لسطح الأرض (Theobald and Gross, 1994). غير أنه يختلف عن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المعروفة في أنه يشتمل على مجموعة صريحة من قوانين الانتقال (Transition Rules) يحدّدها المنمذج، وهي مصممة بحيث تسمح بالنمذجة الديناميكيّة. وهاتان الخاصيتان هما ما جعل الآلية الخلويّة يُطلق عليها بآلية التقسيم الذاتية، أو بالمصفوفة المعاودة أو المتكررة في حالة السماح بالمُدخلات الخارجية.

يختلف التعريف الحقيقي، في الواقع، بين مؤلف وآخر، خاصةً فيما يتعلق بكيفيّة تحديد قوانين الانتقال ضمن خلايا الشبكة. تتأرجح التعريفات للنماذج المبنيّة على أساس شبكي بناءً على حالة (State) القيم، فتكون إما متصلة وإما منفصلة، أو بناءً على حالة قوانين الانتقال، فإما عشوائية وإما حدية صارمة، أو على أساس تغيرات الحالة، فإما متزامنة وإما غير متزامنة (Childress, et al. 1996). وقد تُستنبط القوانين، في بعض الأحيان، من خلال الاستنباط اللغوي لتجارب النموذج، أو من خلال قوانين عمليّة مجربة (Rules of thumb) (Wu, 1996)، وفي أحايين أخرى، ترتبط القوانين بشكل قريب جداً من الظروف البيئيّة الحقيقية (Childress, et al. 1996). لقد حاول بعض

الباحثين ربط الآلية الخلويّة مع نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المتوفرة، من خلال تعديلات معينة على الجبر الخرائطي لِتوملن (Takeyama and Couclelis, 1997). سوف نناقش الكثير من جوانب النمذجة لنماذج البيانات هذه عندما نفحص – فيما بعد من هذا الفصل – استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة في نمذجة البعد الزمني.

ولكي تُنفذ النمذجة بنموذج الآليات الخلويّة، لا بد أن تكون الصفات مسجلة على هيئة أعداد نسبية (كسرية). هذا مهم؛ ذلك أن حالات الانتقال، والتي تكون دقيقة في الغالب، يمكن تمثيلها بتغييرات (فروق) دقيقة متساوية بالأعداد الكسرية. إضافة إلى ذلك، يستند نموذج الآلية الخلويّة بشكل كبير على مفهوم الجوار (Neighborhood) – وهو مفهوم سنعود إليه في الفصل الرابع. إن أكثر الجوارات شهرة هما: جوار فون نيومان (خلايا الجوار الملاصقة)؛ وجوار مور (خلايا الجوار القطرية) (الشكل رقم ٢,١١) (Childress, et al. 1996; Hogeweg, 1998)، وهما جواران مباشران؛ بمعنى أن كل خلاياهما ملاصقة مباشرة للخلية المركزية، أو في شكل قطري للخلية المركزية (سوف نسمي ذلك لاحقاً بالخلية الهدف أو الخلية المستهدفة). وبالرغم من أن هذين الجوارين هما أكثر أشكال الجوار شيوعاً – إلا أن الآلية الخلويّة لا تقتصر على الجوارات المباشرة. وبغض النظر عن كون الخلايا متجاورة أو ممتدة، فإن أهم خاصية، في الحقيقة، للآلية الخلويّة هي أنها تسهّل فرصة دراسة الخصائص والسلوكيات الكبيرة أو الكلية الناتجة من فهم العمليات المحليّة فقط (Theobald and Gross, 1994). ومن ضمن السلبيات الرئيسة في هذه الآليات أو الروبوطات الخلويّة هي تلك السلبيات نفسها التي تشترك فيها معظم بيئات العمل المبنيّة على الخلويّة الشبكية، مثل فرضيات النظامية (Regularity)، والتجانس، والعمومية، والإنغلاق أو الإقفال، وهي فرضيات لا تنطبق بالضرورة على الحياة أو العالم الحقيقي.



جوار فون نيومان　　جوار مور

الشكل رقم (٢,١١). أكثر جوارين شهرة في تمثيل المكان الجغرافي بالآلية الخلويّة هما، جوار فون نيومان (von Neuman Neighborhood) (يسار الشكل) الذي يتعرف على الخلايا الملاصقة فقط، وجوار مور (Moore Neighborhood) (يمين الشكل) الذي يتعرف على الخلايا القطرية فقط.

إيجابيات المنهجيّة الخلويّة وسلبياتها

تنطلق معظم سلبيات نماذج البيانات الشبكية المستخدمة، أيا كانت، كثيراً من خصائص التقسيم نفسه، أكثر من النموذج المعين الذي تعمل فيه هذه الخصائص. فالسلبيات الرئيسة تتعلق خاصةً بالقصور النسبي في التفصيل أو درجة الوضوح المكانيّة مقارنةً بمثيلاتها الخطّيّة (Vector). ومن منظور التمثيل الخرائطي تحديداً، فإن التقسيمات الخطّيّة تتشابه مع مثيلاتها الخطّيّة بدرجة أكبر بكثير من تشابهها مع الأنواع الخلويّة. ولهذا السبب فإن بعض الناس يرتاح لبيئة العمل الخطّيّة، خاصةً أولئك المهتمين بالإنتاج الخرائطي والذين تكون نمذجتهم أقل تعقيداً أو أكثر بيانيةً (Graphical)؛ أي العمليات المعروفة (التقليديّة) مثل مقارنة الأهداف الخرائطيّة داخل موضوع واحد، أو مقارنة المُخرجات الخرائطيّة. لقد أشار توملن (١٩٩٠م) أن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ذات توجه أو تركيز على الموضع (Position) أكثر من نظيراتها الخطّيّة، التي هي أكثر تركيزاً على الموضوع؛ وذلك لاعتمادها القوي على المضلع كشكل أساس للبيانات. قد يبدو هذا مخالف للتوقعات، إذا علمنا أن النظم الخطّيّة تخصص إحداثيات محدّدة لكل نقطة من النقاط التي تؤلف مع بعضها الخطوط، والمضلعات (المساحات)، والسطوح الأرضية المبنيّة بالشبكة المثلّثيّة غير المنتظمة (TIN). وبالرغم من أن هذا صحيح، فالمكان الوسطي (البيني) بين مجموعة النقاط هو في الواقع مكان ضمني بدلاً من كونه مكاناً صريحاً أو محدّد المعالم؛ إذ لا يوجد تمثيل إحداثي صريح لهذا المكان الوسطي. أما في النظم الخلويّة فلأن كل المكان الجغرافي مغطى بدرجة أو بأخرى بخلايا الشبكة، فإن المكان غير المحسوب هو ذلك المتعلق بالتجزيئ الكمي للمكان الجغرافي المرتبط بحجم الخلية الشبكية، وذلك لكل خلية. أما في النظم الخطّيّة، فالصفات تكون ضمن الأماكن بين أو داخل النقاط التي تمثّل مختلف الأهداف الجغرافيّة، إذ يُفترض أنها منتظمة – إلا إذا رُمّزت بشكل صريح في جداول الصفات الخطّيّة. فعلى سبيل المثال، سوف تمثّل الصفات عموماً بين رابطين (عقدتين Nodes–) على طول شبكة خطّيّة للطرق قيمة واحدة لكل صفة، لهذا يمكن تصنيف حالة طريق على أنه "يحتاج إلى إصلاح"؛ وعليه، فحالة الطريق هذه تبقى أو تنطبق على كامل طول الخط بين العقدتين (أو العقد). ولإظهار أن جزءاً من الطريق لا يحتاج إلى إصلاح فإن المستخدم يُدخِل أو ينشئ عقدة أخرى لتسمح له بتغيير صفاته. ويمكن تفادي هذا القصور في نموذج البيانات الخطي عندما يحتوي البرنامج على شكل آخر من أشكال التجزيئ الديناميكي (Dynamic Segmentation) المُصمم خصيصاً للسماح بالتغييرات على طول الهدف الخطي مثل الطريق. أما في النموذج الخلوي، فالطريق عبارة عن سلسلة من الخلايا الشبكية التي يمكن أن تُغير صفاتها على طول امتداد الخط بسهولة من خلال تخصيص قيم مختلفة للخلايا من قبل المستخدم. لهذا فالطريق يمكن أن يتراوح من "لا يوجد إصلاحات ضرورية" إلى "إصلاحات بسيطة ضرورية" إلى "إصلاحات ضرورية"، وعليه يمكن تخصيص قيمة (١) لتشير إلى أنه لا حاجة للإصلاحات، و(٢) للإصلاحات البسيطة، و(٣) للإصلاحات الكبيرة.

ربما يعد المضلع أسهل طريقة لتصور فرضية توملن القائلة بأن النماذج الخلويّة مركزة على الموضع والنماذج الخطّيّة أكثر تركيزاً على الموضوع. ففي نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة يمثّل المضلع بمجموعة من الخطوط المحيطة، كل منها محدّد بزوج من الإحداثيات. لا يوجد كيانات أخرى تحدّد المضلع نفسه، أما صفاته فتُخصص بانتظام أو تماثل على كامل الحيز المكاني المحاط. يمكن أن يمثّل المضلع نوعاً من استخدام الأرض، أو فئة من الزراعة، أو نوعاً من التربة، وهذا لا يترك مجالاً لحساب التنوع الداخلي أو لتحديد حدوده البينية. تستطيع نماذج البيانات الخلويّة أن تشمل مدى من القيم التي تبيّن كل من التنوع الداخلي وحدوده عند الضرورة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يُشار إلى مضلع خاص باستخدام الأرض بالنموذج الخلوي بقيم تتراوح بين (١) و(١٠) لتعبّر عن كثافة الاستخدام. كما أن مفهوم الإقليم الجغرافي يمكن توضيفه، هنا، بسهولة؛ لأنه يسمح للمضلعات ذات النوع الواحد فقط من استخدام الأرض أن تشمل التنوع الداخلي، ومع ذلك تبقى جزءاً من فئة إقليمية أكبر. فالمضلعات الخاصة بالتربة الممثلة بخلايا شبكية تعطي، أيضاً، مجالاً للإدراك بأن داخل أي نوع معطى من التربة يمكن أن يكون هناك مدى أو تفاوت في قوام التربة، وقلويتها، وأعماقها، وغيرها من القيم المهمة لعالِم التربة، أو عالِم الزراعة، أو المهني المختص بالبيئة.

بناءً على فكرة توملن هذه، فقد بين توملن أن هذه النماذج تعد أكثر فائدة في الإجابة على السؤال "أين"، في حين أن التقسيمات الخطّيّة أكثر ملاءمة للإجابة على السؤال "ماذا". وبالرغم من أن هناك حالات فردية لا تكون هذه الفكرة فيها صحيحة – إلا أن الفكرة تنطبق بشكل عام على معظم التطبيقات. ربما بسبب الاستثناءات من القاعدة العامة – أي فكرة ملاءمة النماذج الخلويّة للإجابة على السؤال "أين"، قد تبدو فكرة التركيز على الموضع غير منطقية، لكن قد تبرهن بعض الأمثلة السريعة على أن فكرته صحيحة تماماً. ولأن المضلعات تُعد أكثر الأهداف سهولة في فهم هذه الفكرة، فسوف أحصر أمثلتي البسيطة في هذه الأشكال. أكثر من ذلك، ولأن تركيزنا، هنا، على النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة فإني سوف أركّز على الاستفادة من التقسيم الخلوي للإجابة على بعض أسئلة "أين". فلنقل أنك تريد أن تستخدم نظم المعلومات الجغرافيّة لفحص نتيجة استعمال المخصبات على محاصيلك الزراعية لتحسين الإنتاج. في نظام المعلومات الجغرافيّة الخطي، سوف تمثّل محصولك، في الغالب، بمضلع واحد، وقد تحسن ذلك من خلال إنشاء مضلعات تبيّن، على سبيل المثال، توفُّر المواد المغذيّة للتربة. سوف تعطي المضلعات، في معظم الأحوال، مدىً معينا من التدرج؛ أي مدىً يبيّن التنوع داخل المضلع الواحد. أما في التمثيل الخلوي لبيانات مغذيات التربة، فإنه، في الغالب، سوف يشير إلى تغير متدرج لتوفُّر هذه المغذّيات، بحيث إن كل خلية تحتوي على قيمة خاصة بها. يُظهر التمثيل الخلوي تفاصيل كثيرة حول التنوع المكاني للمغذيات في حقلك أكثر مما يظهره التمثيل الخطي. سوف يساعدك هذا في أن تحدّد بالضبط أين (في الحقل نفسه) يمكن أن تكون الكميات الأكبر الزائدة أكثر فاعليّة، وأين بالضبط (في الحقل نفسه) تكون الحاجة لوضع مخصبات أقل؛ لهذا فالنموذج

الخلوي يقدم لك مجالاً واسعاً من الخيارات. علاوةً على ذلك، فإن طبيعة التغير التدريجي للتمثيل الخلوي قد يثبت فاعليته في تحديد الاتجاهات أو النزعات العامة (Trends) لتوفر المواد المغذية التي قد تكون مرتبطة بالانحدار أو بعوامل أخرى. ومن الممكن، أيضاً، أن تكون هذه المعلومات الإضافية مفيدة في التخطيط المستقبلي لزراعة المحاصيل وتحسينها، وربما اقتراح عمل مصطبات زراعية ثانوية.

وكمثال آخر على كيفيّة التعامل بسهولة مع السؤال "أين" بالنظام الخلوي مقارنةً بالنظام الخطي، هو عند التعامل مع حركة الأشياء سواء عبر السطح أو ضمن الطبقات السطحية السفلية. فنمذجة التدفق (أو الحركة) مثلاً، تُنفذ بالنموذج الخلوي بسهولة أكبر من النموذج الخطي. لنقل على سبيل المثال، أنك تحاول أن تفحص حركة الملوثات التي تتدفق من مصادر متعددة، ربما من الحقل الذي أضفنا عليه المخصبات إلى مجاري الأنهار القريبة. إن الأسئلة الأساسية المطروحة، هنا، هي من أين يأتي الملوِّث، وأين يذهب، وكم الكمية التي تصل هناك؟ ولأن شكل حقلنا ليس منتظماً في جميع أنحاءه، ولأن الطبقة السفلية ليست منتظمة في قدرتها على نقل المخصبات المذابة، فإن التمثيل الخلوي سوف يساعدنا في تقدير هذا السطح الداخلي والتنوع في السطح السفلي.

ومثلما يمكن أن تتصور من هذا المثال الأخير، فإن أي نوع من النمذجة التي تتطلب حركةً عبر كامل الشبكة، سواء كانت هذه الشبكة تمثل سطحاً ظاهرياً أو سفلياً، أو حتى أحوالا جوية، يمكن تنفيذها بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة بفاعليّة كبيرة. إن هذه المهمات مثل التنبؤ بحركة عوادم الغازات الخطرة الناتجة من التسربات الكيميائية المضرّة، وحركة الزيت المتسربة من سفن النقل، وآثار أحزمة الصد على تقليل أو الحد من التعرية أو الانجراف، وتشتت بذور الأشجار بفعل المطر، وحركة الحيوان على سطح الأرض، بل وحتى تصميم مزارع تربوينات الهواء (الرياح)، تستلزم كلها طريقة معينة قادرة على التحديد الكمي للاختلافات الناتجة من التغير من مكان إلى آخر. تتطلب نمذجة هذه التغيرات منا أن نعرف أين يكون التنوع وكيف يمكن ترجمة ذلك إلى تنبؤات للمكان الذي سيؤول إليه هدفنا أو ظاهرتنا قيد النمذجة في نهاية المطاف.

هناك بالطبع فوائد أخرى للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، كثير منها تنبثق من التوفر المتزايد للأشكال الخلويّة الخاصة بالأقمار الصناعية والتصوير الجوي والصور الملتقطة أرضياً عن بعد. وبالرغم من أن هناك خوارزميات وافية متاحة تساعدنا في التحويل من النموذج الخلوي إلى الخطي، أو العكس –إلا أن السهولة في إدخال بيانات الاستشعار عن بعد الخلويّة في نظام معلومات جغرافيّة خلوي يجعل هذا هو الخيار الأسهل من قبل المنمذجين. وينطبق هذا بشكل خاص في حالة تحديث البيانات الوصفيّة دورياً في قاعدة البيانات من خلال استخدام بيانات الاستشعار عن بعد. وتستخدم هذه الطرائق في التحديث وتحليل التغير الزمني، في معظم الأحوال، شكلاً من أشكال منهجيّة التطابق الخرائطي. وبالرغم من أن المطابقة الخرائطيّة بالنموذج الخطي متوفرة بسهولة – إلا أن المنهجيّة الخلويّة تتفوق على نظيرتها الخطّيّة في بعض المميزات، وذلك في: أولاً، أن المطابقة الخلويّة عادةً ما تكون

أسرع حاسوبياً من الطريقة الخطّيّة، خاصة عند استخدام نموذج البيانات الخلوي البسيط بدلاً من الموسع؛ ثانياً، هناك عدد من طرائق المطابقة الرياضيّة التي يمكن تطبيقها بسهولة بالنموذج الخلوي مقارنةً بالنموذج الخطي؛ وأخيراً، يتخلص التقسيم الخلوي من بعض المشكلات في المطابقة الخطّيّة المتعلقة بشظايا المضلعات، وهي المضلعات الصغيرة جداً التي لا تعكس بشكل صحيح مواقع الصفات. وفي قواعد البيانات الخطّيّة المعقدة، وعندما تُنفذ المطابقة، فإن المستخدم يجب أن يكافح كي يتخلص من أعداد هذه المضلعات الهائلة الناتجة من العمليّة. والمشكلة الأساسية تكمن في التأكد من أن هذه الشظايا تمثّل في الواقع تغيراً حقيقياً أو أنها نتاج لعنصر الخطأ المكاني في مجموعات البيانات الخطّيّة.

تذكر أنه بالرغم من أن النموذج الخلوي له بعض المزايا مقارنةً بالنموذج الخطي، خاصةً تلك المتعلقة بالمطابقة الخرائطيّة – إلا أن هناك في المقابل بعض المشكلات المزعجة التي يدخلها التقسيم الخلوي، أيضاً، في هذه العلمية. فبالرغم من أن مطابقة خليتين من طبقتين مختلفتين سوف ينتج عن ذلك، في الغالب، قيمة واحدة دون شظايا مضلعات غير مرغوب فيها –إلا أن الصحة الداخلية للخلية تثير التساؤل حول صلاحية البيانات. فلأن كل خلية تحتوي على معدل ما أو قيمة مكانيّة معمّمة من خلال عمليّة التجزيئ الكمي للمُدخلات، فإن نتائج المقارنة ليست دقيقة دائماً. وبكلمة أخرى، فبالرغم من أن فحص عمليّة المطابقة الخلويّة عادةً ما تكون أسهل للمفسِّر – إلا أن النتائج لن تكون أكثر صحة، بأي حال من الأحوال، من حيث تحديد الأصح من القيم الناتجة. لكن ستثبت المطابقة الخلويّة، على أي حال، فائدتها الأكبر في فحص مكان حدوث التغير، في معظم الأحوال. ومن ضمن أكثر العيوب المقررة سلفاً حول النموذج الخلوي مقارنةً بالنموذج الخطي، ضعفه في النواحي الجمالية (بالمعنى الخرائطي)، وعِظَم حجم قواعد البيانات، خصوصاً عند تخزين الخرائط بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، والكلفة الحسابيّة الناتجة من إجراء ت العمليات على مثل هذه المجموعات الكبيرة من البيانات. لقد درست الجهود البحثية في مجال النمذجة الخلويّة هذه المشكلات بشيء من التفصيل، خاصةً تلك المتعلقة بمشكلات التطبيق المحتملة الخاصة بحجم قاعدة البيانات (Williams, 1985). كما إن التطورات الحديثة حسّنت في التقنية الحاسوبية، خاصةً مع الزيادات التي طرأت على حجم أجهزة التخزين، وعلى برمجيات ضغط البيانات، وزيادة سرعات المعالج، وتقليل المشكلات المرتبطة بكل من التخزين وسرعة التحليل المطبّقة على قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. ولقد سمحت هذه التحسينات، أيضاً، بتطوير مجموعات بيانات أكبر حجماً، وأكثر واقعيةً، وأن تُخزّن، وتُحلّل، مع العلم إن الخلية أصبحت، في نفس الوقت، أصغر حجماً. ولنضرب مثالاً واحداً فقط، فتقنيات الاستشعار عن بعد ستكون متوفرة بسهولة بدرجات وضوح في حدود المتر الواحد. إن لحجم الخلية المصغر تأثيراً إيجابياً على المُخرجات، حيث تظهر وقد تخلصت كثيراً من المظهر التجميعي، مقارنةً بمجموعات البيانات القليلة التي تتميز بكبر الخلايا في فترة التسعينات. وفي الحقيقة، تظهر كثير من البيانات الخلويّة اليوم ذات درجات الوضوح العالية أكثر

تفصيلاً من الناحية الجمالية حتى مع مقارنته بمثيلاتها الخطي ؛ وذلك تبعا لقدرتها في توضيح التغيرات التدريجية والتنوع في الصفات. وباختصار، فبالرغم من أن قواعد البيانات الخلويّة تستحوذ على مساحة أكبر وتتطلب قوة حاسوبية ضخمة، خاصةً للبرمجيات المتقدمة كثيراً المتعلقة بالحركة أو الإنسيابية -إلا أن مرونة قدراتها النمذجية وقوتها تتجاوز كثيراً سلبياتها.

مصادر البيانات

من الأمور التي تم الاعتراف بها على نطاق صناعي واسع تقريباً، هو أن جزءاً كبيراً من الكلفة في تنفيذ عمليات نظم المعلومات الجغرافيّة يأتي من تحويل الأشكال التقليديّة للبيانات والمعلومات المكانيّة إلى بدائلها الرقميّة. وليست هذه المقولة بالتأكيد أقل صحة في حق البيانات الخلويّة من البيانات الخطّيّة. لقد بحثنا حتى الآن في البيانات الخلويّة في أطر عامة تقريباً، عدا بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة. ومن الأمور المسلم بها كثيراً، أن معظم بياناتك ستكون مُدخلة من الخرائط التقليديّة من خلال شكل ما من أشكال عمليّة الترقيم، وهي - إلى حد كبير - أبطأ عمليّة وأكثر إجهاداً لجمع البيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، لكنها تسمح لك بتحكم أكبر في نوعية البيانات المُدخلة وقابلية تطبيقها. وإذا كانت المشكلة هي الوقت، فإن هناك، على أي حال، العديد من مجموعات البيانات الخلويّة ذات الجودة العالية التي أصبحت متوفرة من خلال المنظمات المحليّة والوطنية حول العالم، إذ تخزّن بعض المنظمات أو الهيئات الحكومية كميات ضخمة من البيانات الرقميّة، خلوية وخطّيّة، بل أصبح هناك صناعة جديدة كاملة تعنى بإنشاء وتوفير بيانات خام للشراء ذات قيمة نوعية مضافة، خاصةً في تجهيزها حسب الطلب. وبالرغم من وجود بعض القضايا المؤسساتية التي يجب أن تُطرح قبل الحصول على مثل هذه البيانات، فإني أحيل القارئ إلى مراجع أخرى تعالج هذه القضايا بدلاً من طرحها هنا (Chrisman, 1997; DeMers, 2000a). وبدلاً من ذلك، سأركز على بعض أنواع بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة المتوفرة بسهولة، وبعض مصادرها، ومصادر البيانات الموصى بها لتطبيقاتك.

ومثلما قد تتوقع، فهناك العديد من أنواع البيانات الخلويّة التي يمكن الحصول عليها، إضافةً إلى توفر العديد من الأشكال أو الأنساق (Formats) والمصادر العديدة لهذه البيانات. تشمل هذه الأنواع من البيانات، بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة التجارية التي تمثّل خلاياها عناصر الصورة (عنصورات Pixles)، والصور الممسوحة (Scanned Images) مثل مربعات الصور الجوية المصححة (Orthophotoquads)، وبيانات الغطاء الأرضي والاستخدام الأرضي (Landuse/Land Cover -LULC)، والرسوم البيانية الخلويّة الرقميّة (Digital Raster Graphics –DRGs)، ونماذج الارتفاعات الآلية أو الرقميّة (DEMs)، وبيانات قائمة جرد الأراضي الرطبة الوطنية الأمريكية (NWI). ولقد بدأ عدد من وكالات البيانات (Clearinghouses) مؤخراً بجمع وتوزيع وتبادل بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة على

مستويات إقليمية ووطنية. بل إن بعض المنظمات الحكومية قد دعمت أنواعاً مشابهة من هذه الوكالات المهتمة بالتطبيقات البحثية على البيانات لتحديد فائدتها لأنواع مختلفة من بيئات العالم الحقيقي. ويستمر ظهور مثل هذه الوكالات، إما لبيع بيانات خام، وإما بيانات ذات قيمة مضافة لنظم المعلومات الجغرافيّة، أو بغرض تبادل البيانات بين الأفراد والمؤسسات المعنية بتشارك البيانات. وتحاول بعض هذه الشركات الخاصة أن تجعل تكاليف البيانات الرقميّة في أقل المستويات من خلال طلب المستخدمين أن يوفروا مجموعات البيانات التي أنشأوها بأنفسهم مجانا، أو مقابل مجموعات بيانات أخرى موجودة عند هذه الشركات. وتعد شركة: GISDataDepot مثالاً للشركات الكبيرة التي تعمل في هذا الإطار، إذ تظهر دلائل نجاحاتها من خلال تزايد مجموعات البيانات الكبيرة على المستويات الإقليميّة والمحليّة والعالمية. ولا يزال هذا المنهج جديدا لمقدمي البيانات التجارية. وتتقاضى الكثير من الشركات الخاصة بتبادل البيانات الرقميّة، في معظم الأحوال، أجوراً عالية في الوقت الذي تكون هذه البيانات متوفرة بأقل من ذلك كثيراً عندما لا تكون ذات قيمة مضافة (خاصة) لنظم المعلومات الجغرافيّة. ولقد بدأت الهيئات المحليّة الحكومية والاتحادية والإقليميّة بالتكاتف حول جمع البيانات الأساسية لزبائنها المحتملين. وتطور المساحة الجيولوجية الأمريكية حالياً في الولايات المتحدة الأمريكية –من خلال مؤسستها المعروفة بالبنية التحتيّة للبيانات المكانيّة الوطنية (NSDI)– وكالةً للبيانات الأرضية الوطنية (NGDC). وتقوم فكرة هذا التنظيم حول إنشاء مجموعة من المراكز الموزعة، مرتبة تحت أربعة مواضيع: معلومات الموارد الأحيائية؛ والمعلومات الجيولوجية؛ والمعلومات الخرائطيّة الوطنية؛ ومعلومات الموارد المائية. ولقد نتج عن هذا مجموعة من وكالات البيانات على مستوى الولايات لخدمة كل ولاية على حدة وللدولة. كما يتم استحداث برامج مشابهة في كندا، فعلى سبيل المثال، قامت الحكومتان الإقليميتان لكل من منطقتي البرتا وبريتش كولومبيا بتحديد طريقة لتطوير وتنفيذ مجموعات بيانات لهذه المناطق تتعلق بقائمة الموجودات الغابية.

تتوفر البيانات الحكومية، عادةً، لأقاليم كبيرة من العالم، وبتكلفة معقولة، وعادةً ما تكون مصدراً جيداً للغاية لبيانات خرائط الأساس (Kemp, 1993). وعلى أي حال، فالتكلفة القليلة والتغطية المساحية الكبيرة يقابلها أحياناً قلة في جودة البيانات من ناحية الصحة وكذا فائدتها الزمنية. كما أن توفر هذه البيانات الحكومية يتفاوت، إذ أنها عادة ما تكون متوفرة بشكل عام وذات تغطيات مساحية كبيرة على المستوى الاتحادي (الفيدرالي). وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يعد الدليل الإرشادي لمنتجات البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDP) نقطة بدء جيدة، إذ أن معظمها متوفر على الشبكة العنكبوتية العالمية (WWW)، في موقع لجنة البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDC) (1992). سوف يوفر هذا موردا لكثير من البيانات المأخوذة من مصادر مختلفة مثل مصلحة الإحصاءات؛ وخدمة حماية الموارد الطبيعية؛ وإدارة الفضاء؛ والملاحة الجوية الوطنية (NASA)؛ وهيئة إدارة الطوارئ الاتحادية؛ ومصلحة إدارة الأراضي؛ وغيرها مما تم ذكره سابقا. توفر صفحة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) على

الإنترنت الخاصة بمنتجاتها من الأبحاث والبيانات فهرساً للبيانات المتوفرة، وتشمل تلك المدرجة من قبل هيئة البيانات الجغرافيّة الاتحادية. وتوفر هيئة البيانات الجغرافيّة الاتحادية، أيضاً، مجموعة كبيرة من المنتجات الرقميّة لتسجيل معلومات بياناتك (Metadata)، بحيث يكون للمستخدمين في المستقبل فهماً واضحاً لطبيعة البيانات التي يستخدمونها في العمل من حيث نوعيتها، وصحتها، وتسلسلها. سوف نناقش فيما بعد معلومات البيانات عندما نتحدث عن الخطأ في نظم المعلومات الجغرافيّة. ومع ذلك، تفرز البيانات الحكومية المتوفرة على المستويات المحليّة أو الإقليميّة أو الوطنية بعض المشكلات المتفردة في عمليّة الحصول عليها. ففي كثير من الحالات، لا تكون البيانات التي تم إنشاؤها وتخزينها وتوزيعها في أشكال أو أنساق متوافقة مباشرة مع احتياجاتك الخاصة. بالإضافة إلى ذلك، فإن توفرها يمكن أن يختلف حسب الإجراءات المؤسساتية للوكالات المتعلقة بالتوزيع، وحسب حساسية بياناتهم، بل وحتى حسب رغبة الموظفين في هذه الهيئات في تقديم البيانات. وقد يكون صعباً في كثير من الحالات أن تحدّد أين يوجد نوع محدّد من البيانات في داخل الجهة الحكومية. وقد يتطلب الحصول على بيانات من هذه الوكالات تطوير علاقات عمل مع الموظفين أنفسهم. قد يستلزم هذا توظيف جزء كبير من الوقت، لكن مثل هذا التوظيف يثبت فائدته مع الأيام لك شخصياً، ولمقدمي البيانات الذين قد يشتركون معك في الاحتياجات النمذجية.

لقد أصبحت المصادر التجارية للبيانات أكثر انتشاراً مع زيادة الطلب على البيانات الجغرافيّة. وقد يمتلك موفرو البيانات صلاحية الوصول إلى بيانات حكومية ذات قيمة مضافة (خاصة بالنظم)، أو بيانات أنتجها زبائنهم أنفسهم، أو بيانات أُنتجت داخل مؤسساتهم لخدمة مشروعاتهم الخاصة. قد لا يمانع ممثلو الشركات الخاصة – وهذا حسب طبيعة الشركة وعلاقاتها مع الزبائن الآخرين – في توفير البيانات لك مباشرة، وقد يسمحون لك بالاتصال مع زبائنهم للحصول على البيانات. وسوف يكون مقدمو البيانات، في كثير من الأحيان، قادرين على أن يوفروا خدمات تحويل البيانات من أشكال تقليدية إلى أشكال متوافقة مع البيانات الرقميّة. ومن الطرائق الفعالة في تحديد مقدمي البيانات، الاتصال بمن يوفر لك برامج نظم المعلومات الجغرافيّة، فهم يعرفون، في الغالب، موفري البيانات الأكثر شهرة، إذ عادةً ما يكون بينهم علاقات عمل مهنية.

وبالرغم من أن لاستخدام البيانات المتوفرة محاسن واضحة؛ ذلك كونها لا تتطلب تكلفة ولا وقت في التحويل –إلا أن هناك أشياء مهمة يجب أخذها في الاعتبار عند التفكير في استخدامها. أولاً، لا يعني توفر البيانات أنك في حاجة لأن تستخدمها، فإذا لم تكن البيانات تلك هي ما تحتاج بالضبط في النمذجة فلا تستخدمها. ثانياً، بالرغم من أن بعض البيانات متوافقة تماماً مع تطبيقك – إلا أن كثيراً منها غير ذلك. فعلى سبيل المثال، قد تختلف خصائص درجة الوضوح، والمسقط، ومنطقة الدراسة، والتصنيف، وغيرها من خصائص البيانات الأخرى كليا عما قد اعتقدت أنه ملائم لاحتياجاتك النمذجية. لا تدع البيانات هي التي تحدّد نموذجك. ثالثاً، حتى لو بدت خصائص البيانات ملاءمة لاحتياجاتك، فإنه من المهم أن تعرف جودة وتسلسل البيانات، وإذا لم يكن لديك تحكماً في الجودة، فإنك بذلك تعرّض نتائج نموذجك للخطر. كما أنه يأتي مع بعض البيانات القليل من التوثيق.

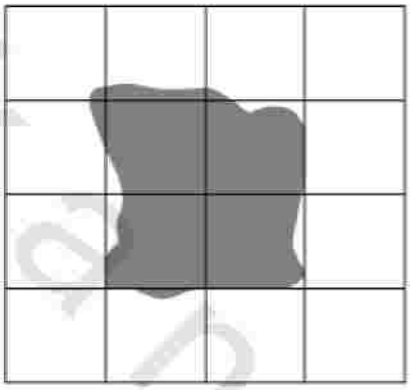
عليك أن تتوقع اليوم أنه يجب أن يكون لديك شكلاً ما من أشكال تقييم الجودة النوعية ومعها توصيف كامل لمحتويات الملفات، وكيف تم توليفها، ومصادرها، وما هي الطرائق التي اُستخدمت في تقييم الجودة. ويتوفر، في الغالب، مع البيانات الضخمة تقريراً وذلك في شكل نشرة منفصلة، عادة ما يطلق عليها معلومات البيانات (Metadata) التي تشمل قاموساً مفصلاً للبيانات. يوجد برامج متعددة المصادر على الإنترنت، توفر طرائق جيدة وواضحة حول تأليف معلومات البيانات، وتتوافق مع ما حدّدته لجنة مواصفات البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDSC). قد تُجبر في حالة عدم حصولك على توثيق كامل للبيانات، على إنشاء التوثيق الخاص بك من مصادر البيانات التقليديّة. ويشير هذا بالطبع إلى أن حاجتك في تنفيذ تحويل البيانات بنفسك تكمن أساساً في ضمان ضبط الجودة. وما زال هناك سبب آخر وجيه لهذا التحويل، وهو التنوع الكبير في أشكال البيانات، فقد يتطلب كل واحد منها تحويلاً من شكل إلى آخر، وقد يقود هذا إلى احتمالية حدوث خطأ غير متوقع في البيانات. لكن لتحويل بياناتك الخاصة مخاطره الخاصة، أيضاً، خاصةً ما يتعلق بالوقت الكبير الذي تتطلبه عمليّة التحويل، والتكاليف الضخمة المرتبطة بهذه العلمية. كما قد توفر لك تجربة تحويل جزء من بياناتك معلومات مفيدة حول مقدار الوقت المطلوب، والتكاليف المترتبة على ذلك، والوثوقية في كفاءة البرنامج لإخراج نتائج ذات جودة تفوق ما هو متوفر مسبقاً في شكل رقمي. وفي النهاية، يجب أن يُتخذ القرار في إنتاج قاعدة بيانات رقميّة خاصة بك بناءً على معرفة تامة بالبيانات الضرورية لمشروعك، والبدائل الرقميّة، وتقييم تام لقدراتك التحويلية. وإذا قررت – بطبيعة الحال – أن تنشئ قاعدة بياناتك، فإنك يجب أن تنشئ، أيضاً، مجموعة مفصلة من معلومات البيانات لاستخدامك الداخلي الخاص بك. هذا أمر مهم خاصةً إذا كانت البيانات سوف تُستخدم في مشاريع طويلة الأجل، أو أنها سوف تُباع لمستخدمين آخرين لنظم المعلومات الجغرافيّة.

اختيار الخصائص: حجم الشبكة، ومنطقة الدراسة، ونسق البيانات، والمسقط، ونظام الشبكة الإحداثي

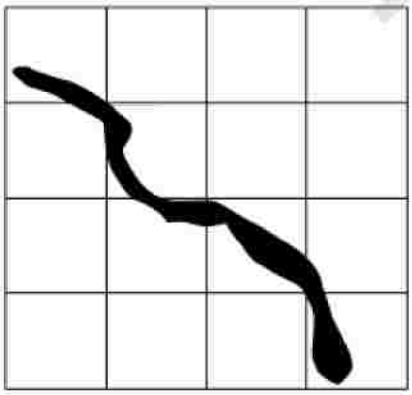
أصبحت برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة متطورة جداً. ولم تعد هذه البرامج الحديثة مقيدة بنظام الإحداثيات الكارتيزي، إذ تسمح بإدخال العديد من نظم الإحداثيات والمساقط ومعالجتها. أيضاً –وكما رأينا سابقاً – فإن توفر المعالجات الحاسوبية الأسرع وأدوات التخزين الكبير قد قلل الحاجة إلى القلق المفرط حيال قواعد البيانات، سوى أعظمها حجماً. ومع ذلك، فإن هذه القدرات سوف تؤثر على كل من توفر مجموعات بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة، وصحتها، وقدرتك في النمذجة بها، وجودة مخرجها النهائي.

تعد درجة وضوح الشبكة من ضمن القرارات الرئيسة التي يجب تحديدها عند إنشاء قاعدة بيانات بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. وبالرغم من أن مثل هذه القرارات كانت مرتبطة إلى حد كبير بحجم قواعد البيانات وقدرة البرنامج في التعامل مع مجموعات البيانات الكبيرة (Williams, 1985) – إلا أن درجة وضوح الخلية تعد اليوم أكثر ارتباطاً بالاحتياجات النمذجية. إذن، ما الذي يحدّد حجم خلية الشبكة لمشروع نمذجة معين؟ إذا كانت خلايا

الشبكة ذات بعد واحد، فإن نظرية أخذ العينات (Shannon and Weaver, 1949) تفرض أن يكون حجم الخلية نصف حجم أصغر هدف مطلوب التقاطه أو تمثيله (أي، وحدة التمثيل الصغرى Minimum Mapping Unit). غير أن خلايا الشبكة هي في الواقع ذات بعدين، وعليه فإن الخلايا يجب أن تكون – في الأغلب – ربع حجم وحدة التمثيل الصغرى. وفي هذه الحالات، سوف يسمح هذا على الأقل بأربع خلايا لكل هدف مطلوب تمثيله (الشكل رقم ٢,١٢). هذه قاعدة عامة يمكن استيعابها بسهولة، وتبدو منطقيّة تماماً. وإذا كانت الأهداف الممثلة طويلة، أو مضلعات متعرجة على سبيل المثال، فإن إستراتيجية التمثيل البسيطة هذه يمكن أن تحذف أهدافا معينة من قاعدة البيانات (الشكل رقم ٢,١٣). هذا يشير إلى أنه يجب أخذ الحيطة عند استخدام هذه النظريّة في تحديد حجم الخلية.



الشكل رقم (٢,١٢). أخذ عينة لأهدافك بالخلايا الشبكية. يجب أن يكون هناك أربع خلايا على الأقل للسماح بتمثيل أصغر هدف بحيث يستطيع نموذجك تنفيذ تحليله في نظام المعلومات الجغرافيّة.



الشكل رقم (٢,١٣). بالرغم من أن الطرائق البسيطة في تحديد عدد الخلايا التي يجب استخدامها لتمثيل أصغر وحدة تمثيل تعد فعّالة للأهداف المتجمعة – إلا أن الأهداف الطويلة والمتعرجة تتطلب أكثر من أربع خلايا لتمثيلها.

هناك طرائق أخرى يمكن تطبيقها في اختيار حجم خلية الشبكة. ومن أشهر هذه الطرائق طريقة التوفيق بين أحجام الخلايا الشبكية مع أحجام العنصورات (البكسلات) في بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة التي سوف تستخدم في النموذج. لكن – وبشكل عام – ليست فكرة جيدة أن تدع حجم البكسل يقيِّد جودة نموذجك، أما إذا كان معظم نموذجك يدور حول تلك البيانات (بيانات الاستشعار عن بعد)، وإذا كانت درجة وضوح البكسل مقبولة من ناحية أخرى لنموذجك، فإنها تعتبر حلاً سريعاً عملياً.

تعد حساسية النموذج لحجم الخلية خطوة أولى ضرورية في هذه الحالة، وقد تشير إلى ضرورة عمل نموذج فحص تجريبي بسيط لكيفيّة عمل النموذج مع أحجام مختلفة للخلية (DeMers, 1992). ومن المنهجيات المميزة في اختيار حجم الخلية للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، والذي يأخذ في الاعتبار المقاييس الحقيقية التي تتفاعل عندها البيانات في النموذج مع بعضها، هي النظريّة الهرميّة (King, 1991). وتتطلب مثل هذه المنهجيات معرفة تفصيلية حول طبيعة البيانات والنموذج نفسه. وعليه، يجب أخذ حجم الخلية في الاعتبار بغض النظر عن أي طريقة تُستخدم لهذا الغرض. ويتصل بحجم الخلية، أيضاً، مساحة منطقة الدراسة؛ إذ أنه حتى مع أكثر الحواسيب قوة، فإنك لن ترغب في استخدام حجم خلية بمقدار (١) متر إذا أردت أن تجري عمليّة نمذجة لأستراليا. ومن أكثر القضايا اهتماماً، العلاقة بين الأبعاد المساحية لمنطقة الدراسة وأنواع الوظائف النمذجية التي ستُستخدم. هذا الأمر مهم خاصةً عند استخدام نوع معين من الاشتقاق أو الإدارج البيني (Interpolation)، إذ ينصح في هذه الحالة بأن تمتد منطقة الدراسة إلى ما بعد المساحة الحقيقية للمكان المراد دراسته؛ ذلك بهدف أن يكون لخوارزمية الاشتقاق من البيانات ما يكفي لتنفيذ عملياتها. وبعد أن تكتمل العملية، يمكن اقتطاع الاشتقاق وضمّه مع باقي البيانات في قاعدة البيانات (DeMers, 2000a). غير أن الإستثناء الأساس في هذه الطريقة هو عندما يكون الحد الخارجي لمنطقة الدراسة حدا نهائيا، كما هو الحال في حدود الجزيرة. لقد تزايد التوافق بين أشكال البيانات مع بعضها بعد إدراك فائدة البيانات المتوافقة من قِبل موفري البيانات، وبائعي البرامج، والمستخدمين. ولا تختلف مجموعات البيانات الخلويّة عن مجموعات البيانات الخطّيّة في كونها تأتي في أنساق مختلفة، كل واحدة منها قد تكون متوافقة بدرجة معينة مع الأنواع الأخرى. وتختلف هذه الأنواع سواء كانت أشكال صور ناتجة من عمليات المسح الضوئي (مثل ملفات JPEG، أو GIF، أو بيانات الاستشعار عن بعد)، أو تلك الناتجة من عمليات الترقيم، أو كانت أشكالاً متنوعة أخرى خاصة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة – سواء كانت خلوية بسيطة أو موسعة – بالإضافة إلى البيانات التي تم تحويلها من شكل خطي إلى آخر خلوي. ولقد وفر تطبيق مواصفات تحويل البيانات المكانيّة (SDTS) نوعا من التنظيم لمجموعات البيانات التي تُدعم مصادرها من المدخرات الاتحادية للولايات المتحدة الأمريكية، لكن ما يزال هناك العديد من الأنواع والمصادر المختلفة. وبدلاً من محاولة حصر قائمة بكل أنواع البيانات المتوفرة، والتي خارج اهتمام هذا الكتاب، فإني ببساطة أتركك بهذا التحذير: اعرف أنواع البيانات التي يدعمها برنامجك، خاصةً تلك

التي يمكن استيرادها واستخدامها. عادةً ما تكون هذه الأنواع متوفرة في وثائق برنامج نظم المعلومات الجغرافيّة، لذا يجب الرجوع إليها قبل اختيار البيانات التي ستستخدمها في مشروعك. كما يجدر الأخذ في الاعتبار قدرة برنامجك على تصدير البيانات إلى أشكال أخرى. ويوجد، في الغالب، بعض الحالات التي يمكن أن يكون لديك برنامج معين لا تستخدمه في الغالب للنمذجة، لكنه يعد مثاليا لبعض المهام المعقدة أو المميزة. وإذا احتجت أن تصدِّر مواضيع خلوية مختارة إلى هذا البرنامج، فإنك سوف تحتاج إلى معرفة متطلباته المتعلقة بتوافق البيانات. ويحدث هذا، في الغالب، في عمليات نظم المعلومات الجغرافيّة التي تحتاج إلى مجموعات حزم متقدمة من نظم المعلومات الجغرافيّة والاستشعار عن بعد المتوفرة ، خاصةً عندما تتطلب عقود العمل أو أنشطة استشارية معينة العديد من البيئات التشغيلية، والنظم البرامجية، وأنواع البيانات.

وما يقال عن أنواع البيانات ينطبق، أيضاً، على نظم الإحداثيات الشبكية ومساقط الخرائط. وبالرغم من أن برامج نظم المعلومات الجغرافيّة والاستشعار عن بعد قادرة على التحويل من مسقط لآخر ومن نظام إحداثي شبكي إلى آخر – إلا أن هذه العمليات تقود، عادةً، إلى خطأ غير مرغوب فيه في قاعدة بياناتك نتيجةً لخطأ تدوير الأرقام الحاسوبية أثناء العمليات الحسابيّة لهذه التشكيلات الجديدة. لقد بيّن كل من بارا وماكدونيل (1998) بوضوح أنه كلما كثر تكرار هذه العمليات، زادت إمكانيّة تراكم هذه الأخطاء الصغيرة إلى درجات متباعدة من الفروق. تجري معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة تحليلاتها على مسقط خرائطي واحد (Wang, 1999)، أو تحول البيانات إلى إحداثيات جغرافيّة (خطوط طول ودوائر عرض) بغرض التحليل. فإذا اشتملت قاعدة بياناتك على مساقط متعددة ونظم إحداثيات شبكية متعددة، فإنها سوف تُحول بالضرورة للتحليل. وكلما كانت التحليلات أقل، قلّت فرصة حدوث الأخطاء الحسابيّة التي تتسلل إلى نماذجك.

التعامل مع مركبّة الخطأ في البيانات الخلويّة

لا يوجد قاعدة بيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة خالية من الخطأ، بغض النظر عن نوع القاعدة سواء كانت خطيّة أو خلوية. ولأن الخرائط هي أساساً نماذج للواقع المكاني، فإنه من المستحيل أن تمتلك خريطة تقليدية أو رقميّة لا تحتوي على مستوى معين من الغموض أو عدم التأكد (Uncertainty) أو الخطأ (Error). يمكن أن يكون هذا الخطأ مزعجاً في الخرائط، لكن عندما يُطبق على تحليل البيانات الخرائطيّة فإنه يتفاقم، وذلك تبعاً للطرائق التي تتسلل من خلالها الأخطاء إلى النموذج نفسه. تفترض نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، عادةً، بأن البيانات الأصلية قليلة الخطأ، وأن طرائق الإدخال تنتج خطأً إضافياً محدوداً، وأن كل الحدود واضحة وسهلة التحديد، وأن حدود الفئات والمجموعات ذات منافع متساوية للتطبيقات المختلفة، وأن الخوارزميات التي تربط هذه الصفات قطعية أو حدية تماماً، وأن نتائج المعالجات البرمجية أو الخوارزمية ستكون كلها قطعية بالمثل. ولقد توفر منذ

الثمانينات من القرن الميلادي الماضي حجماً عظيماً من الأبحاث التي أُجريت على تحديد الخطأ، وتشخيصه، وتقديره، والتخلص منه، أو الحد منه، أو التعامل معه في نظم المعلومات الجغرافيّة. بل إن حجم الدراسات المخصصة للموضوع يقترح منحىً معيناً في تناوله. إن هذا التركيز على ما بدى أنها مشكلة معقدة وخطرة، في الحقيقة، مردّه إلى اعتراف واسع النطاق بالمشكلات المحتملة عند العمل مع قواعد بيانات خاطئة، والصعوبات في تطبيق النماذج فعلياً عند استخدام بيانات غير كاملة أو معطوبة، والتبعات المالية أو القانونية لصنع القرار السيئ الذي بُني على نتائج غير صحيحة للنموذج. يمكن أخذ الخطأ في الاعتبار لكل خريطة أو شبكة موضوعيّة في قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة، ويمكن أن يشمل الخطأ تفاعل هذه الطبقات الخلويّة غير المثالية أثناء عمليّة النمذجة، أو يمكن التركيز على الجودة النوعية للمخرج النهائي لعمليّة النمذجة. سوف نفحص بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة في البيئة الخلويّة فقط، ومن ثلاثة أوجه مختلفة وهي: تمثيل البيانات (بما في ذلك الإدخال)؛ وتراكم الخطأ في بيئة النمذجة؛ وطرائق تحديد الخطأ وتحمله من منظوري تمثيل البيانات وتراكم الخطأ.

بالرغم من أننا عددنا الافتراضات الضمنية التي تساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في الصعوبات النمذجية مع البيانات الخاطئة – إلا أنه من المهم تحديد المصادر الاعتيادية لخطأ البيانات الخلويّة. عادةً ما تكون هذه المصادر هي نفسها سواء للبيانات الخلويّة أو الخطّيّة، وتشمل: صحة المحتوى؛ وخطأ القياس؛ وخطأ جمع البيانات الحقلية؛ وخطأ المعمل؛ وخطأ الموقع؛ والخطأ الناتج من التنوع المكاني الطبيعي (Burrough and McDonnel, 1998). وتحدث أنواع الخطأ هذه قبل أو أثناء مرحلة إدخال البيانات في المشروع. ويشمل خطأ المحتوى كل من الأنواع الاسميّة (النوعية) الناتجة من سوء التصنيف أو سوء التحديد للفئات الموضوعيّة لخلايا الشبكة عند مقياس البيانات الاسمي. وينتج الخطأ الكمي، في الغالب، من التحيز أو من أجهزة جمع البيانات التي لم تُعايَر بشكل ملائم مثل مسابير المطر، وعدّادات القلوية (pH)، وأجهزة الرصد عن بعد. ويعد الخطأ الفئوي (النوعي) شائعاً في الأنظمة الخطّيّة والخلويّة، لكن يضاعف التقسم الخلوي الخطأ، خاصةً متى ما خُصصت فئة واحدة فقط لكل خلية في الشبكة. وتُظهِر المقارنات البسيطة لمجموع الكميات أو نسبة كميات الفئات الموجودة في الوثائق (الخرائط) التقليديّة ونظيراتها الخلويّة مقدار تأثير التقسيم الخلوي على كميات كل فئة. ويوضح استخدام نسبة كل فئة في الخريطة التقليديّة المُدخلة إلى نظيرتها الخلويّة ما فُقد من المعلومات أو ما اُكتسب منها خلال عمليّة الإدخال. أما خطأ المحتوى الكمي فهو وثيق الصلة بالقياس، وجمع البيانات الحقلية، وأخطاء الجمع المعمليّة قبل الإدخال في نظم المعلومات الجغرافيّة، وكل ذلك يشير إلى أهمية أخذ الحيطة في تصنيف البيانات ومعايرة الأدوات قبل جمع البيانات. وتتعامل الصحة المكانيّة بشكل مباشر مع الصحة (Accuracy) (مقدار القرب من الحقيقة) والدقة (Precision) (كيف أن قياسات متعددة ومتقاربة تنتج نفس المعلومات) للتجهيزات المساحية المستخدمة في تحديد مواقع مطلقة على سطح الأرض. ويتلازم مع الصحة المكانيّة مشكلتان مألوفتان تصدران من خطأ المسوحات الحقلية ومن الإزاحة العنصورية (البكسلية) (Pixel displacement) عند استخدام

بيانات الاستشعار عن بعد. وتوفر لنا أجهزة نظام التوقيع الأرضي (GPS) الحديثة مستويات من الصحة التي عادةً ما تكون في حدود متطلباتنا لمعظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، ومفيدة جداً في توقيع إحداثيات أي عنصورة في بيانات الاستشعار عن بعد. كما تحدث أخطاء الصحة المكانيّة، على أي حال، أثناء مرحلة إدخال الخرائط التقليديّة إلى نظم المعلومات الجغرافيّة عند طريق الترقيم، وخصوصاً عند استخدام وثائق خرائطية غير ثابتة نتيجةً لتعرضها لعمليات المد والانكماش نتيجة التغيرات في مستويات الرطوبة والحرارة (DeMers, 2000a, 2000b). هذا يعني أن الخرائط المصنوعة من مواد متينة مثل المايلر مقارنةً بالورق يجب استخدامها بقدر الإمكان، أو أن يتم ضبط الحرارة والرطوبة في حالة عدم توفر هذا النوع من الخرائط.

ومن أكثر الأخطاء صعوبة وإرباكاً، تلك الناتجة من مُدخلات نظم المعلومات الجغرافيّة للعناصر الطبيعية المتفاوتة للأرض. وتعد الترب والنبات والارتفاع أنواعاً مألوفة للعناصر الأرضية التي تحتوي تنوعاً محلياً لا يمكن تقديره عند مقياس معين والتي تتغير فئاتها بشكل مستمر. فكما هو الحال مع السطوح المستمرة مثل السطح الطبوغرافي، فإننا مع السطوح العديدة والمتميزة بتنوعها الشديد نُجبر على أخذ عينة من بياناتها لتوفير طبقة عامة أو إجمالية. وفي الاستشعار عن بعد، على سبيل المثال، نقيّد مُدخلاتنا بحجم البكسل المرصود باللاقط (المستشعر). وعندما يتنوع السطح تنوعاً كبيراً في إطار حجم الخلية المعطى فإن اللاقط يأخذ المتوسط لهذه القيم لينتج – بعد ذلك – ما يعرف بالبكسلات المختلطة. ومشكلات الصحة هذه الناتجة من التفاوتات الطبيعية لا يمكن تجنبها، لكن يمكن تقليل آثارها من خلال اختيار احجام خلايا الشبكة أو البكسلات التي من الممكن أن تحتوي على أكبر قدر من الفئات المتجانسة نسبياً، ومن خلال إضافة بيانات مساعدة لتقدير الحدود الغامضة أو غير الثابتة. ويمكن الحصول على تحليل شامل وعميق لبعض الطرائق في التعامل مع هذه الأخطاء في كتاب بارا وماكدونيل (١٩٩٨م)، حيث يحدّد كتابهما بوضوح دور تأريخ البيانات، والتغطية المساحية، ودرجة وضوح ومقياس الخريطة، وكثافة الرصد، وملاءمة البيانات وأشكالها والوصول إليها، وحقوق الملكية، والتكاليف، والأخطاء الحسابيّة التي تؤثر على وثوقية البيانات المكانيّة داخل نظام المعلومات الجغرافيّة. وتعد هذه المواضيع مهمة جداً لنوعية نمذجتنا، لكنها تبتعد عن مجال هذا الكتاب.

وفي إطار تركيزنا، هنا، على النمذجة، فإنه من المهم على أي حال أن نفحص مشكلة تراكم الخطأ داخل عمليّة نمذجتنا بنظام المعلومات الجغرافيّة. وإذا سلّمنا بأن بين أيدينا بيانات ليست مثالية كمُدخلات لنظام المعلومات الجغرافيّة، فإنه يمكن الخروج بخلاصة مفادها إننا إذا استطعنا أن نحد من ذلك الخطأ، فإن المشكلات المرتبطة به ستكون بعيدة عنا إلى حد كبير؛ وبدون هذا سنجد العكس تماماً. ولدينا عند النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة ثلاثة عوامل رئيسة لتراكم الخطأ التي تتسبب في مشكلات محتملة في مُخرجات النموذج، وتشمل: نوعية البيانات – كما رأينا ذلك؛ ونوعية النموذج نفسه؛ وتفاعلات البيانات مع النموذج. كما يتطلب فحص تراكم الخطأ في

النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة تقديرات لأخطاء بيانات المصدر، ونظرية تراكم الخطأ، وأدوات تراكم الخطأ (Burrough and McDonnel, 1998). وتتطلب تقديرات الأخطاء في الغالب للمواضيع الخلويّة المُدخلة نوعا من الحاكاة العشوائية (Stochastic Simulation) ؛ وذلك لأن بعض العمليات الجغرافيّة، سواء كانت طبيعية أو بشرية، فيها من الوضوح الشديد ما يجعلها قابلة لأن نطبّق عليها نماذج حدية (Deterministic) لدراسة الخطأ.

إن الفرضية الأساسية للمحاكاة العشوائية هي أن البيانات ذات توزيع طبيعي، وهذا في الحقيقة غير صحيح لكثير من أنواع البيانات، لكن في غياب فهم واضح لما تقوم عليه العمليات فإن هذه الأنماط التوزيعية العشوائية تُستخدم في إنتاج سطوح للخطأ. ويتم ذلك، في معظم الأحوال، من خلال دراسة عامة لتراكم الخطأ نفسه.

وتستخدم طريقة حاسوبية شاقة في فحص الخطأ في نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة تسمى بـ: محاكاة مونت كارلو، والتي تفترض بأن كل صفة ذات توزيع طبيعي. وفي هذه الحالة، إذا أضفنا صفة جديدة ولتكن U كدالة للمُدخلات $A1, A2,...An$، فإننا نريد أن نفحص الخطأ المرتبط بهذه الصفة (U)، وكم ستكون اسهامات كل المُدخلات الدلالية (An) لذلك الخطأ. ومن الأمثلة الناجحة في استخدام هذه المحاكاة ما تم استخدامه في فحص نماذج الانتشار أو التدفق على السطح الكمي (Desmet, 1997)، وخرائط احتواءات التربة (Fisher, 1991). تتطلب طريقة مونت كارلو تنفيذ العشرات أو حتى المئات من عدد المحاكاة، وذلك حسب حجم قاعدة البيانات، لكنها تعد طريقة مفيدة عندما تتفاعل خلايا الشبكة مكانيا داخل النموذج من خلال وظائف مثل الجوار وعمليات النوافذ (مثل عمل المرشّحات Filters) والاشتقاق، والتحزيم (إنتاج النطاقات) (Buffering).

وبالرغم من أن طريقة مونت كارلو لنمذجة تراكم الخطأ واضحة نسبياً – إلا أن مشكلتها الرئيسة هي أنها طريقة شاقة تستلزم توظيفاً ضخماً من الموارد الحاسوبية، وهذا في الغالب يحد من فائدتها في العمليات النمذجية الاعتيادية بنظام المعلومات الجغرافيّة، خاصةً عند وجود جدول زمني ضيق وموارد حاسوبية مُجهدة أصلاً والتي تقضي بأن تأخذ النمذجة نفسها أولويةً على تقدير تراكم الخطأ. يوجد طريقة بديلة تستخدم النظريّة الإحصائيّة المعيارية لتراكم الخطأ، اقترحها كل من بارات (Parrat, 1961) وتيلور (Tylor, 1982).

تُعرف هذه الطريقة عموما بالتحليل النقطي، وهي مفيدة متى ما استخدم النموذج وظائف محلية (انظر الفصل الرابع) عندما لا تتفاعل خلايا الشبكة مع بعضها مكانياً. وتعد النماذج المبنيّة أساساً من استخدام عمليات المطابقة الاعتيادية أنواعاً جيدة لمثل هذا التحليل للخطأ. والفكرة الأساسية للتحليل النقطي هي أنه يوجد لكل خلية في الشبكة عنصرا للخطأ يعد دالة مميزة لقيم المُدخلات عندما تكون التحويلات مقتصرة على العلاقات الحسابيّة. ويوجد لهذا التحليل برنامج حاسوبي يسمى: ADAM والذي يستطيع أن يتتبع علاقات الأخطاء هذه ذات الصيغة النقطية (Heuvelink, et al., 1993; Heuvelink, et al., 1989).

تتطلب هاتان التقنيتان معرفة تفصيلية بقاعدة بياناتك، وعناصر أخطائها المتميزة رياضياً، وفي حالة التحليل النقطي، معرفة القيود التي تكتنف أنواع النماذج المستخدمة لهذا التحليل. ولا يزال الكثير مّما نجهله عن كيفيّة تأثير العمليات الطبيعية على عنصر الخطأ لكل موضوع خلوي نستخدمه، وعن كيفيّة تفاعلها داخل النماذج المعقدة. وفي ظل وجود القيود الزمنية المعروفة، وعدم وجود أجندة بحثية لمعظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، فإنه من الناحية الواقعية البحتة نتوقع أنه لم يُجر تحليل مفصل للخطأ ولا سجل لمصادره لكل نموذج، أو حتى لكل النسخ التجريبيّة (الأولية) لهذه النماذج. ومع ذلك، فإن تقديم نتائج دون شكل ما من أشكال التحقق والتصديق قد يعد مجازفة خطرة. ومن أفضل الحلول في تنفيذ التحقق من صلاحية النموذج هو استخدام مجموعة تَحقُّق (بيانات مرجعية) لمقارنة نتائج النموذج على أساسها. وعليه، فإنها أكثر من مجرد الاقتراح ببساطة أن النموذج "يبدو مناسباً"، إذ هي طريقة تُستخدم، في الغالب، لتبيّن أن النموذج أنتج النتيجة الصحيحة، وذلك من خلال فحص عينة صغيرة من منطقة الدراسة بوسائل غير نظم المعلومات الجغرافيّة لتحديد النتيجة الصحيحة. سوف نبحث ذلك بالتفصيل في الفصل التاسع.

الزمنيّة في البيانات المكانيّة

بالرغم من أن الأبحاث ما زالت جارية بهدف إنشاء نماذج صريحة للبيانات صُممت خصيصاً لنمذجة القوى المتحركة (الديناميكيّة) – إلا أنه لا يوجد حل عملي كامل وواضح. يوجد، على أي حال، بعض الحلول التي تساعدنا في استخدام النماذج الخلويّة الموجودة للنمذجة الديناميكيّة. ويبدو أن هناك ثلاثة حلول نموذجية لهذا، كلها تستخدم شكلاً من أشكال منهجيّة النمذجة التدريجية (Stepwise)، أو التباين المنفصل (Discrete Difference) التي يتتابع فيها العمل تدريجياً، حيث تكون كل مرحلة جديدة نتيجةً لوظيفة تحليلية بنظام المعلومات الجغرافيّة مطبقة على مجموعة جديدة من الخلايا لكنها متأثرة بالمخرج من النتائج والقيود الناتجة من المرحلة السابقة.

إن أكثر المنهجيات بساطةً للنمذجة الزمنية في نظم المعلومات الجغرافيّة يمكن أن يطلق عليها ضمنياً بالمنهجية الزمنية حيث تستخدم الوظائف التحليلية الشموليّة (Global Functions) في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة (انظر الفصل الرابع). وتعد هذه المنهجيّة أساساً مقياساً للمسافة من نقطة بداية ما إلى الأمام، ويتم القياس على نحو "خلية بخلية". ويمكن تعديل المسافة بواسطة القيم الكسرية المشمولة في موضوع خلوي آخر، وينتج عن ذلك حركة، أيضاً، عبر كامل الشبكة.

وفي النوع الثاني للنموذج المكاني الزماني، يمكن تضمين حالات أو شروط أخرى، غالباً شروط احتمالية، أو شرطية منطقياً، في خلايا الشبكة الموضوعيّة، بحيث تُقيّم تأثيرات هذه الشروط عند كل عمليّة تكرار (أو معاودة) في النموذج، ويمكن أن تخرج النتائج في شكل شبكة (طبقة خلوية) مؤقتة، وهذا له تأثير يتمثّل في تغيير

الشروط لكل مرحلة من مراحل النموذج. ومن الأمثلة التقليديّة لذلك، نموذج الحرائق، حيث تكون فرضية عمله أن الخلية الغابية لا تحترق فوراً بالضرورة في المرحلة الزمنية التالية لمجرد أنها مجاورة لخلية متعرضة للحريق (Yuan, 1994, 1997). فبدلاً من ذلك، فإن حالتها سوف تكون مشروطة بما سوف يكون حالها عليه من جفاف خلال كل خطوة أو مرحلة متعاقبة. وكلما ازدادت الخلية جفافاً ازدادت قابليتها للحريق، حتى تصل إلى عتبة (قيمة) حدية معينة حيث تتغير قيمة الخلية عند هذا الوقت لتشير إلى أن الأشجار ضمن هذه الخلية تحترق.

وبالرغم من أن خلايا الشبكة الملاصقة مباشرة تمر بهذا التحول المشروط، فإن الخلايا التي على مسافة ما من خلايانا التي تحترق يمكن، أيضاً، أن تتغير تبعاً لذلك، ربما على أساس وظيفة ما من وظائف تضائل (تناقص) المسافة. إضافة إلى ذلك، يسمح نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي بفحص قوانين الانتقال من خلال الاحتمال العشوائي عند استخدام محاكاة مونت كارلو بوصفه نموذجاً مكانياً زمانياً. ولقد استخدمت هذه المنهجيّة بنجاح في محاكاة اختيار الموقع السكني، إذ بواسطتها يكون تحديد الخلايا المستهدفة أقل سهولة ممّا لو تم تحديدها في نمذجة الحرائق (Raju, et al., 1998).

ولقد رأينا أن النماذج الخلويّة الخاصة المسماة بالروبوتات أو الآليات الخلويّة مصممةٌ خصيصا لتضمين بيانات شرطية لنماذج النمو أو التوسّع (Batty and Xie, 1994). ولقد رأينا، أيضاً، أن هذه النماذج تختلف في طرائق تطبيقها. وتعتبر هذه النماذج نوعاً ثالثاً من النماذج المكانيّة الزمانيّة؛ ذلك كونها تستخدم فقط خلايا الجوار المتلاصقة، ولأنها تحتوي على مجموعة قوانين صريحة والتي عادةً ما تكون قوانين معقدة. إن الاختلاف الجوهري بين نموذج الآلية الخلويّة ونظام المعلومات الجغرافيّة يكمن في القدرات المتقدمة لنظام المعلومات الجغرافيّة المبني على الجبر الخرائطي. ورغم أن الآلية الخلويّة تستطيع أن تنفذ مهام نمذجية مكانيّة زمانيّة معقدة ومتنوعة – إلا أنها محدودة القدرات في عمليات المطابقة، وقياسات المسافة وفي مجموعة من عمليات الجوار الممتدة أو الموسعة. هذا يفسر محاولات ربط نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي مع الآلية الخلويّة بدلاً من الاضطرار إلى الاختيار بينهما.

بيّنت بعض الأبحاث ربطاً واضحاً لبعض البرامج مثل برنامج: Stella، الذي صُمم لمهام نمذجة المُدخلات والمُخرجات الزمنية، مع القدرات المكانيّة لنظام المعلومات الجغرافيّة. ولقد أجرت المحاولات السابقة النمذجة الزمانيّة داخل حزمة برنامج النمذجة الزمانيّة نفسها ثم أرسلت نتائج كل تكرار إلى نظام المعلومات الجغرافيّة لغرض العرض فقط. ومن خلال إنشاء مناطق ذات ظروف أو شروط متماثلة، يستطيع البرنامج أن يشتغل على هذه المناطق خلال الزمن، بدلاً من العمل على كل خلية على انفراد. وتم مؤخراً محاولات لربط مباشر للبرنامجين المنفصلين لعمل نمذجة للمكان والزمان بشكل صريح. وسينتج من ذلك نظام هجين، يحتوي ربما على تراكيب جديدة للبيانات، وربما نماذج بيانات جديدة. إن هذه المحاولات جديرة بالاهتمام، لكن في ظل الطبيعة التجريبيّة لهذا العمل فإننا لن نبحث فيها بالتفصيل. عوضاً عن ذلك، اقرأ بعض الدراسات المتعلقة بشكل خاص بهذه التقنية.

مراجعة الفصل

تقوم نظم المعلومات الجغرافيّة على التقسيم الخلوي للمكان، حيث يُفصّل المكان الجغرافي إلى حزم متفردة من البيانات. يوجد على الأقل أربعة نماذج أساسية للبيانات مبنيّة على هذا التقسيم والتي عادةً ما تُطبق للمهام النمذجية: النموذج الخلوي البسيط؛ والنموذج الخلوي الموسَّع؛ والتفريع التربيعي؛ والآليات أو الروبوتات الخلويّة. تُعتبر هذه النماذج أكثر النماذج ملاءمة لتطبيق المهام النمذجية المبنيّة على الموضع، مقارنةً بالنماذج الخطّيّة المبنيّة أكثر على الموضوع. وبالرغم من أن التقسيمات الخلويّة توفر مواقع مطلقة أقل صحة – إلا أنها توفر أفضل الإمكانات لنمذجة أي نوع من أنواع السطوح، ولفحص التفاعلات المكانيّة للظواهر، سواء كانت الخلايا متجاورة أو على مسافة معينة من الخلية المستهدفة. كما يوجد العديد من مصادر البيانات الخلويّة الرقميّة، تتراوح بين مجموعات البيانات الحكومية الرخيصة والمجانية إلى مجموعات البيانات التجارية الأعلى كلفة. في حين يوفر معظم موردي البيانات، أيضاً، خدمات خاصة للبيانات الملاءمة خصيصاً لمشروعك الخاص. وبالرغم من أن التطوير الداخلي (داخل المؤسسة مثلاً) لقواعد البيانات يسمح بتحكم محلي أكثر لجودة البيانات – إلا أن التكلفة القليلة للبيانات الموجودة قد تلغي هذا العامل طالما أن موردي البيانات يوفرون معلومات تفصيلية عن البيانات. وفي عمليّة اختيار البيانات، هناك قرارات ضرورية للنمذجة لابد من اتخاذها تتعلق بحجم خلية الشبكة، ومنطقة الدراسة، وشكل البيانات، ومسقط الخريطة، ونظام الشبكة الإحداثي. كما يمكن ربط حجم الخلية بالمتطلبات النمذجية، بدلاً من حجم البيانات أو أحجام البكسل في بيانات الاستشعار عن بعد. عندما يتخذ المرء قرارات حول منطقة الدراسة، فإنه من الضروري أن يزيد منطقة الدراسة خارج حدود المساحة الفعليّة المراد دراستها وذلك حينما يستخدم النمذجة السطحية أو الاشتقاق. ومع أنه يمكن تحويل أشكال البيانات ومسقط الخريطة ونظام الإحداثيات الشبكي، فإنه من الأفضل أن يكون عدد مرات التحويل أقل ما يمكن وذلك لتقليل إدخال الأخطاء الحسابيّة إلى قاعدة البيانات.

تتشابه مصادر خطأ البيانات الخلويّة مع مصادر البيانات الخطّيّة – صحة المحتوى، وخطأ القياس، وخطأ جمع البيانات من الحقل، والخطأ المعملي، وخطأ الموقع، والخطأ الناتج بسبب التنوع الطبيعي للمكان. وتعد أنواع الخطأ هذه مهمة بذاتها، لكن تفاعلاتها أثناء النمذجة تصبح أكثر أهمية في ظل طبيعة نظام المعلومات الجغرافيّة باعتباره أداة للنمذجة. هناك طريقتان رئيستان لنمذجة تراكم الخطأ في نظام المعلومات الجغرافيّة. الأولى، وهي طريقة شاقة تستخدم محاكاة مونت كارلو تسمح – بالرغم من تكلفتها الحاسوبية – بتتبع الخطأ في النماذج التي تتفاعل مكانياً. أما النماذج المقصورة على الوظائف المحليّة، أو الوظائف التي لا تستخدم تفاعلاً مكانياً، فيمكن أن تستعمل طريقة أقل تكلفة وهي طريقة التحليل النقطي. وبخلاف هاتين الطريقتين لتحليل الخطأ، يمكن استخدام مجموعات تَحقُّق للتأكد من سلامة النموذج وتتطلب معرفة سابقة بالنتائج المتوقعة.

بالرغم من أنه لا يوجد بعد نموذج بيانات خلوي مكاني زماني – إلا أن النماذج الموجودة تسمح بالنمذجة الزمانيّة المكانيّة. إلا أنه يوجد ثلاثة أنواع عامة من النماذج المكانيّة الزمانيّة قادرة على العمل مع نماذج البيانات الخلويّة الموجودة، وتشمل: منهجيّة بسيطة لقياس المسافة، وفيها توافق كل مرحلة في النموذج مرحلة زمنية معينة؛ والثانية تستخدم استجابات شرطية وتحديد عتبات حدية أو حدود عليا (Thresholding)؛ والثالثة، تستخدم الآليات الخلويّة في تضمين الشروط داخل خلاياها الشبكية. كما أن البحث جارٍ حاليا لكل من إنشاء نماذج بيانات مكانيّة زمانيّة وربط برامج النمذجة الزمانيّة مع نظام المعلومات الجغرافيّة.

مواضيع المناقشة

١– لماذا تفترض بأنه مع معظم التقسيمات ونماذج البيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تكون قيم الخلايا، في أغلب الأحيان، مُرمّزة بأعداد كاملة بدلاً من الأعداد الكسرية؟ ما هي الإيجابيات والسلبيات التقنية التي قد تصاحب الترميز بالأعداد الكسرية؟ وما هي إيجابيات النمذجة وسلبياتها التي قد تحدث – عندئذ؟

٢– بالرغم من أن التقسيم الخلوي عادةً ما يُعمل بخلايا شبكية مربعة، بين رؤيتك حول الإيجابيات المحتملة من استخدام تراكيب بيانات بديلة لنمذجة واحد أو أكثر مما يلي:

أ) بعض من أو كل الأجسام الكروية، مثل الأقمار أو كواكب كاملة.

ب) أجسام كوكبية ذات أشكال غير منتظمة، مثل الكويكبات.

ج) معلومات جيولوجية مثل السدات البركانية، وقبب اللافا، والقبب الملحية.

د) طبقات الرّكاز أو الخام السفلية في ثلاثة أبعاد كاملة.

٣– ناقش إيجابيات وسلبيات استخدام أنواع مختلفة من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، وليشمل ذلك نسخاً أو أنواعاً للنموذج الخلوي البسيط.

٤– لقد رأيت كيف أن نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الموسع يمكن استخدامه للظواهر النقطية والخطّيّة والمساحية. لماذا يعد هذا النموذج أقل كفاءة للسطوح والحقول؟ ضمّن في إجابتك فكرة الأعداد الكسرية مقارنةً بالكاملة.

٥– اشرح الفرق بين نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة (بما فيها التفريعات التربيعية) والآليات الخلويّة. لماذا يوجد، حسب رأيك، تواصلاً محدوداً جداً بين أولئك الذين ينمذجون بالآليات الخلويّة والذين يستعملون نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة؟ ما هي بعض القضايا المتعلقة بعمل تلك الروابط؟

٦– ناقش التحسينات الممكنة في تحليل وتخزين بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة في ظل ما يمكن أن يتوقعه الشخص من التغيرات التقنية الحاسوبية. تتبع، على سبيل المثال، الأحجام العامة لأجهزة الأقراص الصلبة، بالإضافة إلى المعالِجات الحاسوبية وسرعاتها الزمنية، خلال الخمس سنوات السابقة. ارسم هذه التغيرات باستخدام

رسم بياني خطي أو مضلع تكراري. طبق هذا على أحجام قواعد البيانات التي يمكن استخدامها، ولسرعة العمليات التحليلية. ما العوامل الأخرى التي يمكن أن تدخل في هذا السياق؟

٧- ناقش لماذا تُعد نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة قائمة على الموقع في حين تُعتبر نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة مبنيّة أكثر على الموضوع؟ اربط هذا المفهوم مع فكرة أن نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة أفضل في الإجابة عن أسئلة "أين"، في حين أن الخطي أفضل في الإجابة عن أسئلة "ماذا". قدم مثالاً على هذا من خارج الكتاب.

٨- صف بكلماتك الخاصة مكونات البيانات الخلويّة التي من الممكن أن تسبب خطأً في أنشطتك النمذجية. كيف يمكن أن تجعل كلا من مصادر الخطأ وحجمه في قاعدة بياناتك عند الحد الأدنى؟ وما التقنيات المتوفرة لنمذجة تراكم خطأ النموذج الخلوي؟

٩- ناقش طبيعة الخصائص التي يجب توفرها عند إنشاء نموذج بيانات خلوي بحيث ينمذج بشكل صريح الظروف المكانيّة الزمانيّة.

أنشطة تعليمية

١- وضّح كيف تمثّل ما يلي باستخدام شكل بسيط للتقسيم الخلوي الذي نوقش في هذا الفصل:

أ) أعمدة الهاتف.

ب) الطرق والشوارع.

ج) الزراعة.

د) السطح الطبوغرافي.

٢- اشرح باستخدام الأشكال التوضيحية في الكتاب، لماذا يعد نموذج البيانات الخلويّة في حزمة برنامج ماب (MAP) أكثر ملاءمة لتوسيع نموذج البيانات الخلوي باستخدام نظم إدارة قواعد البيانات العلائقية (RDBMS).

٣- أنشئ جدولاً يشبه الجدول رقم (٢,١) يظهر أنواع البيانات الوصفيّة الإضافية التي يمكن تمثيلها ضمن نموذج البيانات الخلويّة الموسّع وذلك لأنواع التغطيات الموضوعيّة التالية:

أ) استخدام الأرض.

ب) شبكة المواصلات.

ج) البنية العمرانية التحتيّة.

٤- ارسم خريطة بسيطة في حدود (٤x٤) بوصة تظهر فقط اليابس (مظلل) والماء (أبيض) على ورقة. أنشئ شبكة بنفس الأبعاد بتقسيمات ربع بوصة، وباستخدام آلة تصوير اعمل طبقة شفافة لهذه الشبكة. الآن طابق الشبكة على خريطتك. ارسم مخططاً توضيحياً يبيّن تطبيق التفريعات التربيعية لتمثيل هذه الخريطة.

٥- ابحث على الإنترنت عن مصادر بيانات لنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. تأكد من أن البحث يشمل مصادر حكومية وتجارية. ابحث، أيضاً، عن البيانات من مصادر غير مصادرك الوطنية. خزّن كل عناوين أو روابط هذه المصادر كمؤشرات (Bookmarks) في متصفح الإنترنت ثم ضع نسخاً من صفحات الإنترنت المفيدة في المفكرة التي أنشأتها في الفصل الأول.

٦- طابق الشبكة والخريطة اللتان عملتهما في النشاط (٤) وقم بمحاكاة طريقة الترقيم الأكثر شهرة من خلال تخزين قيمك في مصفوفة عددية مكونة من (١٦ x ١٦) خلية. افحص الخريطة المُخرجة والخريطة المُدخلة. الآن، وبافتراض أن كل خلية مربعة (ربع بوصة مربعة) عبارة عن واحد ميل مربع، حدّد عدد الأميال المربعة للياس مقابل الماء في الخريطة المُخرجة. وباستخدام جهاز البلانيميتر، صف واحسب مقدار الخطأ الناتج من عمليّة ترميزك (ترقميك). أين يظهر معظم الخطأ؟ بيّن كيف أنه بتصغير حجم الخلية إلى نُمْن بوصة للميل المربع الواحد يمكنك أن تحسّن جودة الخريطة المُخرجة؟

٧- بيّن باستخدام شبكة بأبعاد (١٦ x ١٦) خلية على ورقة، كيف تستطيع أن تستخدم شكلاً من أشكال وظائف الانتشار (وظيفة تحليل للمسافة) لمحاكاة حركة شيء ما من الزاوية العليا اليسرى إلى كل خلية أخرى عبر كامل الشبكة. الآن، أضف طبقة احتكاك خاصة بك ثم وضّح طريقة التحرك التدريجي مرة أخرى. فكّر، الآن، في كيف يمكن أن تُضمّن الحدود (العليا والدنيا) والقوانين المنطقيّة لمحاكاة شيء ما مثل الحريق. سوف نعود لذلك في تفصيل أكثر فيما بعد، لذا لا تعطي هذا وقتاً أكثر ممّا ينبغي.